

Heinz Frisch, Erwin Lösch, Thomas Megele

Metalltechnik

Lernfelder 2 bis 4

Lernsituationen, Technologie, Technische Mathematik

Lösungen

6. Auflage

Vorwort

Die Lernsituation Bohrvorrichtung S. 28 ff. entspricht in Art und Schwierigkeitsgrad der Abschlussprüfung Teil 1. Damit haben Sie die Möglichkeit, die Vorrichtung als Prüfungsvorbereitung komplett zu fertigen.

Zusatzmaterialien zu Titel

Für Lehrerinnen und Lehrer:

Lösungen zum Arbeitsheft: 978-3-427-42128-3

Für Schülerinnen und Schüler:

Arbeitsheft: 978-3-427-42127-6

***westermann* GRUPPE**

© 2021 Bildungsverlag EINS GmbH, Köln, www.westermann.de

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Nutzung in anderen als den gesetzlich zugelassenen bzw. vertraglich zugestanden Fällen bedarf der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlages. Nähere Informationen zur vertraglich gestatteten Anzahl von Kopien finden Sie auf www.schulbuchkopie.de.

Für Verweise (Links) auf Internet-Adressen gilt folgender Haftungshinweis: Trotz sorgfältiger inhaltlicher Kontrolle wird die Haftung für die Inhalte der externen Seiten ausgeschlossen. Für den Inhalt dieser externen Seiten sind ausschließlich deren Betreiber verantwortlich. Sollten Sie daher auf kostenpflichtige, illegale oder anstößige Inhalte treffen, so bedauern wir dies ausdrücklich und bitten Sie, uns umgehend per E-Mail davon in Kenntnis zu setzen, damit beim Nachdruck der Verweis gelöscht wird.

Die Seiten dieses Arbeitshefts bestehen zu 100 % aus Altpapier.

Damit tragen wir dazu bei, dass Wald geschützt wird, Ressourcen geschont werden und der Einsatz von Chemikalien reduziert wird. Die Produktion eines Klassensatzes unserer Arbeitshefte aus reinem Altpapier spart durchschnittlich 12 Kilogramm Holz und 178 Liter Wasser, sie vermeidet 7 Kilogramm Abfall und reduziert den Ausstoß von Kohlendioxid im Vergleich zu einem Klassensatz aus Frischfaserpapier. Unser Recyclingpapier ist nach den Richtlinien des Blauen Engels zertifiziert.

Druck und Bindung: Westermann Druck GmbH, Braunschweig

ISBN 978-3-427-42129-0

Lernfeld 2		
1	ISO-Toleranzen	5
	Problemstellung	5
	A Passmaß	5
	B Beispiele für ISO-Passmaße	7
	C Leseregeln für ISO-Passmaße	8
	D ISO-Grundtoleranzen	9
	E Passungsarten	10
	F Berechnungen an Passungen	11
	G Erkenntnisse	13
	H Passsysteme	14
	I Passungsauswahl	14
2	Prüfen (Feinmessen)	15
	Problemstellung	15
	A Grundbegriffe	15
	B Signalverarbeitung	16
	C Prüfmittelüberwachung	17
	D Mechanische Feinmessgeräte	17
	E Pneumatische Feinmessgeräte	18
	F Elektronische Längenmessgeräte	19
3	Prüfen mit Endmaßen	20
	Problemstellung	20
	A Einsatz von Endmaßen	20
	B Genauigkeit von Endmaßen	21
	C Arbeitsregeln	21
4	Bohren – Senken – Reiben	22
	Problemstellung	22
	1 Bohren	22
	A Spiralbohrer	22
	B Drall und Bohrer Verwendung	22
	C Spitzenwinkel	23
	D Querschneide	23
	E Schleiffehler	24
	F Bohrerwerkstoff	24
	G Weitere Bohrwerkzeuge	25
	2 Senken	25
	A Aufsenken (Aufbohren)	25
	B Profilsenken (Ansenken, Einsenken)	26
	C Plansenken (Flachsenken)	26
	3 Reiben	27
	A Zweck	27
	B Werkstoffzugabe	27
	C Reibahlen	27
	D Zahnteilung bei Reibahlen	27
	E Arbeitsregeln	27
5	Lernsituation: Bohrvorrichtung	28
	Information, Planung, Ausführung, Kontrolle, Bewertung	29
	Übungen am Drehzahldiagramm	37
6	Drehen	38
	Problemstellung	38
	1 Aufbau einer konventionellen Drehmaschine	38
	A Drehmaschinen	38
	B Drehmaschinengröße	39
	C Werkzeugschlitten	39
	D Zug- und Leitspindel	39
	E Reitstock	39
	F Digitalanzeige	40
	2 Drehmeißel	41
	A Arten der Drehmeißel	41
	B Formen der Drehmeißel	41
	C Schneidstoffe von Drehmeißeln	43
	3 Flächen und Winkel an Drehmeißeln	43
	A Flächen an der Drehmeißelschneide	43
	B Winkel an der Drehmeißelschneide	43
	C Spannungsquerschnitt	45
	4 Spannmittel für Werkzeuge und Werkstücke	46
	A Spannvorrichtung für Drehmeißel	46
	B Spannfutter	46
	C Planscheibe	47
	D Spannen zwischen Spitzen	48
	5 Kegeldrehen	49
	A Herstellungsverfahren	49
	B Oberschlittenverstellung und Leitlineal	49
	C Kegeldrehen mit CNC-Drehmaschinen	51

