

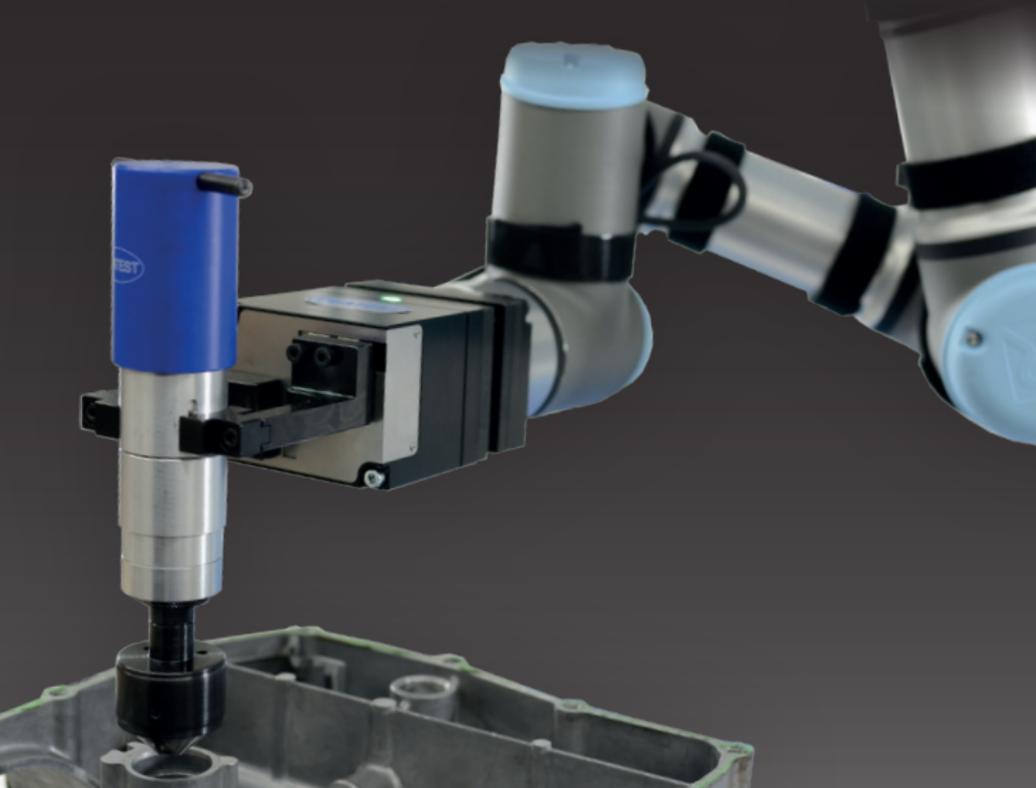


Mitutoyo

DEUTSCHE
AUSGABE

MESSTECHNISCHES NACHSCHLAGWERK

Äquivalente, Umrechnungen, geometrische Tolerierungssymbole,
Härtevergleichstabellen, Dreiecksberechnung, Messung,
Rauheitsmessung, Wärmeausdehnung



Inhalt

S.
01

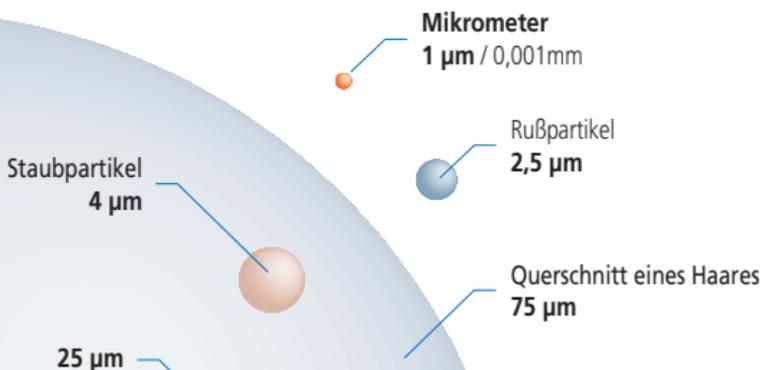
Mikrometer, die den Unterschied ausmachen	02
Das griechische Alphabet und grundlegende mathematische Symbole	03
Umrechnungen	04
Dreiecksberechnung	05
Formel	06
Internationale Produktnormen	09
Terminologie	14
Geometrische Tolerierungssymbole	38
Rundheitsberechnung	41
Härteskalen	45
Praktische Hinweise zur Oberflächenrauheitsmessung	51
Rauheitsmessbedingungen	56
Wärmeausdehnungskoeffizient (CTE)	59
Materialeigenschaften von Endmaßen	61
Endmaßklassen	62
Gewindegrößen – metrisches ISO-Gewinde	72
Anmerkungen	76

Mikrometer, die den Unterschied ausmachen

S.
02

Wußten Sie...

...dass sich ein 100 mm-Stahlendmaß bei einer Temperaturveränderung von 20°C auf 30°C um 11 µm in der Länge ausdehnt?



In etwa das kleinste mit bloßem
Auge erkennbare Objekt
40 µm

Maßstab 1500:1

Das griechische Alphabet und grundlegende mathematische Symbole

S.
03

Großbuchstaben	A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ
Kleinbuchstaben	α	β	γ	δ	ε	ζ	η	θ
Name	Alpha	Beta	Gamma	Delta	Epsilon	Zeta	Eta	Theta

Großbuchstaben	I	K	Λ	M	N	Ξ	O	Π
Kleinbuchstaben	ι	κ	λ	μ	ν	ξ	ο	π
Name	Iota	Kappa	Lambda	My	Ny	Xi	Omikron	Pi

Großbuchstaben	P	Σ	T	Υ	Φ	X	Ψ	Ω
Kleinbuchstaben	ρ	σ	τ	υ	φ	χ	ψ	ω
Name	Rho	Sigma	Tau	Ypsilon	Phi	Chi	Psi	Omega

+	plus/addieren
-	minus/subtrahieren
±	plus oder minus
x	multiplizieren/Vielfaches
÷	dividieren
/	dividieren
=	ist numerisch gleich mit
≡	ist gleich oder gleichwertig mit
≠	ist nicht gleich
≈	ist ungefähr gleich
∝	ist proportional zu
~	ist in der Größenordnung von
>	ist größer als
<	ist kleiner als
≥	ist größer oder gleich
≤	ist kleiner oder gleich

>>	ist viel größer als
<<	ist viel kleiner als
Σ	Summe von
Π	Produkt der angegebenen Mengen
⊕	Symmetrische Differenz der angegebenen Mengen
∴	folglich
∠	Winkel
//	parallel zu
⊥	senkrecht zu
:	ist zu
√x	Quadratwurzel von x
∛x	n-te
→	konvergiert gegen den Grenzwert
∞	strebt nach unendlich

Umrechnungen

> Metrische Längeneinheiten

	nm	μm	mm	cm	dm	m	km
1 nm	1	0,001	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-12}
1 μm	1000	1	0,001	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-9}
1 mm	10^6	1000	1	0,1	0,01	0,001	10^{-6}
1 cm	10^7	10000	10	1	0,1	0,01	10^{-5}
1 dm	10^8	100000	100	10	1	0,1	10^{-4}
1 m	10^9	10^6	1000	100	10	1	0,001
1 km	10^{12}	10^9	10^6	100000	10000	1000	1

> Metrische Einheiten und anglo-amerikanische Einheiten

	in	ft	yd	μm	mm	m
1 in	1	0,08333	0,02778	25400	25,4	0,0254
1 ft	12	1	0,3333	304800	304,8	0,3048
1 yd	36	3	1	914400	914,4	0,9144
1 μm	$3,937 \times 10^{-5}$	$3,281 \times 10^{-6}$	$1,094 \times 10^{-6}$	1	0,001	10^{-6}
1 mm	0,03937	$3,281 \times 10^{-3}$	$1,094 \times 10^{-3}$	1000	1	0,001
1 m	39,37	3,281	1,094	10^6	1000	1

> Bruch-/Dezimaläquivalente

Bruch-Zoll	mm	Dezimal-Zoll
$\frac{1}{64}$	0,397	0,0156
$\frac{1}{32}$	0,794	0,0312
$\frac{1}{16}$	1,588	0,0625
$\frac{1}{8}$	3,175	0,125
$\frac{1}{4}$	6,35	0,25

Bruch-Zoll	mm	Dezimal-Zoll
$\frac{3}{8}$	9,525	0,375
$\frac{1}{2}$	12,7	0,5
$\frac{3}{4}$	19,05	0,75
1	25,4	1,0

Dreiecksberechnung

S.
05

> Berechnung eines schiefwinkligen Dreiecks

> **Sinussatz**

$$\sin \alpha : \sin \beta : \sin \gamma = a : b : c$$

$$a = \frac{b}{\sin \beta} \sin \alpha = \frac{c}{\sin \gamma} \sin \alpha$$

$$b = \frac{a}{\sin \alpha} \sin \beta = \frac{c}{\sin \gamma} \sin \beta$$

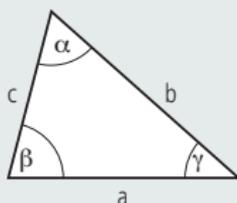
$$c = \frac{a}{\sin \alpha} \sin \gamma = \frac{b}{\sin \beta} \sin \gamma$$