7	Lernsituation: Spannschraube	52
	Information, Planung, Ausführung, Kontrolle, Bewertung	52
	A Gewindesteigung und Vorschub	53
	B Arbeitsregeln	53
8	Fräsen	58
	Problemstellung	58
	A Aufbau einer konventionellen Universal-Fräsmaschine	58
	B Fräser	59
	C Arten des FräSENS	60
	D Umfangsfräsen (Walzfräsen)	60
	E Stirnfräsen	61
	F Schnittgeschwindigkeit und Vorschub	61
	G Spannwerkzeuge	62
9	Lernsituation: Schieber	63
	Information, Planung, Ausführung, Kontrolle, Bewertung	63

Lernfeld 3

1	Grundlagen des kraft-, stoff- und formschlüssigen Fügens	68
	Überlegung	68
	A Überblick	68
	B Kraftschluss	69
	C Stoffschluss: Schweißen	70
	D Stoffschluss und Kohäsion	70
	E Stoffschluss: Kleben	71
	F Stoffschluss und Adhäsion	71
	G Stoffschluss: Löten	72
	H Formschluss	73
	I Formschluss: Stifte	73
	J Kopfformen von Schrauben	74
	K Festigkeitsklassen von Schrauben	74
	• Berechnungen zur Reibungskraft	75
	• Berechnungen zum Drehmoment	76

Lernfeld 4

1	Lernsituation: Warten einer Säulenbohrmaschine	77
	Information, Planung, Ausführung, Kontrolle, Bewertung	77
	A Dokumentation, Funktion und Ausstattung der Bohrmaschine	77
	B Wartung von Maschinen	80
	C Schmierung und Schmierstoffe	81
	D Berechnungen zur Reibungskraft mit und ohne Schmierung	85
2	Grundlagen der Haltbarkeit von Bauteilen	88
	Problemstellung	88
	A Ursachen für Maschinenschäden	88
	B Arten der Belastung	89
	C Kerbwirkung	89
	D Dauerschwingversuch	90
	E Wirtschaftliche Folgen von Maschinenschäden	91
3	Korrosion und Korrosionsschutz	92
	Problemstellung	92
	1 Korrosion	92
	A Begriff und Arten der Korrosion	92
	B Chemische Korrosion	93
	C Elektrochemische Korrosion	94
	2 Korrosionsschutz	95
	A Möglichkeiten des Korrosionsschutzes	95
	B Nichtmetallische Überzüge auf Stahl	95
	C Metallische Überzüge auf Stahl	95
	D Schmelztauchen	96
	E Galvanisieren	96
	F Diffundieren (Diffusionsverfahren)	96
	G Verletzung des Metallüberzugs	97
	H Anodisieren (Eloxieren) von Aluminium	97
	I Korrosionsvorbeugung bei Konstruktion und Bau	97
	• Preis- und Prozentrechnung	98
4	Grundlagen der Elektrotechnik	99
	Problem: Leben ohne elektrischen Strom?	99
	A Elektrischer Strom und elektrische Leiter	99
	B Stromkreis	100
	C Erzeugung von elektrischer Spannung	101
	D Verteilung von elektrischer Spannung	102
	E Chemische Spannungserzeugung	103
	F Reihenschaltung und Parallelschaltung	104
	G Leistung und Arbeit	105
	H Fehlerquellen an elektrischen Anlagen	106
	I Sicherheitsvorkehrungen	106
	• Berechnungen zum ohmschen Gesetz	107
	• Berechnungen zur elektrischen Leistung	107
	• Berechnungen zur elektrischen Arbeit	108
	Bildquellenverzeichnis	109

Der Bereich, der vom Zeiger auf der Skale angezeigt werden kann. Bei der abgebildeten Messuhr: $100 \text{ Teilstriche} \triangleq \frac{100}{100} \text{ mm} \triangleq 1 \text{ mm}$

Anzeigebereich

Die größte mit einem Messgerät erfassbare Messgröße (bei Messuhren: die größte erfassbare Maßabweichung). Bei der abgebildeten Messuhr: $10 \times \text{der Anzeigebereich} \triangleq 10 \times 1 \text{ mm} \triangleq 10 \text{ mm}$

Messbereich
(auch: Messspanne)

B Signalverarbeitung

- ① Wie werden die abgebildeten Messgeräte fachgerecht bezeichnet, und welche grundsätzlichen Arten der Signalverarbeitung zeigen die Abbildungen?



Messschieber



Fühlhebelmessgerät



3D Kantentaster

analoge

Signalverarbeitung

digitale

Signalverarbeitung

- ② Welche Vorteile bieten die jeweiligen Messgeräte?

Vorteile analoger Messgeräte

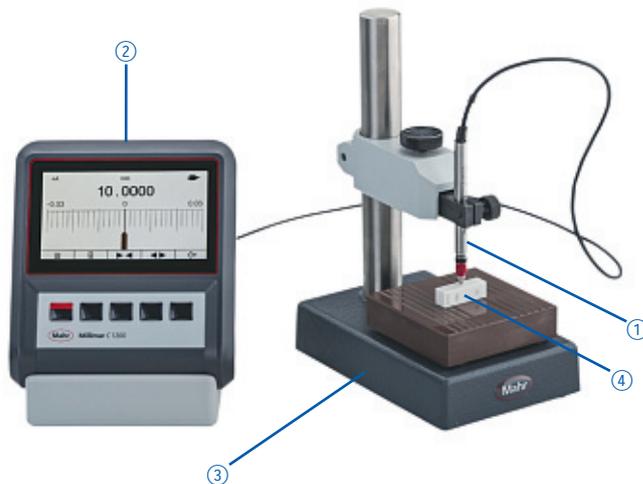
- unveränderbares Messsystem
- uneingeschränkte Werkstatttauglichkeit
- unempfindlich gegen äußere Einflüsse wie Staub, Schmutz, Flüssigkeiten
- günstig, benötigt keine Energie

Vorteile digitaler Messgeräte

- schnelles Messen,
- weniger Messfehler
- Datenübertragung zur weiteren Verarbeitung,
- Absolutmessung und Vergleichsmessung möglich

F Elektronische Längenmessgeräte

- ① Aus welchen Hauptteilen bestehen elektronische Längenmessgeräte? Benennen Sie das Prüfwerkzeug und das Werkstück.



- 1 Elektronischer Messtaster
(Induktiver Messtaster)
- 2 Anzeigegerät
- 3 Messtisch
- 4 Werkstück

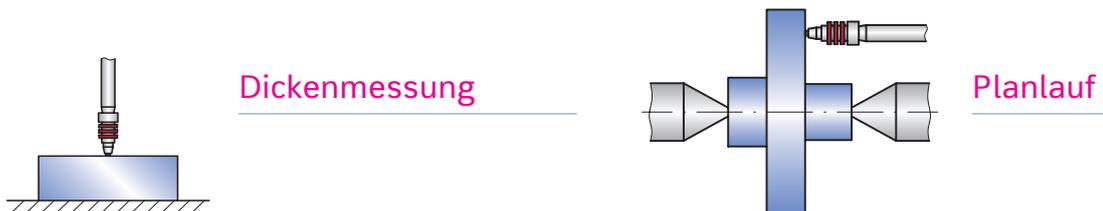
- ② Nach welchem Prinzip funktionieren elektronische Längenmessgeräte (Beispiel: Induktiver Messtaster)?

Auf dem beweglichen Tastbolzen befindet sich ein Ferritkern. Dieser ragt in eine stromdurchflossene Spule und beeinflusst durch seine Bewegung die Spannung in der Spule. Die Spannungsänderung ist das Maß für die Wegänderung des Tastbolzens.

- ③ Was zeigt das Anzeigegerät bei der Einzelmessung und der Differenzmessung jeweils an und was wird bei den Abbildungen geprüft?

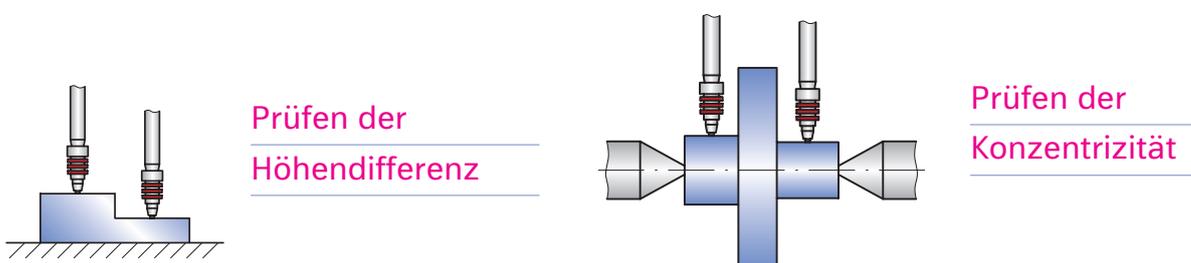
- a) Einzelmessung mit einem Messtaster:

Das Anzeigegerät zeigt den direkten Messwert an.



- b) Differenzmessung mit zwei Messtastern:

Das Anzeigegerät zeigt die Differenz der von beiden Messtastern ermittelten Messwerte an.



G Weitere Bohrwerkzeuge

Wie heißen die folgenden Bohrwerkzeuge und für welche besonderen Zwecke werden sie verwendet?

Bohrwerkzeug	Bezeichnung	Verwendung
	Bohrstange	zum Aufbohren von größeren und längeren Bohrungen
	NC-Anbohrer	zum Anbohren und Senken in einem Arbeitsgang; Spitzenwinkel 90° und 120°
	Zentrierbohrer	zum Bohren der Aufnahmebohrungen von Wellen, die beim Drehen oder Schleifen zwischen Spitzen gespannt werden
	Mehrfasenstufenbohrer	für abgesetzte Bohrungen mit Senkungen; ins Volle und in einem Arbeitsgang bohren

2 Senken

A Aufsenken (Aufbohren)

① Was versteht man unter Aufsenken? Welchen Zweck hat es?

Beim Aufsenken werden vorgebohrte Löcher oder Löcher in Gussstücken „aufgebohrt“. Zweck: a) Saubere Bohrwand, b) Aufbohren für anschließendes Aufreiben (Passmaß)

② Wie heißen die abgebildeten Werkzeuge zum Aufsenken?



Aufbohrer oder Dreischneider oder Spiralsenker



Aufstecksenker mit Aufsteckhalter

③ Warum haben Aufsenkwerkzeuge mehrere Fasen?

Der Senker erhält dadurch eine bessere Führung, das aufgebohrte Loch wird formgenauer (wichtig für evtl. anschließendes Aufreiben!).

Die Bohrvorrichtung (Foto unten, Zeichnung S. 30) soll gefertigt werden.

In dieser Lernsituation haben Sie den Auftrag, alle Bohrarbeiten (Bohren, Senken, Reiben) der Führungsleisten (Pos. 4 und Pos. 5) vorzubereiten und das Verschrauben und Verstiften mit der Trägerplatte (Pos. 2) zu planen.

Wenn Sie die Möglichkeit haben, können Sie die gesamte Bohrvorrichtung fertigen. Die Zeichnung des Schiebers (Pos. 6) ist auf S. 64 abgebildet.

Informieren/orientieren Sie sich, indem Sie ...

- sich überlegen, wofür der Bolzen (s. Zeichnung S. 29) verwendet werden kann,
- die Zeichnung mit dem genormten Bolzen bemaßen,
- sich mit dem Werkstoff des Bolzens beschäftigen,
- sich mit der Funktionsweise der Bohrvorrichtung vertraut machen,
- die Zeichnungen S. 31 und 32 ergänzen.