> **Kosinussatz**

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2 b c \cdot \cos \alpha$$

$$b^2 = c^2 + a^2 - 2 a c \cdot \cos \beta$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2 a b \cdot \cos \gamma$$



> **Fläche**

$$A = \frac{1}{2} b c \sin \alpha = \frac{1}{2} a c \sin \beta = \frac{1}{2} a b \sin \gamma$$

> Berechnung eines rechtwinkligen Dreiecks

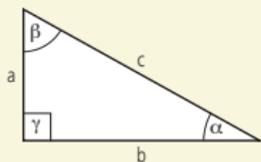
> **Das rechtwinklige Dreieck**

$$\sin \alpha = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Hypotenuse}} = \frac{a}{c}$$

$$\cos \alpha = \frac{\text{Ankathete}}{\text{Hypotenuse}} = \frac{b}{c}$$

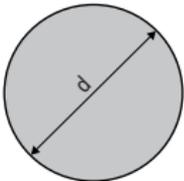
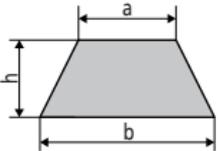
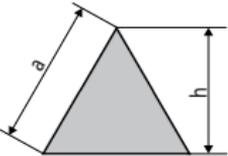
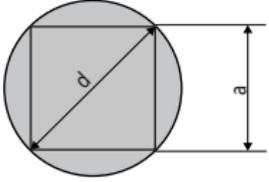
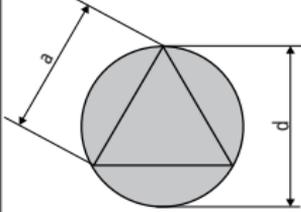
$$\tan \alpha = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Ankathete}} = \frac{a}{b}$$

$$\cot \alpha = \frac{\text{Ankathete}}{\text{Gegenkathete}} = \frac{b}{a}$$



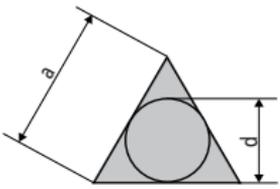
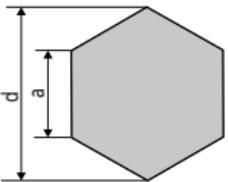
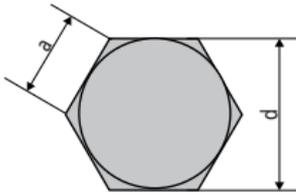
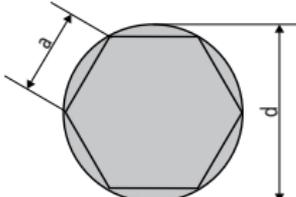
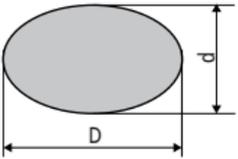
Formel

S.
06

	<p>Kreisfläche: $A = \frac{\pi d^2}{4}$</p>	<p>Kreisumfang: $U = \pi \cdot d$</p>
	<p>Trapezfläche: $A = \frac{a + b}{2} \cdot H$</p>	
	<p>Dreiecksfläche: $A = \frac{a \cdot H}{2}$</p>	
	<p>Seite eines in einem Kreis liegenden Quadrats: $a = \frac{d}{\sqrt{2}}$</p>	
	<p>Seite eines in einem Kreis liegenden gleichseitigen Dreiecks: $a = \frac{d \cdot \sqrt{3}}{2}$</p>	

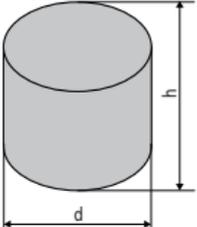
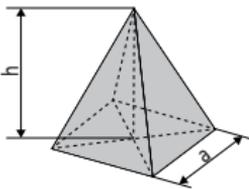
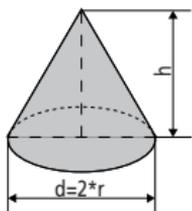
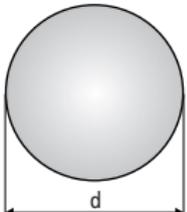
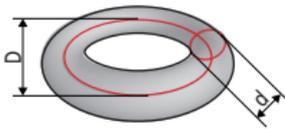
Formel

S.
07

	<p>Durchmesser eines in einem gleichseitigen Dreieck liegenden Kreises:</p> $d = \frac{a \cdot \sqrt{3}}{3}$	
	<p>Fläche eines regelmäßigen Sechsecks:</p> $A = \frac{3 \cdot a^2 \cdot \sqrt{3}}{2}$	<p>Eckmaß eines regelmäßigen Sechsecks: $d = 2 \cdot a$</p>
	<p>Durchmesser eines in einem regelmäßigen Sechseck liegenden Kreises:</p> $d = a \cdot \sqrt{3}$	
	<p>Seite eines in einem Kreis liegenden regelmäßigen Sechsecks:</p> $a = \frac{d}{2}$	
	<p>Fläche einer Ellipse:</p> $A = \frac{\pi \cdot D \cdot d}{4}$	

Formel

S.
08

	<p>Zylinderfläche: $A = \pi \cdot d \cdot \left(\frac{d}{2} + h\right)$</p>	<p>Zylindervolumen: $V = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot H}{4}$</p>
	<p>Fläche einer regelmäßigen vierseitigen Pyramide: $A = a^2 + a \cdot \sqrt{4 \cdot h^2 + a^2}$</p>	<p>Volumen einer regelmäßigen vierseitigen Pyramide: $V = \frac{a^2 \cdot H}{3}$</p>
	<p>Kegelfläche: $A = \pi \cdot r \cdot (r + m)$ $m = \sqrt{H^2 + r^2}$</p>	<p>Kegelvolumen: $V = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot H}{3}$</p>
	<p>Kugelfläche: $A = \pi \cdot d^2$</p>	<p>Kugelvolumen: $V = \frac{\pi \cdot d^3}{6}$</p>
	<p>Torusfläche: $A = \pi^2 \cdot d \cdot D$</p>	<p>Torusvolumen: $V = \frac{\pi^2 \cdot D \cdot d^2}{4}$</p>

Internationale Produktnormen

S.
09

Handmessgeräte	Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Dimensionale messtechnische Geräte - Teil 1: Messschieber - Bauweise und messtechnische Eigenschaften	DIN EN ISO 13385-1
	Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Dimensionale messtechnische Geräte - Teil 2: Tiefenmessschieber - Bauweise und messtechnischen Eigenschaften	DIN EN ISO 13385-2
	Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Dimensionale messtechnische Geräte: Höhenmessgeräte - Bauweise und messtechnische Merkmale	DIN EN ISO 13225
	Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Dimensionale messtechnische Geräte: Bügelmessschrauben für Außenmessungen- Bauweise und messtechnische Eigenschaften	DIN EN ISO 3611
	Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Dimensionale messtechnische Geräte: mechanische Messuhren - Bauweise und messtechnische Merkmale	DIN EN ISO 463
	Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Dimensionale messtechnische Geräte: Fühlhebelsmessuhren (Hebelausführung) - Bauweise und messtechnische Eigenschaften	DIN EN ISO 9493
	Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Längennormale - Endmaße	DIN EN ISO 3650
	Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Dimensionale messtechnische Geräte: Elektronische digitale Messuhr - Bauweise und messtechnische Eigenschaften.	DIN EN ISO 13102

Internationale Produktnormen

S.
10

Oberflächenbeschaffenheit	Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren - Nenneigenschaften von Tastschnittgeräten	DIN EN ISO 3274
	Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren - Begriffe, Definitionen und Kenngrößen der Oberflächenbeschaffenheit	DIN EN ISO 4287
	Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren - Regeln und Verfahren für die Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit	DIN EN ISO 4288
	Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren - Teil 1: Maßverkörperungen von Normalen	DIN EN ISO 5436
	Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren - Lineare Profilfilter: Gauss Filter	DIN EN ISO 16610-21
	Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren - Oberflächen mit plateauartigen funktionsrelevanten Eigenschaften - Teil 1: Filterung und allgemeine Messbedingungen	DIN EN ISO 13565-1
	Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren - Oberflächen mit plateauartigen funktionsrelevanten Eigenschaften - Teil 2: Beschreibung der Höhe mittels linearer Darstellung der Materialanteilskurve	DIN EN ISO 13565-2
	Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren - Oberflächen mit plateauartigen funktionsrelevanten Eigenschaften - Teil 3: Höhencharakterisierung mit Hilfe der Materialwahrscheinlichkeitskurve	DIN EN ISO 13565-3
	Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren - Motivparameter	DIN EN ISO 12085

Internationale Produktnormen

S.
11

Koordinatenmessgeräte	Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Annahmeprüfung und Bestätigungsprüfung für Koordinatenmessgeräte (KMG) - Teil 1: Begriffe	DIN EN ISO 10360-1
	Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Annahmeprüfung und Bestätigungsprüfung für Koordinatenmessgeräte (KMG) - Teil 2: KMG angewendet für Längenmessungen	DIN EN ISO 10360-2
	Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Annahmeprüfung und Bestätigungsprüfung für Koordinatenmessgeräte (KMG) - Teil 3: KMG mit der Achse eines Drehtisches als vierte Achse	DIN EN ISO 10360-3
	Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Annahmeprüfung und Bestätigungsprüfung für Koordinatenmessgeräte (KMG) - Teil 4: KMG im Scanningmodus	DIN EN ISO 10360-4
	Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Annahmeprüfung und Bestätigungsprüfung für Koordinatenmessgeräte (KMG) - Teil 5: Prüfung der Antastabweichungen von KMG mit berührendem Messkopfsystem	DIN EN ISO 10360-5
	Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Annahmeprüfung und Bestätigungsprüfung für Koordinatenmessgeräte (KMG) - Teil 6: Fehlerabschätzung beim Berechnen zugeordneter Geometrielemente nach Gauß	DIN EN ISO 10360-6
	Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Annahmeprüfung und Bestätigungsprüfung für Koordinatenmessgeräte (KMG) - Teil 7: KMG mit Bildverarbeitungssystemen	DIN EN ISO 10360-7

Internationale Produktnormen

S.
12

Koordinatenmessgeräte	Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Annahmeprüfung und Bestätigungsprüfung für Koordinatenmesssysteme (KMG) - Teil 8: KMG mit optischen Abstandssensoren	DIN EN ISO 10360-8
	Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Annahmeprüfung und Bestätigungsprüfung für Koordinatenmesssysteme (KMG) - Teil 9: KMG mit Multisensoren	DIN EN ISO 10360-9
	Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Leitfaden zur Ermittlung der Testunsicherheit von Koordinatenmessgeräten (KMG)	DIN ISO/TS 23165

Härteprüfgeräte	Metallische Werkstoffe - Härteprüfung nach Vickers - Teil 1: Prüfverfahren	DIN EN ISO 6507-1
	Metallische Werkstoffe - Härteprüfung nach Vickers - Teil 2: Prüfung und Kalibrierung von Prüfmaschinen	DIN EN ISO 6507-2
	Metallische Werkstoffe - Härteprüfung nach Vickers - Teil 3: Kalibrierung von Härtevergleichsplatten	DIN EN ISO 6507-3
	Metallische Werkstoffe - Härteprüfung nach Vickers - Teil 4: Härtewert-Tabellen	DIN EN ISO 6507-4
	Metallische Werkstoffe - Härteprüfung nach Rockwell - Teil 1: Prüfverfahren	DIN EN ISO 6508-1
	Metallische Werkstoffe - Härteprüfung nach Rockwell - Teil 2: Prüfung und Kalibrierung von Prüfmaschinen und Eindringkörpern	DIN EN ISO 6508-2

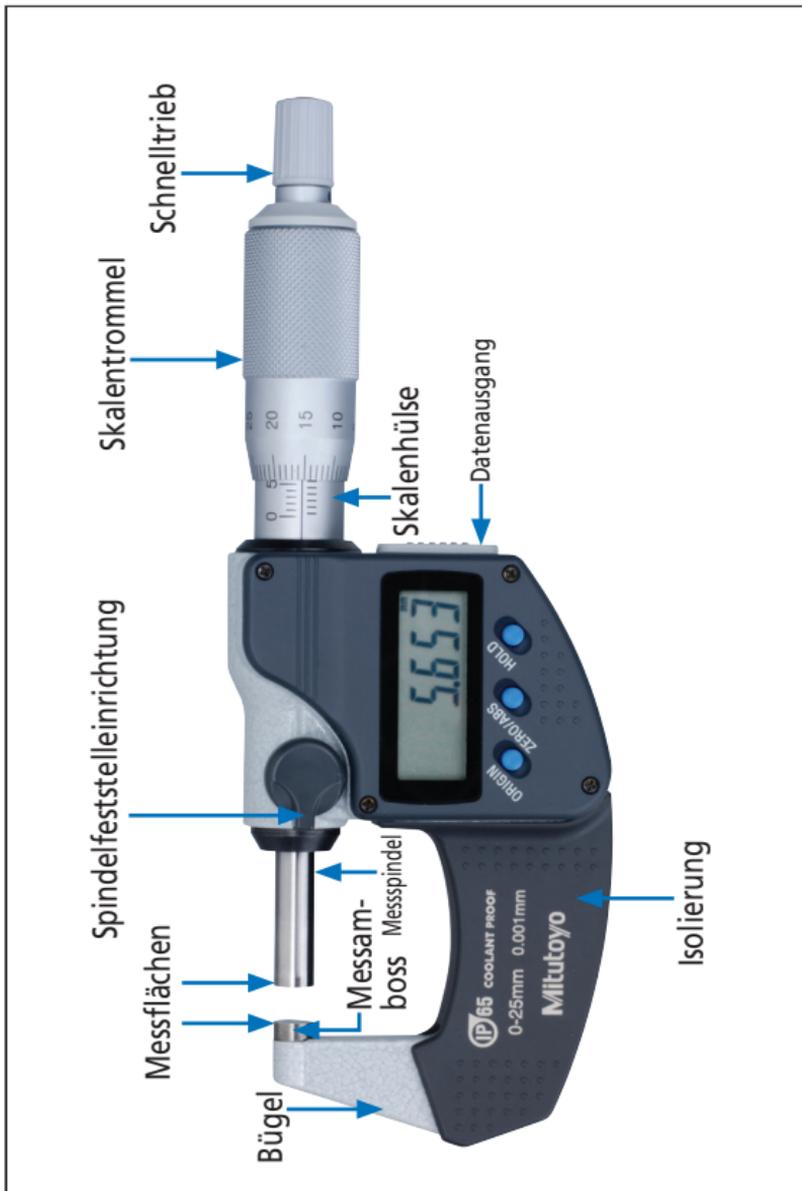
Internationale Produktnormen

S.
13

Härteprüfgeräte	Metallische Werkstoffe - Härteprüfung nach Rockwell - Teil 3: Kalibrierung von Härtevergleichsplatten	DIN EN ISO 6508-3
	Kunststoffe - Bestimmung der Härte - Teil 2: Rockwell-Härte	DIN EN ISO 2039-2
	Metallische Werkstoffe - Härteprüfung nach Brinell - Teil 1: Prüfverfahren	DIN EN ISO 6506-1
	Metallische Werkstoffe - Härteprüfung nach Brinell - Teil 2: Prüfung und Kalibrierung von Prüfmaschinen	DIN EN ISO 6506-2
	Metallische Werkstoffe - Härteprüfung nach Brinell - Teil 3: Kalibrierung von Härtevergleichsplatten	DIN EN ISO 6506-3
	Metallische Werkstoffe - Härteprüfung nach Brinell - Teil 4: Härtewert-Tabelle	DIN EN ISO 6506-4
	Metallische Werkstoffe - Härteprüfung nach Knoop - Teil 1: Prüfverfahren	DIN EN ISO 4545-1
	Metallische Werkstoffe - Härteprüfung nach Knoop - Teil 2: Prüfung und Kalibrierung von Prüfmaschinen	DIN EN ISO 4545-2
	Metallische Werkstoffe - Härteprüfung nach Knoop - Teil 3: Kalibrierung von Härtevergleichsplatten	DIN EN ISO 4545-3
	Metallische Werkstoffe - Härteprüfung nach Knoop - Teil 4: Härtewert-Tabelle	DIN EN ISO 4545-4
	Metallische und andere anorganische Überzüge - Vickers- und Knoop-Mikrohärteprüfungen	DIN EN ISO 4516
	Metallische Werkstoffe - Härtewert-Umrechnung	DIN EN ISO 18265