Planen/entscheiden Sie, indem Sie ...

- die Zeichnung der Führungsleiste oben (Pos. 5) S. 33 ergänzen und bemaßen.

Führen Sie Ihren Auftrag aus, indem Sie ...

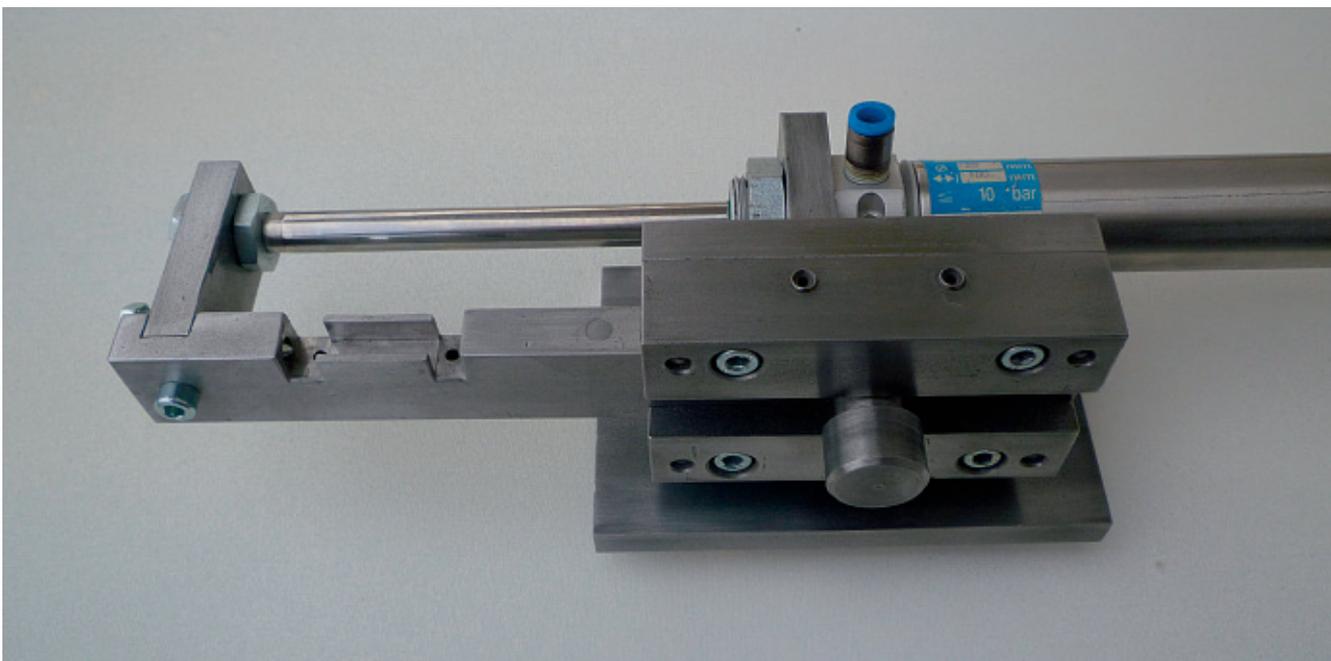
- den Arbeitsplan für die Bohrarbeiten erstellen,
- benötigte Werkzeuge auswählen,
- Schnittdaten ermitteln,
- Drehzahlen berechnen,
- Hauptnutzungszeiten berechnen,
- die Arbeitssicherheit beachten.

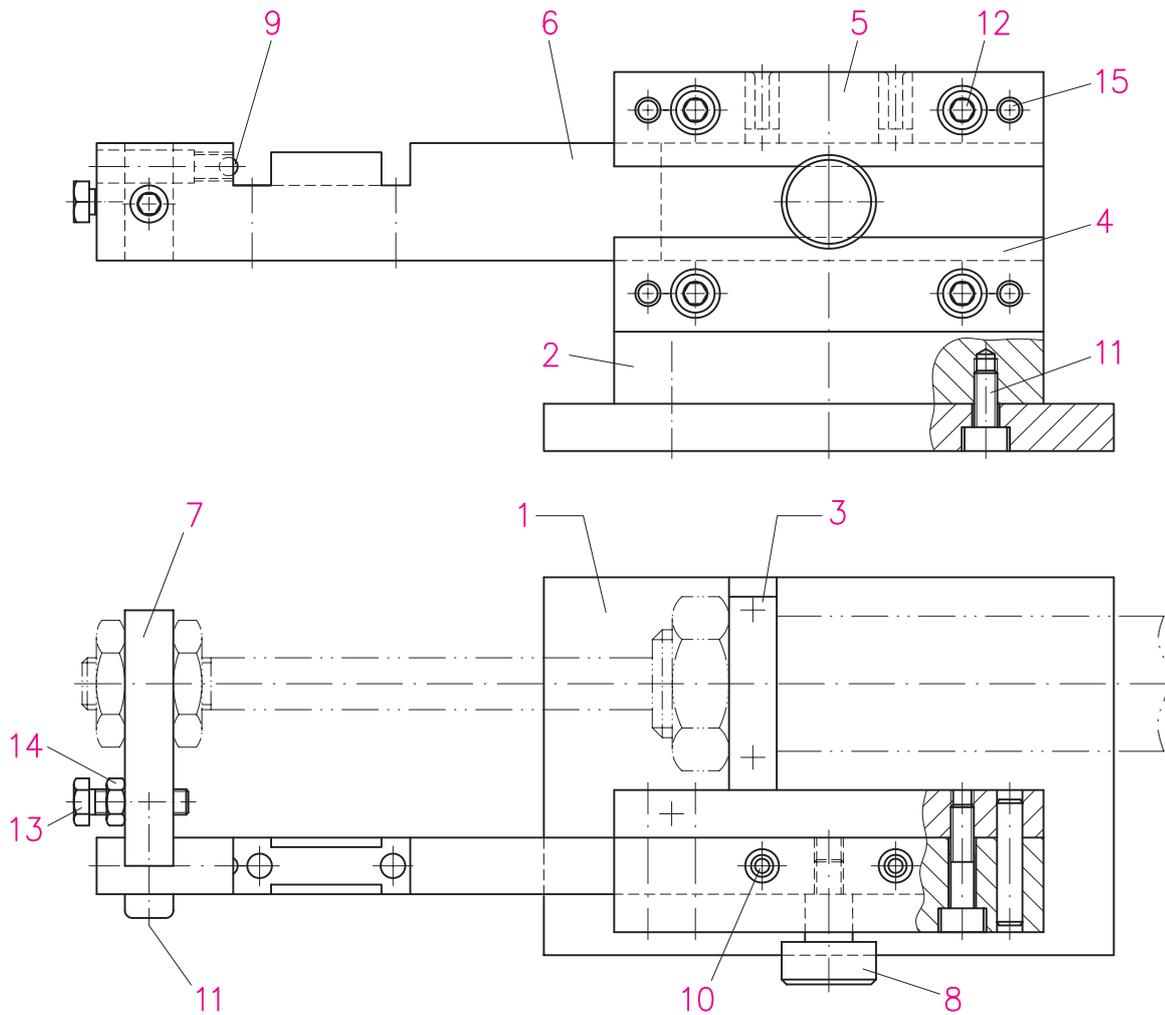
Kontrollieren Sie, indem Sie ...