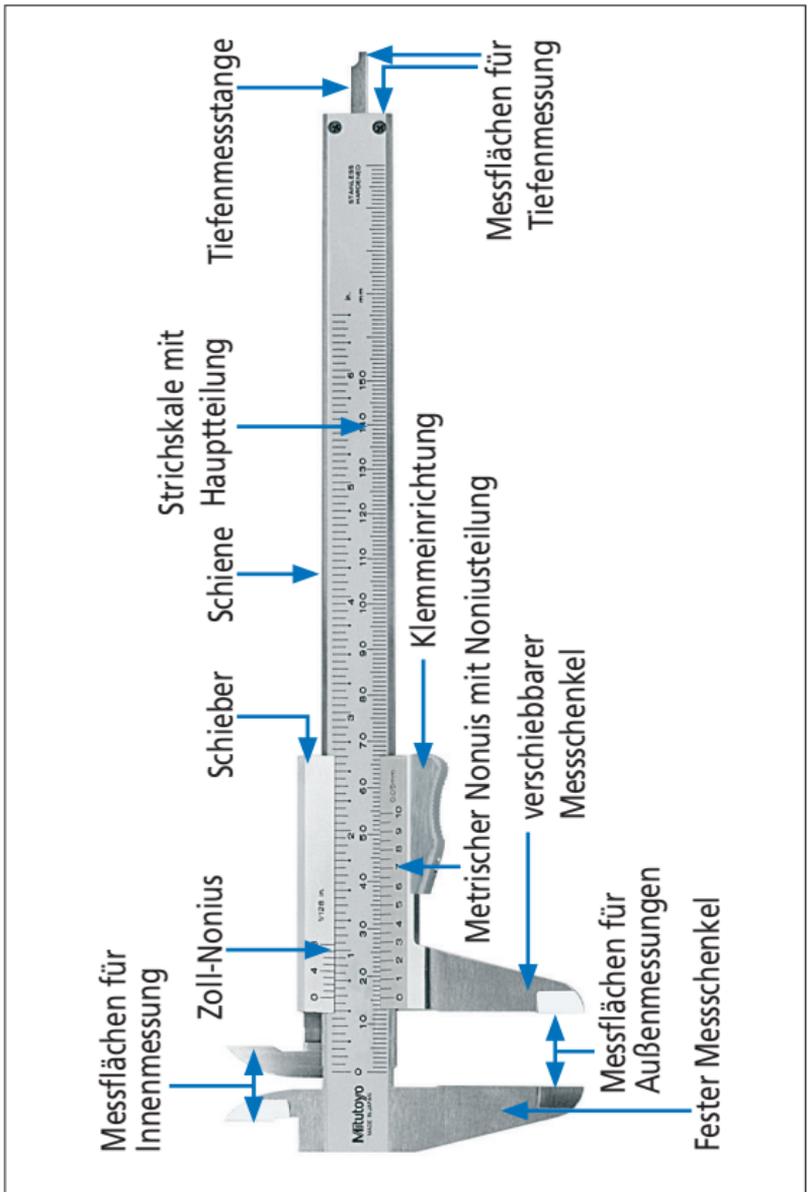
Terminologie - Messschrauben

S.
14



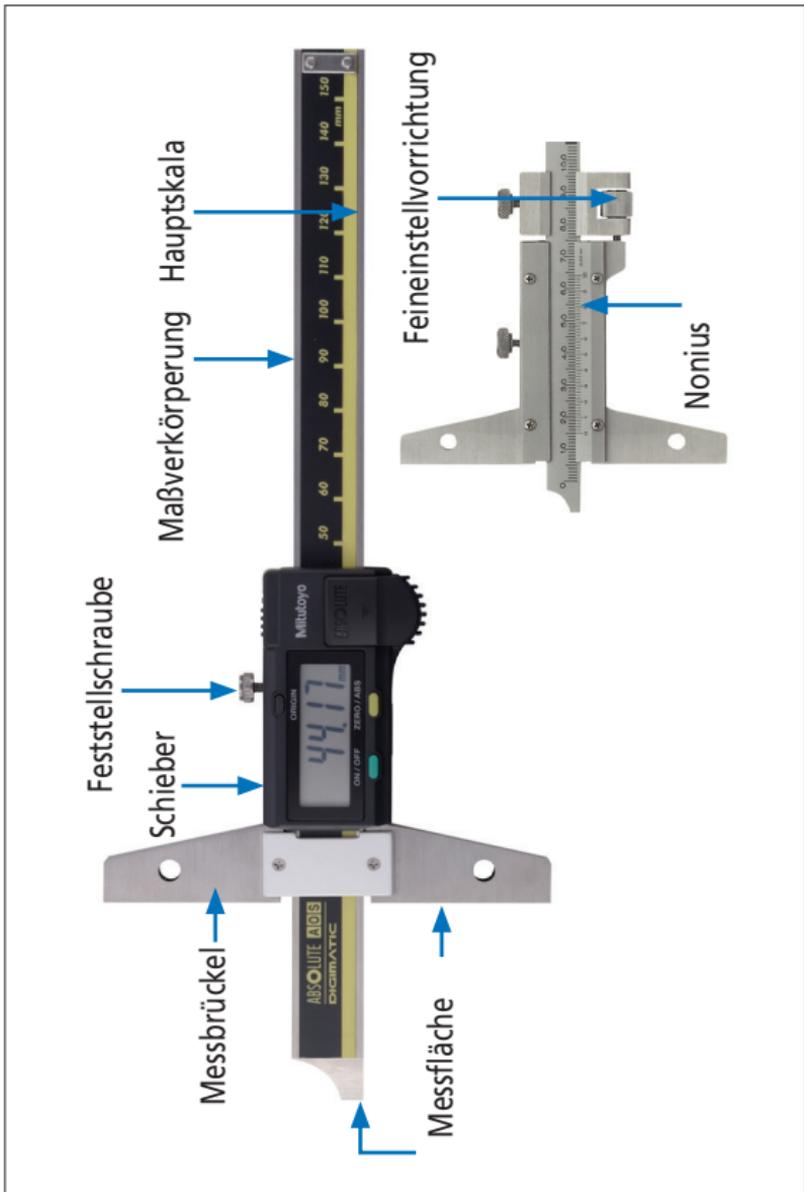
Terminologie - Messschieber

S.
15



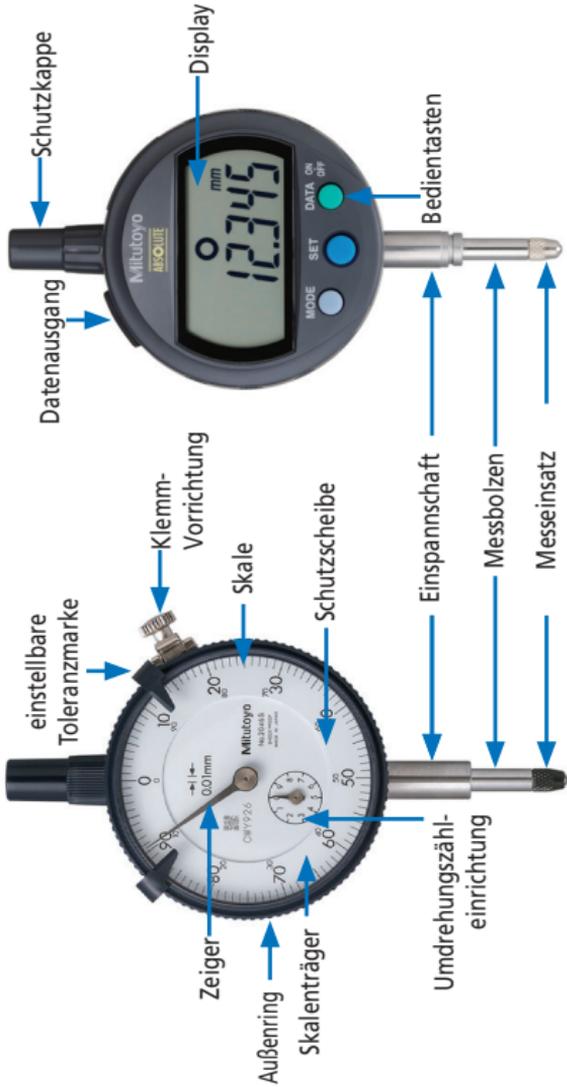
Terminologie - Tiefenmessschieber

S.
16



Terminologie - Messuhr

S.
17



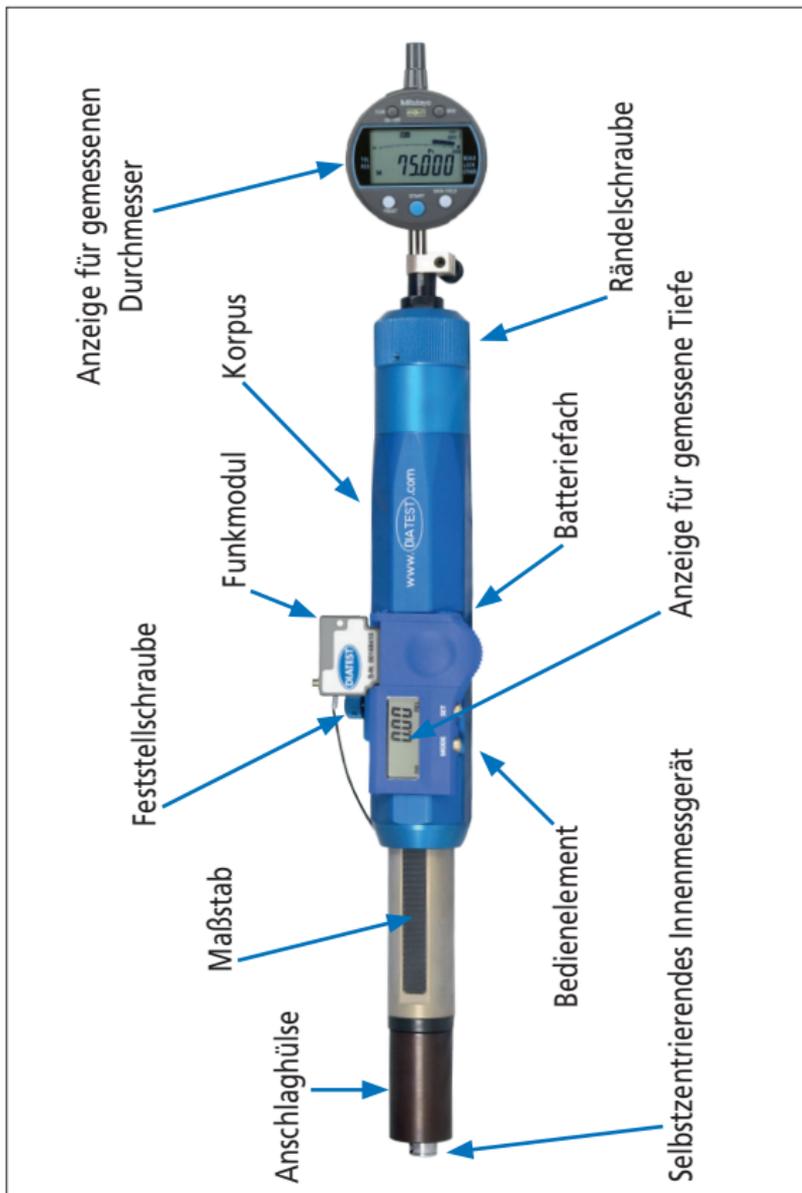
Terminologie - Komplettsysteme zur Bohrungsmessung

S.
18



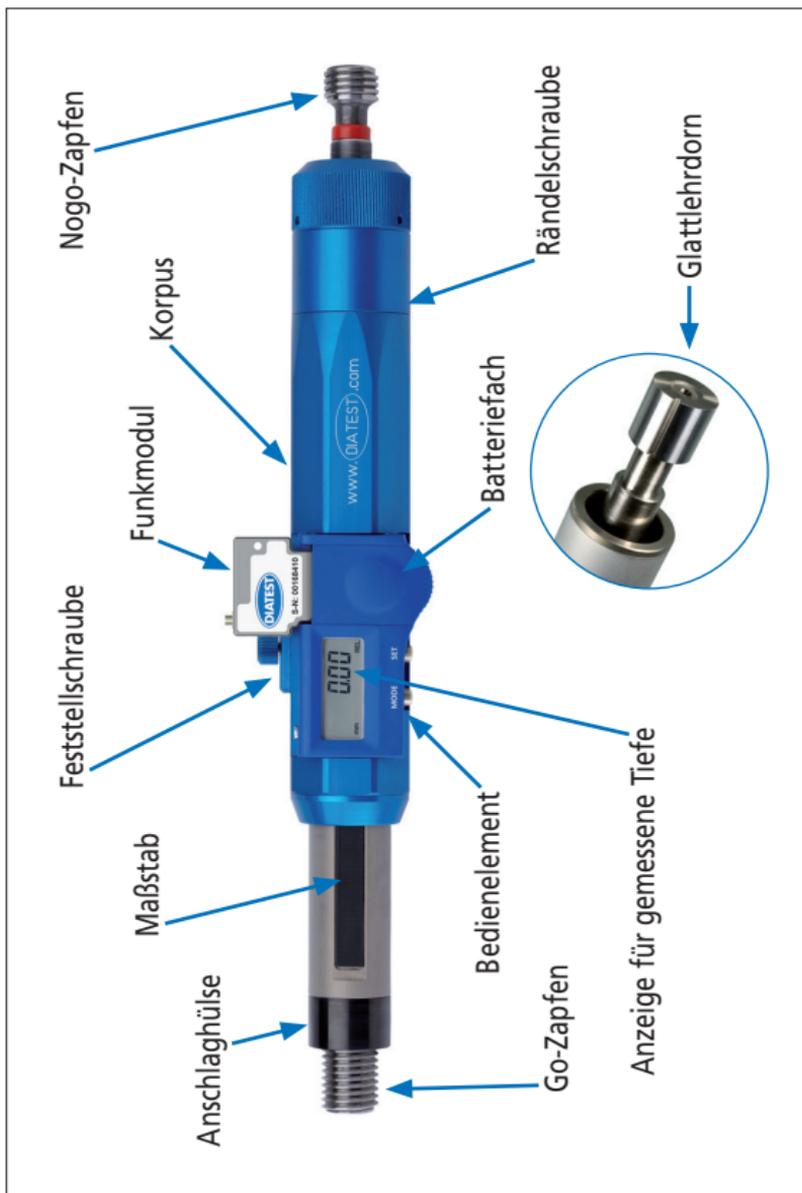
Terminologie - Systeme zur Messung von Durchmesser und Tiefe

S.
19



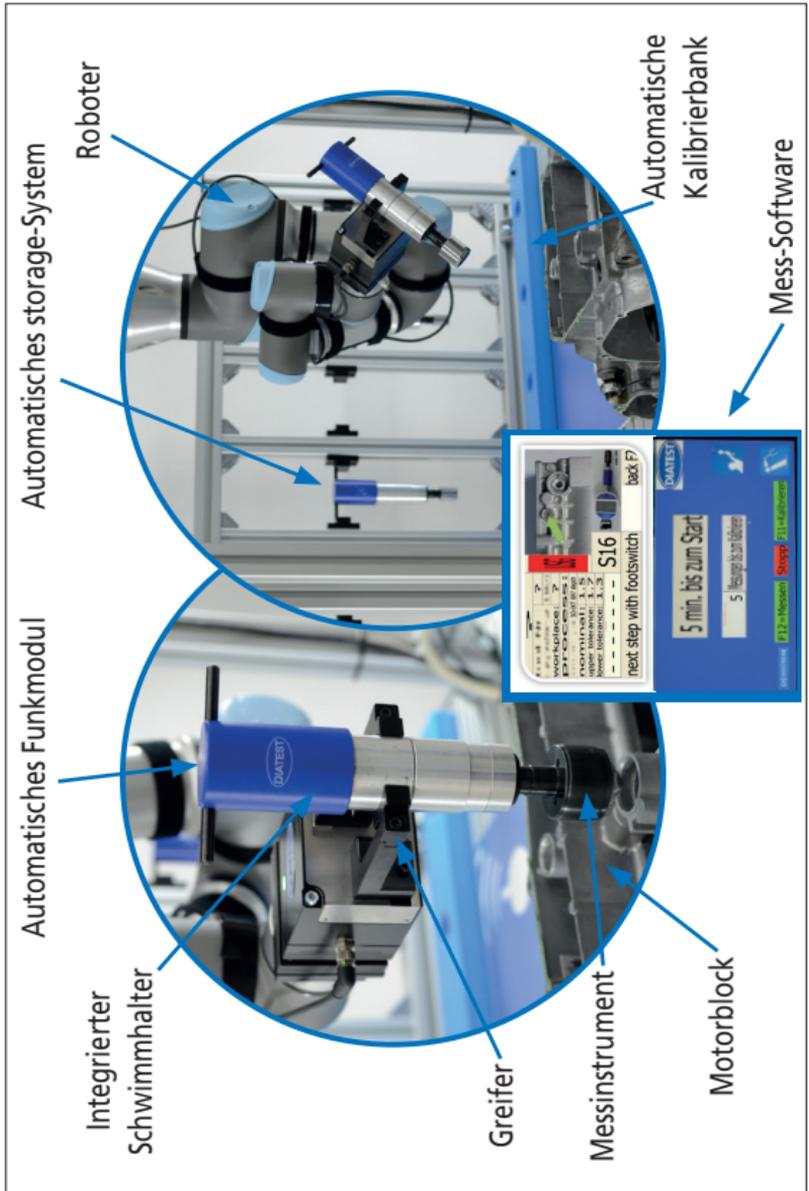
Terminologie - Lehren und Systeme zur Messung von nutzbaren Gewinden- oder Tiefen

S.
20



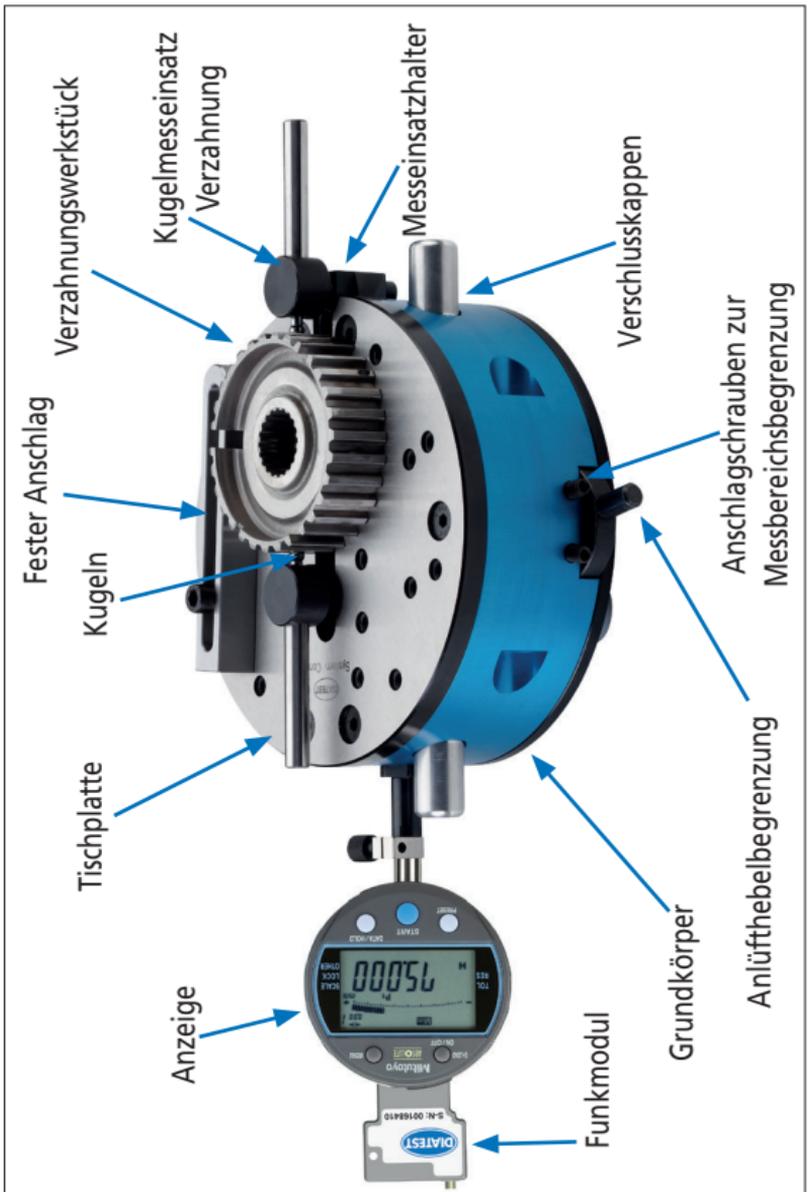
Terminologie - Automatisierte Messzellen