- ein Prüfprotokoll erstellen,
- Prüfwerkzeuge auswählen,
- sich Gedanken zum Qualitätsmanagement machen.

Bewerten und dokumentieren Sie, indem Sie ...

- den Arbeitsablauf kritisch überdenken,
- weitere Möglichkeiten zur Ermittlung der Drehzahlen prüfen,
- mögliche Verbesserungen überlegen,
- die Ergebnisse mit anderen Schülern vergleichen.





nicht maßstäbliche Zeichnung

4	Zylinderstift 5x26-A	ISO 8734		15	
1	Sechskantmutter M6	ISO 4032	8	14	
1	Sechskantschraube M6x30	ISO 4017	8.8	13	
4	Zylinderschraube M5x20	ISO 4762	8.8	12	
5	Zylinderschraube M5x12	ISO 4762	8.8	11	
2	Bohrbuchse A2x9	DIN 179		10	
1	Federndes Druckstück M6			9	
1	Griffstück		11SMn37+C	8	Rd 20x32 EN 10278
1	Verbindungsteil		S235JRC+C	7	Fl 25x10x50 EN 10278
1	Schieber		S235JRC+C	6	Fl 25x12x200 EN 10278
1	Führungsleiste oben		S235JRC+C	5	4kt 20x90 EN 10278
1	Führungsleiste unten		S235JRC+C	4	4kt 20x90 EN 10278
1	Zylinderplatte		S235JRC+C	3	Fl 60x10x45 EN 10278
1	Trägerplatte		S235JRC+C	2	Fl 70x10x90 EN 10278
1	Grundplatte		S235JRC+C	1	Fl 80x10x120 EN 10278
Stück	Benennung	Normblatt	Werkstoff	Pos.-Nr.	Halbzeug (nach Materialbereitstellungsliste)

Problemstellung:

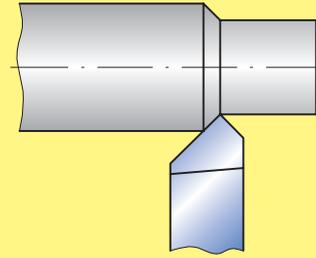
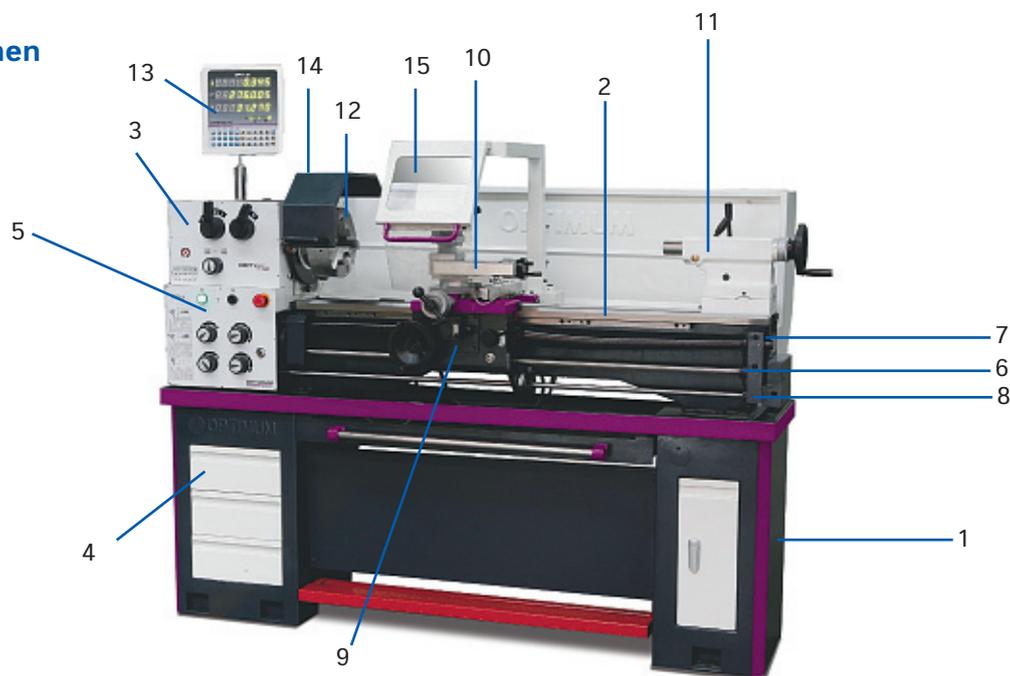
Nach einer Dreharbeit ist die Oberfläche der Welle unerwartet rau. Welche Ursachen kann diese unerwünschte Erscheinung haben?

Zu großer Vorschub; Schneide des

Drehmeißels abgenutzt;

falscher Drehmeißel; zu langsame Schnittgeschwindigkeit; zu große Schnitttiefe;

zu großer Schnittdruck

**1 Aufbau einer konventionellen Drehmaschine****A Drehmaschinen**

① Wie bezeichnet man die abgebildete Drehmaschine? Welchen Vorteil hat sie gegenüber anderen Drehmaschinen?

Spitzendrehmaschine

oder Universaldrehmaschine

oder Leit- und Zugspindeldrehmaschine

Vorteil:

geeignet für fast alle Dreharbeiten

② Wie heißen die bezifferten Teile der Drehmaschine?

1 Gestell

2 Bett

3 Spindelstock

4 Gehäuse für Antriebsmotor

5 Getriebekasten

6 Zugspindel

7 Leitspindel

8 Schaltwelle

9 Schlosskasten

10 Werkzeugschlitten

11 Reitstock

12 Spannfutter

13 Digitale Anzeige

14 Spindelschutz

15 Späneschutz

F Digitalanzeige.

① Welche Ausrichtungen werden beim Drehen unterschieden?

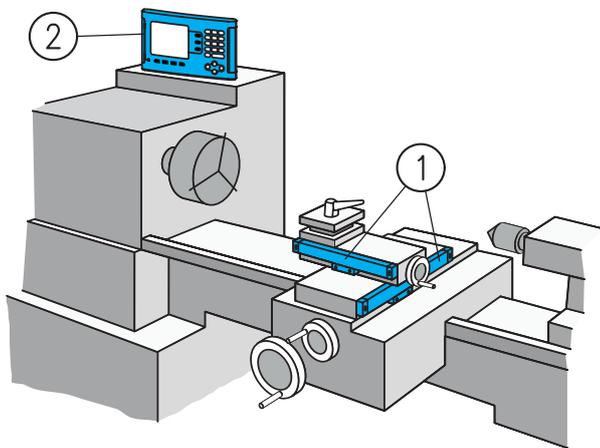


X-Achse Verfahrweg des Planschlitten

Z-Achse Verfahrweg des Bettschlitten

Z₀-Achse Verfahrweg des Oberschlitten

② Aus welchen Komponenten besteht eine Digitalanzeige?



1 Längenmessgerät (Glasmaßstab)
für jede Achse

2 Anzeigegerät (Zähler)

③ Wie funktioniert eine Digitalanzeige?

Das Längenmessgerät (Glasmaßstab) erfasst den Verfahrweg des Maschinenschlittens.

Der Zähler zeigt den zurückgelegten Verfahrweg als Zahlenwert an.

④ Welche Vorteile bringt eine Digitalanzeige?

Da das Längenmessgerät (Glasmaßstab) direkt mit dem Maschinenschlitten verbunden ist, wird nur der tatsächliche Verfahrweg erfasst.

Umkehrspiel oder Spindelfehler haben keinen Einfluss auf die Genauigkeit des Messwertes.

Beim unten abgebildeten Schraubstock ist das Gewinde der Spannschraube beschädigt. Sie erhalten die Aufgabe, die Fertigung einer neuen Spannschraube aus dem Maschinenbaustahl E360+C zu planen und das Drehteil herzustellen.

Informieren/orientieren Sie sich, indem Sie ...

- sich die Funktion und den Einsatz des Schraubstocks überlegen,
- sich mit der Teilzeichnung vertraut machen,
- sich die Bemaßung des Gewindes überlegen,
- sich mit der Herstellung von Gewinden auf der Drehmaschine beschäftigen.

Planen/entscheiden Sie, indem Sie ...

- sich über den Werkstoff und das geeignete Rohteil informieren,
- einen Arbeitsplan für die Fertigung des gesamten Werkstücks erstellen,
- Spannmittel und Drehmeißel auswählen,
- Schnittdaten auswählen.

Führen Sie Ihren Auftrag aus, indem Sie ...

- Drehzahl, Zustellung und Hauptnutzungszeit berechnen,
- das Werkstück fertigen,
- die Arbeitssicherheit beachten.

Kontrollieren Sie, indem Sie ...