S.
21



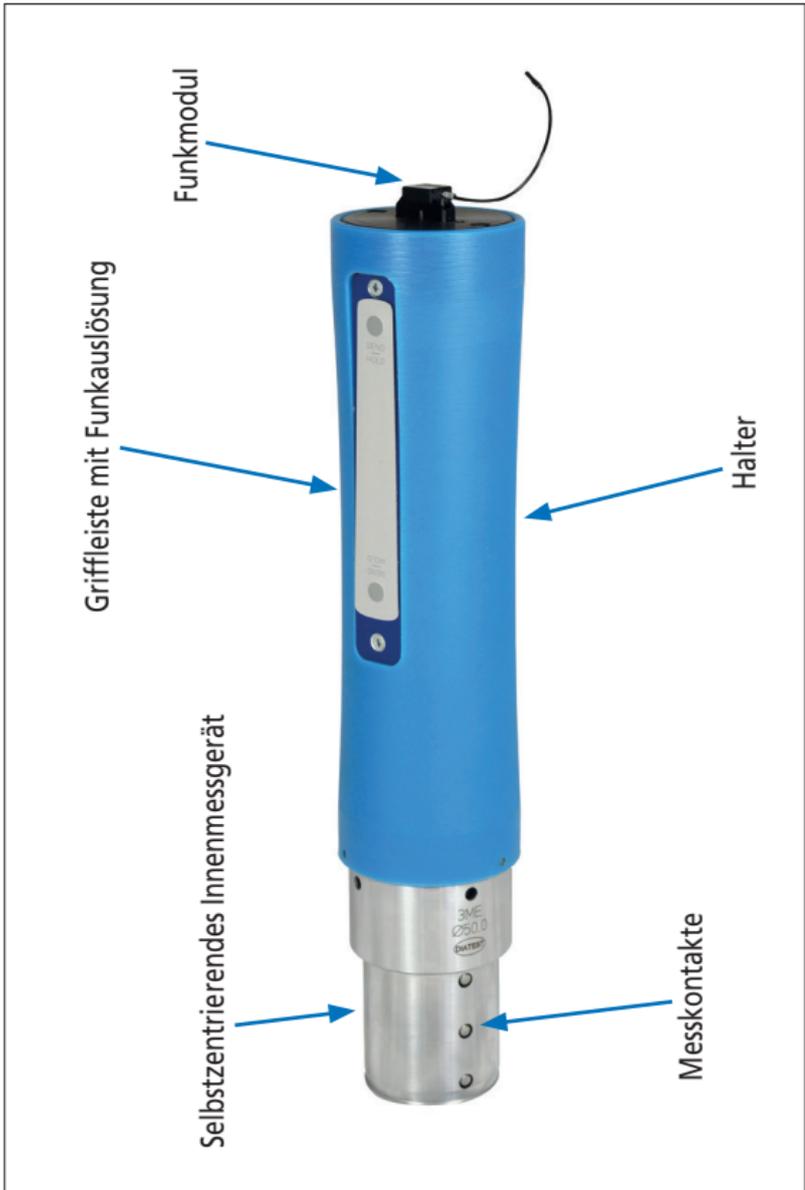
Terminologie - Messtische

S.
22



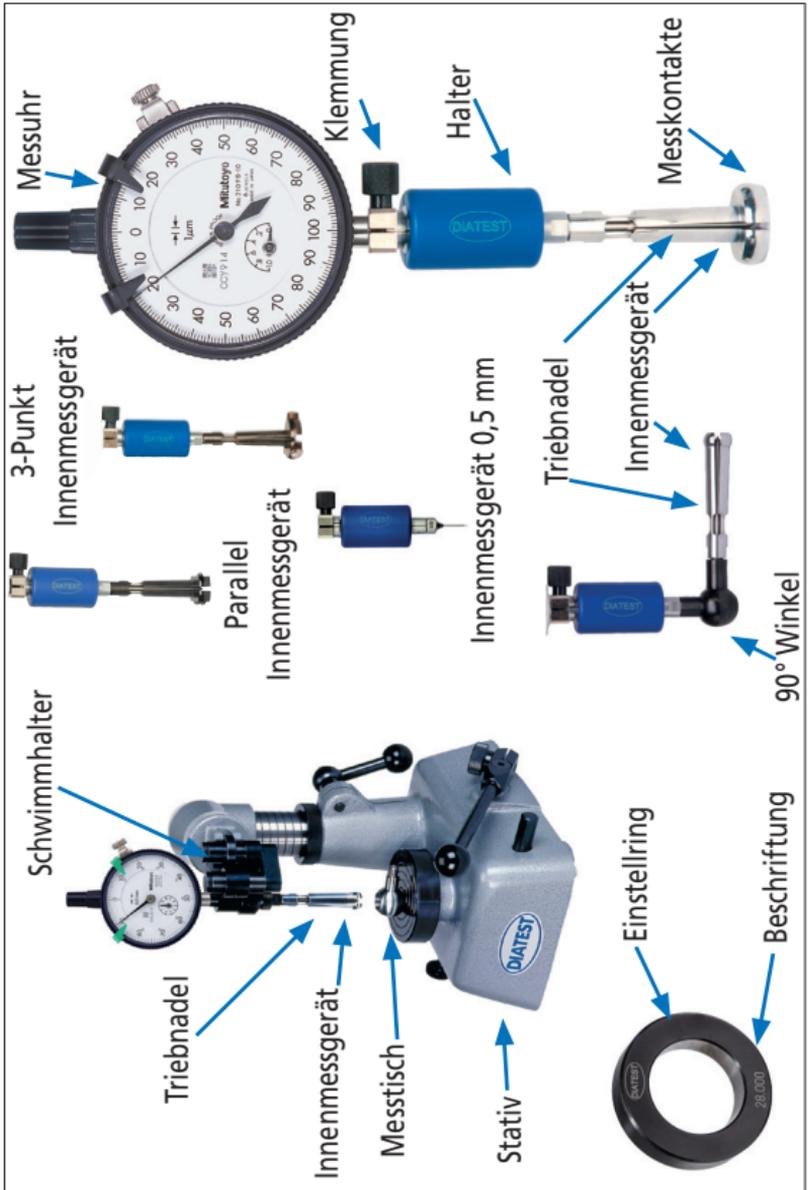
Terminologie - Systeme zur Bohrungsmessung auf mehreren Ebenen mit Funküberlagerung