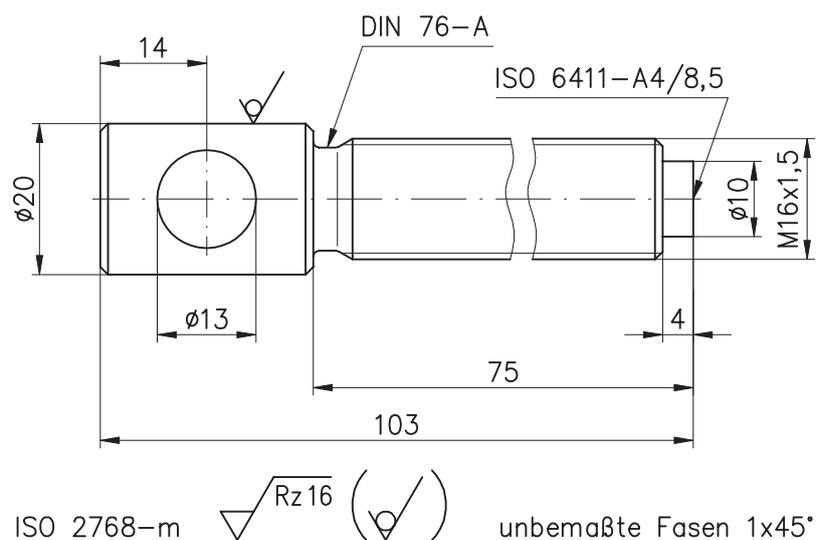
- sich mit Prüfmöglichkeiten für Gewinde beschäftigen,
- mögliche Abweichungen begründen.
- das Werkstück prüfen,

Bewerten und dokumentieren Sie, indem Sie ...

- den Arbeitsablauf kritisch überdenken,
- mögliche Verbesserungen überlegen,
- Ihre Ergebnisse mit denen anderer Schüler vergleichen.

Information

Machen Sie sich mit der Teilzeichnung vertraut und ergänzen Sie das Schriftfeld.



Datum		Werkstoff	E360+C
Gezeichnet		Rohteil	Rd 20x106
Spannschraube			

G Spannwerkzeuge

- Wie bezeichnet man die folgenden Spannerwerkzeuge für Fräser?
- Welche Fräser werden damit aufgespannt? (Nennen Sie Beispiele.)
- Wie wird das Drehmoment auf das Werkzeug übertragen?
- Welche Aufnahme in die Maschinenspindel haben die drei abgebildeten Spannerwerkzeuge?



- Flächenspannfutter
- zum Spannen von Werkzeugen mit seitlicher Mitnahmefläche, Schafffräser
- formschlüssig mit Spanschraube



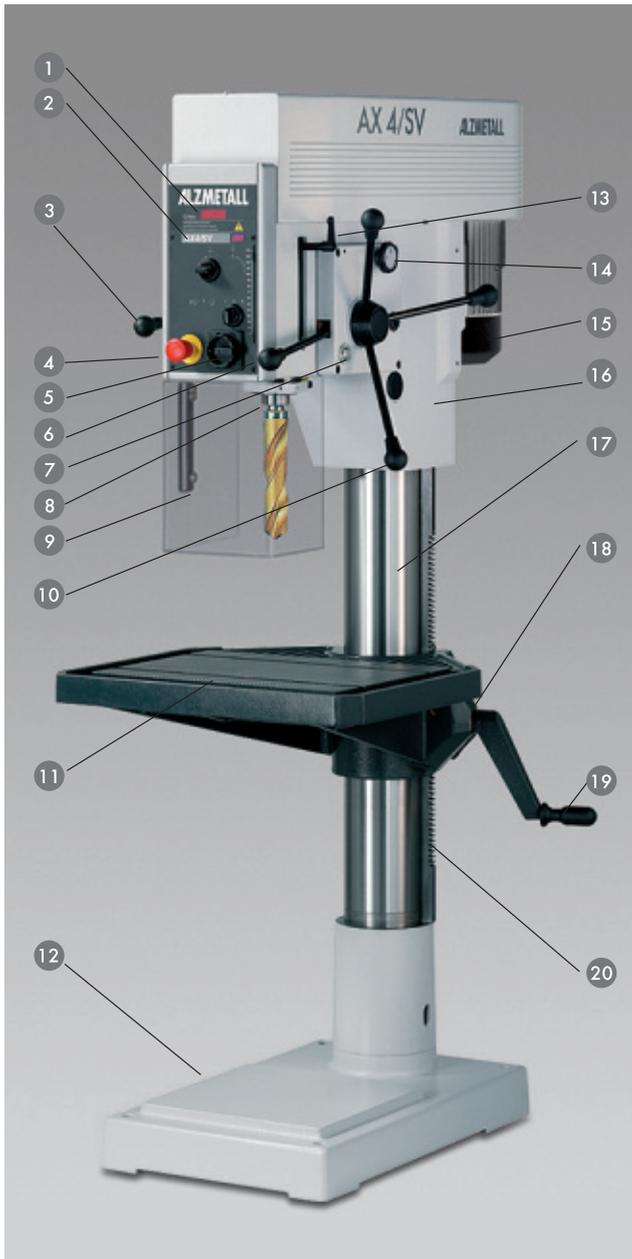
- Fräser-Aufsteckdorn mit Mitnehmerring
- Walzenstirnfräser, Winkelstirnfräser, Messerkopf, Planfräser
- formschlüssig mit Passfeder oder Mitnehmerring



- Spannzangenfutter mit Spannzange
- Schafffräser, Langlochfräser, T-Nutenfräser, Schlitzfräser
- kraftschlüssig

- Steilkegel mit Ringnut DIN 2080 (z.B. SK40)

- ② Tragen Sie jeweils die entsprechende deutsche Bezeichnung der nummerierten Teile ein.



Technical Data

Drilling capacity in steel (St 60) E335	55 mm
Tapping Performance in steel (St 60) E335	M 30
Tapping Performance in Cast-iron (GG20) EN-GJL-200	M 36
Tool Taper/Short Spindle	MK 4/MT 4
Z-travel of Spindle	140 mm
Distance Spindle to Column	300 mm
Column diameter	145 mm
Table Clamping Area	615 x 430 mm
T-Slots (number x width x distance)	2 x 14 x 224 mm
Distance Spindle/table min./max.	150/735 mm
Feed mm/r	0,1 + 0,3
Net weight approx.	380 kg
Motor: n = 1500 min ⁻¹	3,0 kW
Spindle speeds	70 – 2400 min ⁻¹

- 1 Digital Speed Read-out
Digitale Drehzahlanzeige
- 2 Digital Depth Read-out
Digitale Bohrtiefenanzeige
- 3 Manual speed variator
Stufenlose Drehzahlverstellung
- 4 Emergency OFF mushroom switch
Pilzdrucktaster NOT-AUS
- 5 Mains switch
Hauptschalter
- 6 Feed lever (feed ON/OFF)
Vorschubhebel (Vorschub EIN/AUS)
- 7 Oil level gauge (feed gear)
Ölschauglas (Vorschubgetriebe)
- 8 Short spindle
Kurzspindel
- 9 Spindle protection, electr. secured
Spindelschutz (elektr. abgesichert)
- 10 Manual advance lever
Griffkreuz (Handvorschub)
- 11 Machine table
Maschinentisch
- 12 Base plate (column drills)
Trockengrundplatte
- 13 Depth setting
Bohrtiefeneinstellung
- 14 Feed selector
Einstellung Vorschubgeschwindigkeit
- 15 Drive motor
Antriebsmotor
- 16 Drilling head
Bohrkopf
- 17 Casted Column
Säule
- 18 Table clamping
Tischklemmung
- 19 Table height adjustment
Tischhöhenverstellung
- 20 Toothed rack
Zahnstange

Bildquellenverzeichnis

|Alzmetall Werkzeugmaschinenfabrik GmbH & Co. KG, Altenmarkt: 77.1, 78.1, 79.1, 80.1, 84.1. |August Beck GmbH & Co. KG, Winterlingen: 25.7, 25.8. |AXA Entwicklungs- und Maschinenbau GmbH, Schöppingen: 46.1, 46.2. |Di Gaspare, Michele (Bild und Technik Agentur für technische Grafik und Visualisierung), Bergheim: Titel, 5.1, 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 10.1, 10.2, 10.3, 11.1, 14.1, 14.2, 15.1, 15.2, 17.1, 19.2, 19.3, 19.4, 19.5, 21.1, 22.1, 22.2, 22.3, 23.1, 23.2, 23.3, 23.4, 23.5, 24.1, 24.2, 25.6, 26.5, 26.6, 29.1, 30.1, 31.1, 31.2, 31.3, 32.1, 32.2, 33.1, 33.2, 33.3, 33.4, 37.1, 38.1, 40.2, 41.1, 41.2, 41.3, 41.4, 42.1, 42.2, 42.3, 43.1, 43.2, 43.3, 44.1, 44.2, 44.3, 44.4, 44.5, 45.1, 45.2, 45.3, 48.1, 49.1, 49.2, 49.3, 50.1, 50.3, 51.2, 52.2, 53.1, 53.2, 53.3, 55.3, 56.1, 59.13, 59.14, 60.3, 60.4, 60.5, 60.6, 64.1, 64.2, 68.1, 70.1, 70.2, 71.1, 71.2, 72.1, 72.2, 72.3, 72.4, 73.1, 73.2, 73.3, 73.4, 73.5, 73.6, 73.7, 74.1, 74.2, 74.3, 74.4, 74.5, 74.6, 75.1, 75.2, 75.3, 75.4, 75.6, 76.1, 76.3, 81.1, 81.2, 81.3, 81.4, 82.1, 83.1, 83.2, 83.3, 83.4, 83.5, 83.6, 89.1, 89.2, 89.3, 89.4, 89.5, 89.6, 89.7, 89.8, 90.1, 90.2, 90.3, 90.4, 90.5, 93.1, 93.2, 94.1, 95.1, 96.1, 96.2, 96.3, 99.1, 99.2, 100.1, 100.2, 101.1, 101.2, 101.3, 102.1, 102.2, 102.3, 103.1, 104.1, 104.2, 105.1, 106.1, 106.2, 106.3, 106.4, 106.5, 106.6. |DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, Traunreut: 40.1. |Frisch, Heinz, Königsbrunn: 28.1, 46.3, 60.2, 88.1, 88.2, 88.3, 92.1. |Knuth Werkzeugmaschinen GmbH - www.knuth.de, Wasbek: 60.1, 61.1, 61.2. |KUNZMANN Maschinenbau GmbH, Remchingen-Nöttingen: 58.1. |Mahr GmbH, Göttingen: 16.1, 16.2, 16.3, 16.4, 16.5, 16.6, 17.2, 17.3, 18.1, 19.1, 20.1, 20.2, 56.2, 56.3, 56.4, 56.5, 67.1, 67.2, 67.3. |Röhm GmbH, Sontheim: 46.4, 46.5, 47.1, 47.2, 47.3, 48.2, 48.3. |Shutterstock.com, New York: Pixsolute Photography 98.1. |stock.adobe.com, Dublin: Vydrin, Vladimir 52.1. |© Hoffmann SE, München: 25.1, 25.2, 25.3, 25.4, 25.5, 26.1, 26.2, 26.3, 26.4, 27.1, 27.2, 59.1, 59.2, 59.3, 59.4, 59.5, 59.6, 59.7, 59.8, 59.9, 59.10, 59.11, 59.12, 62.1, 62.2, 62.3, 62.4, 62.5. |© Optimum Maschinen Germany GmbH, Hallstadt: 38.2, 39.1.

Wir arbeiten sehr sorgfältig daran, für alle verwendeten Abbildungen die Rechteinhaberinnen und Rechteinhaber zu ermitteln. Sollte uns dies im Einzelfall nicht vollständig gelungen sein, werden berechnigte Ansprüche selbstverständlich im Rahmen der üblichen Vereinbarungen abgegolten.