S.
23



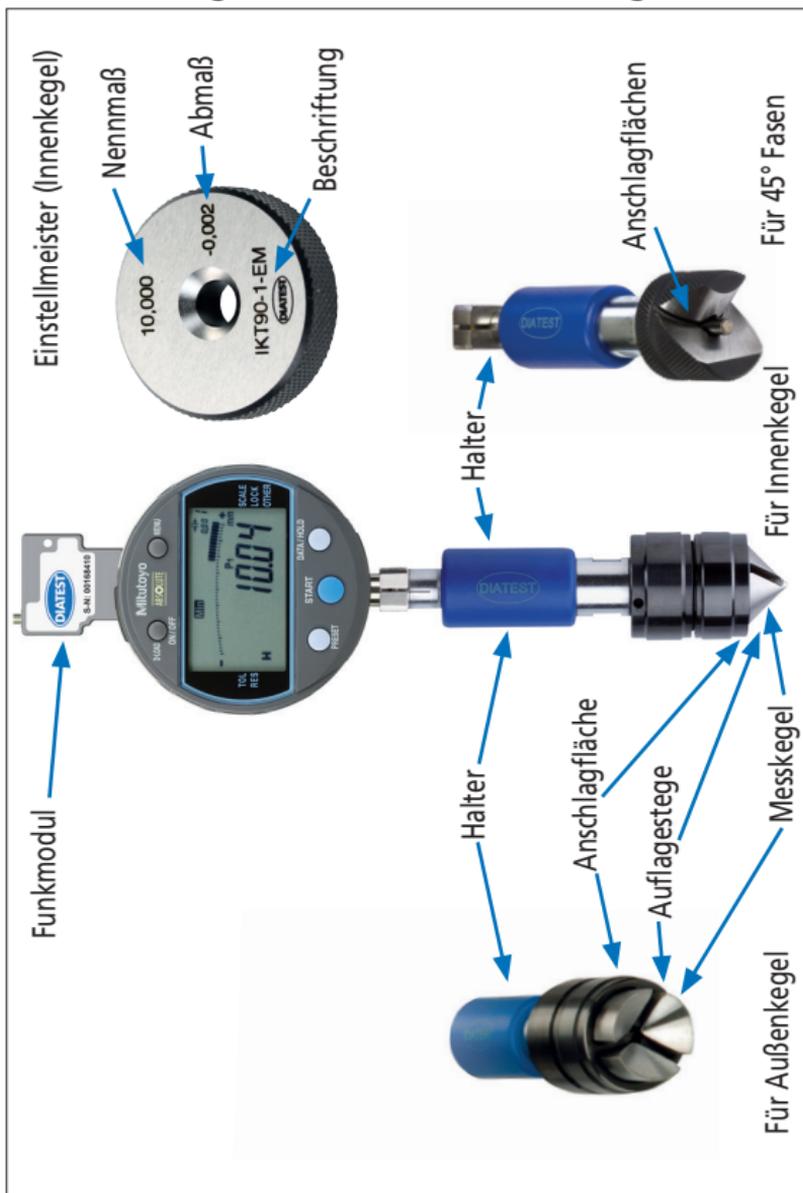
Terminologie - 2-Punkt-Innenmessgerät

S.
24



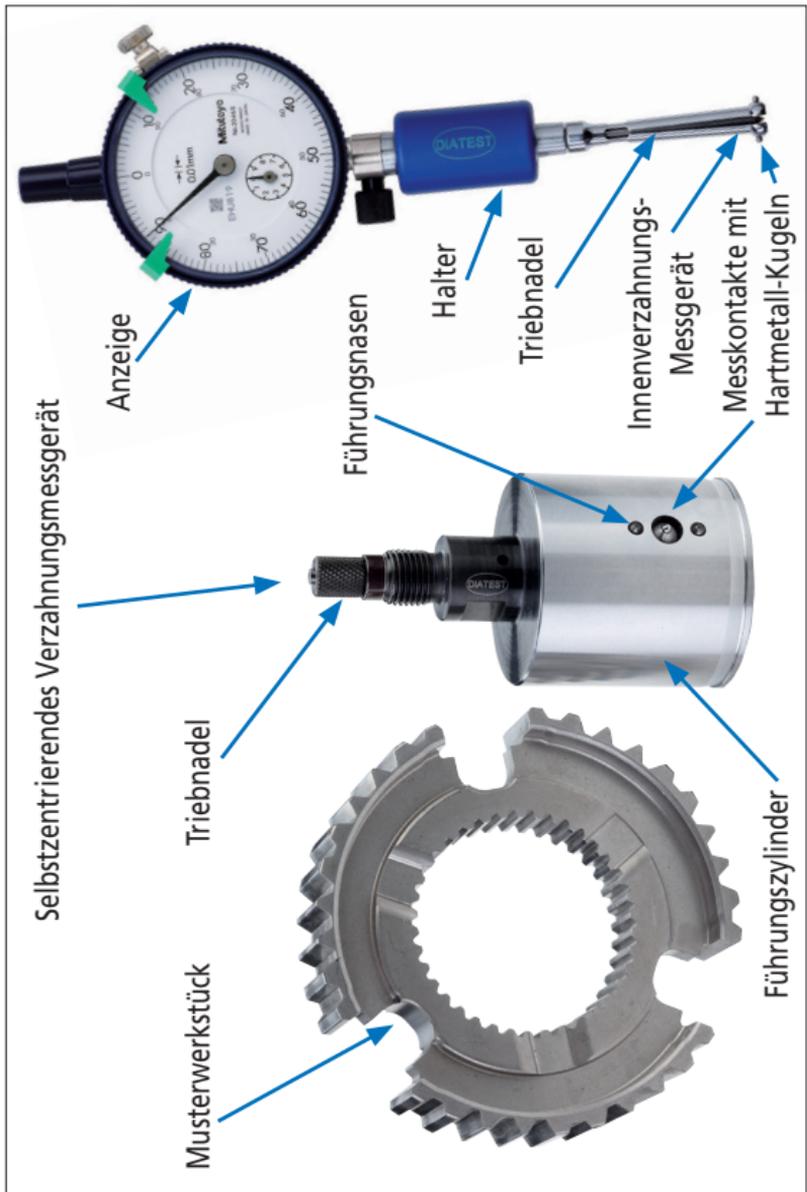
Messgeräte für Durchmesser von Innen- oder Außenkegeln oder 45° Fasenlänge

S.
25



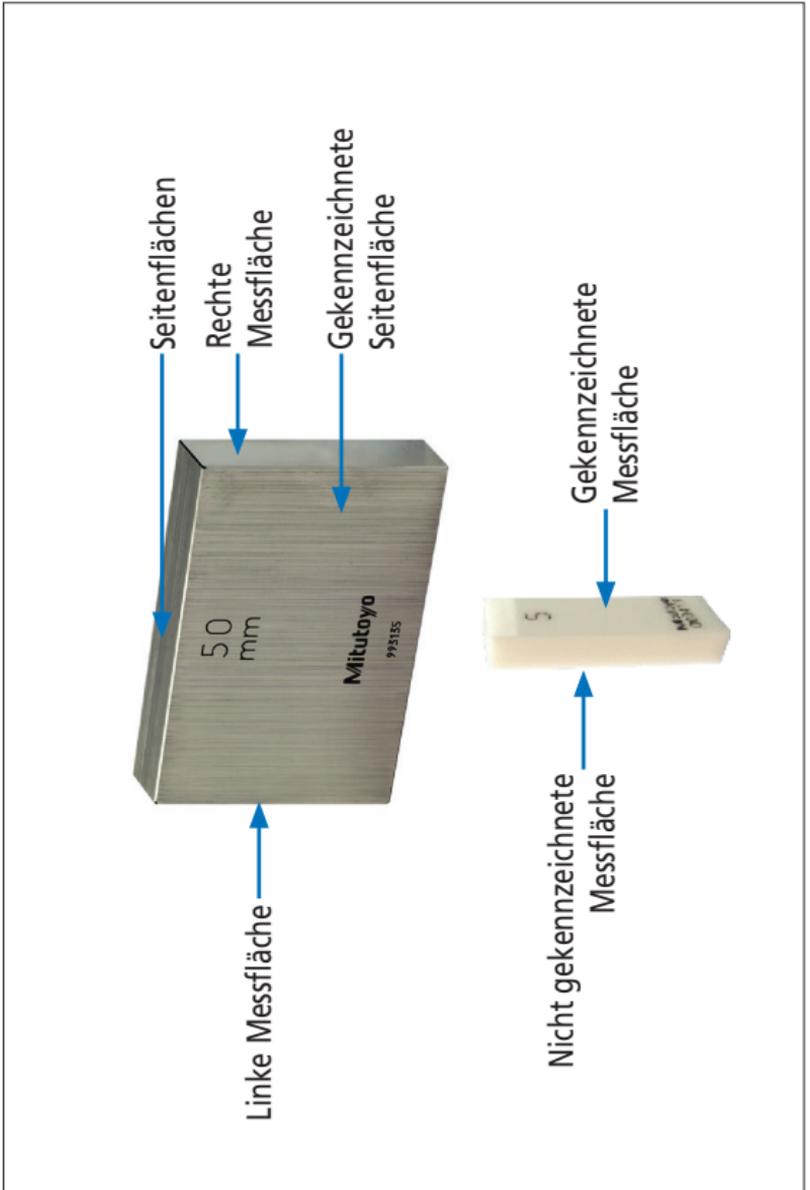
Terminologie - Systeme zum Messen einer Innenverzahnung

S.
26



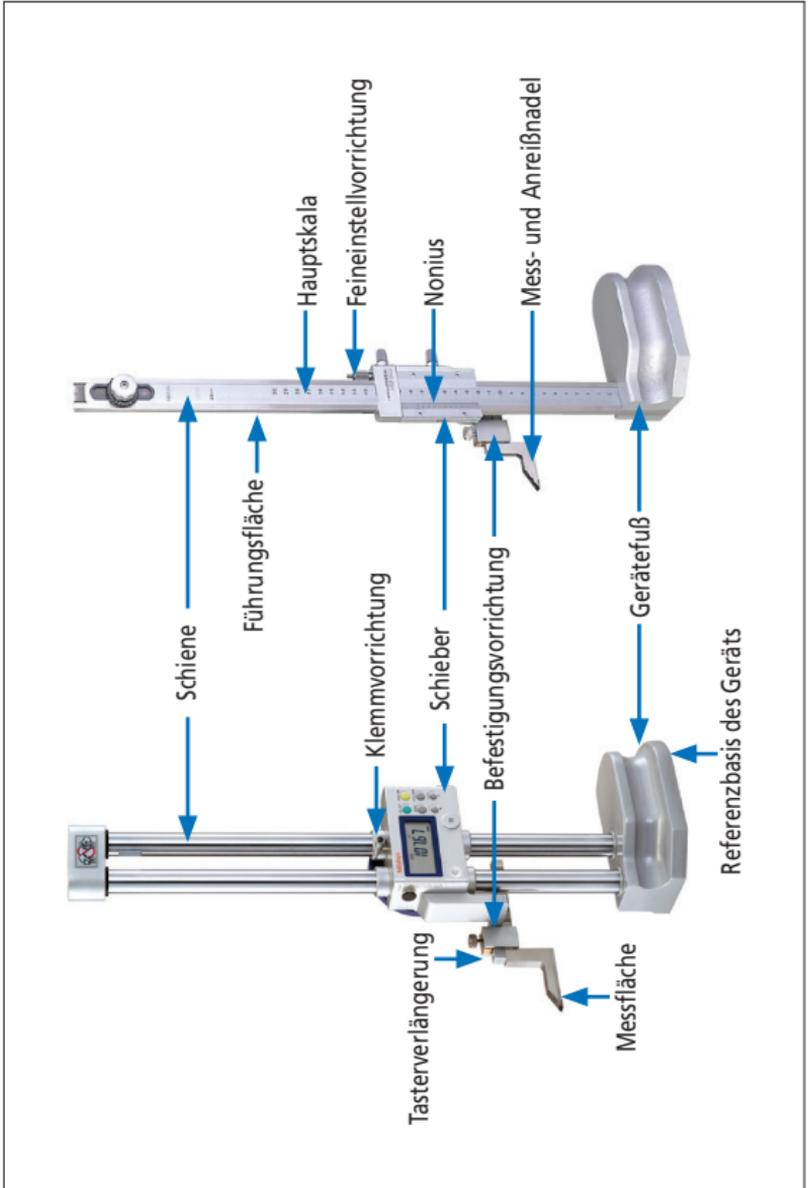
Terminologie - Endmaße

S.
27

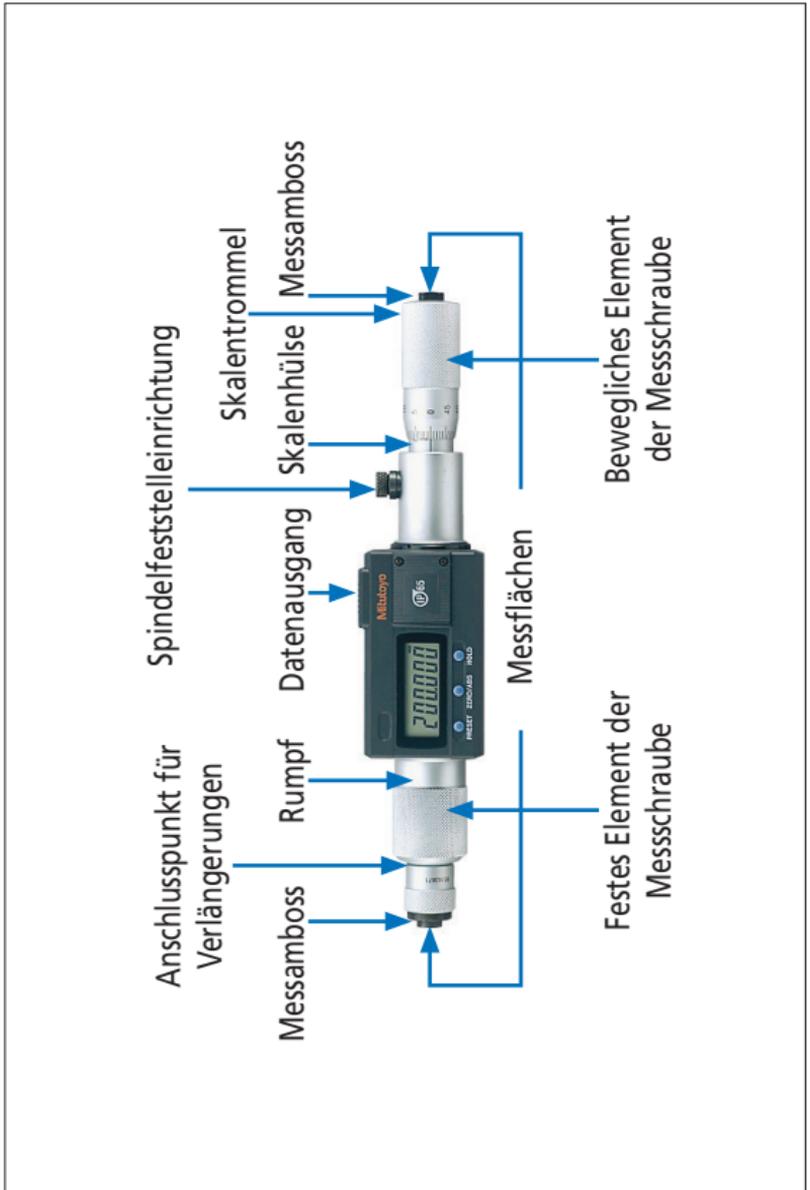


Terminologie - Höhenmessgeräte

S.
28

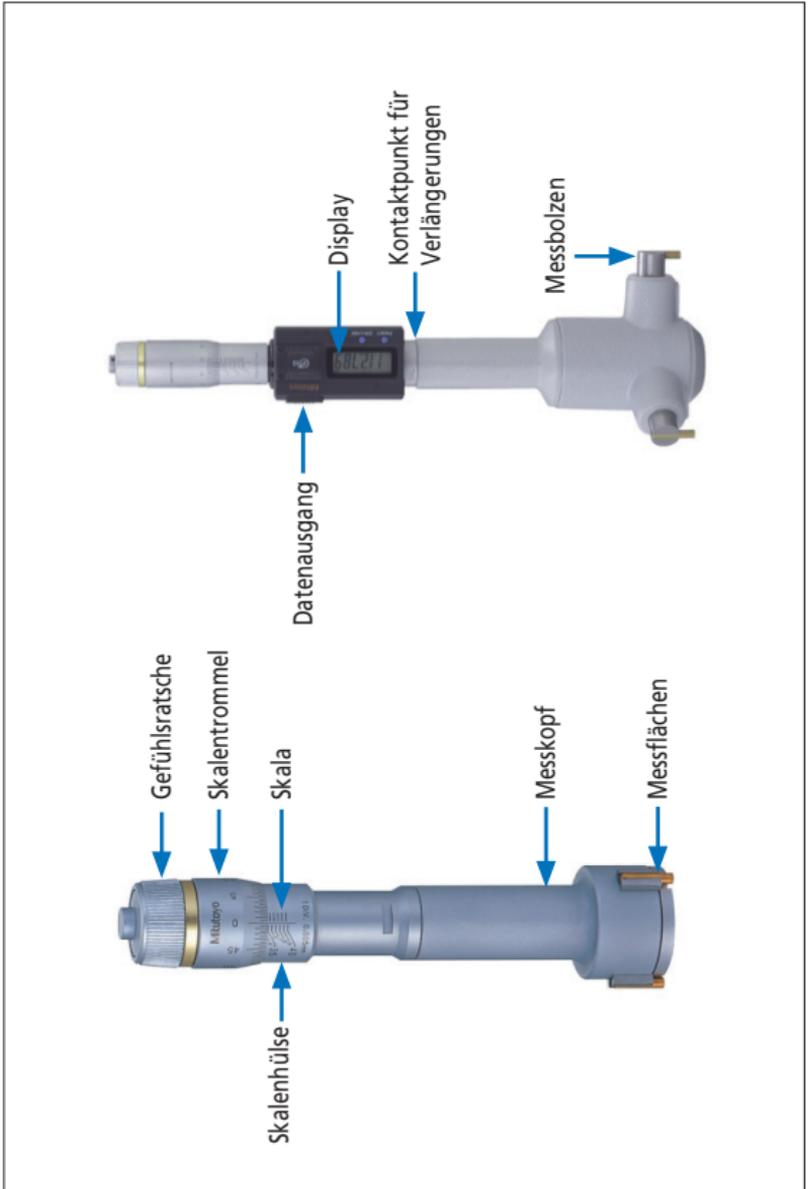


Terminologie - 2-Punkt-Innenmessschraube



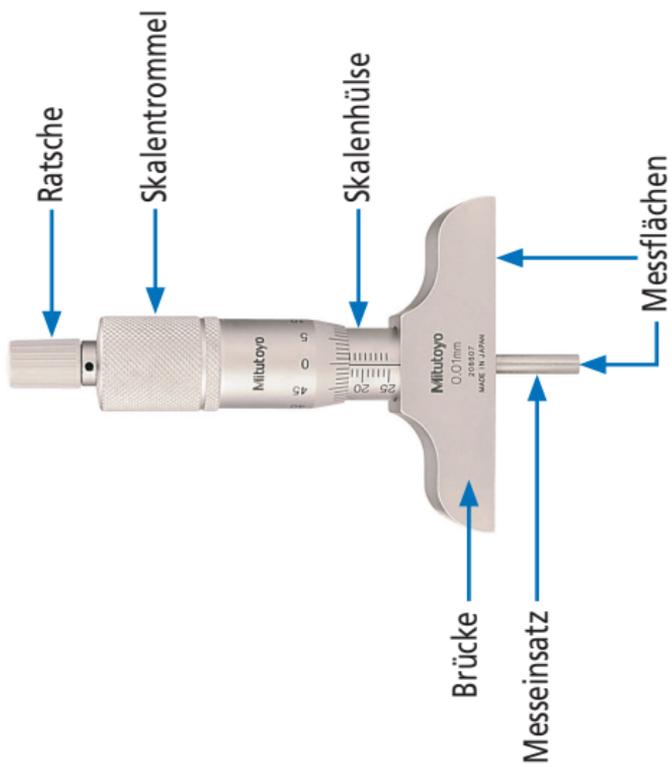
Terminologie - 3-Punkt-Innenmessschraube

S.
30



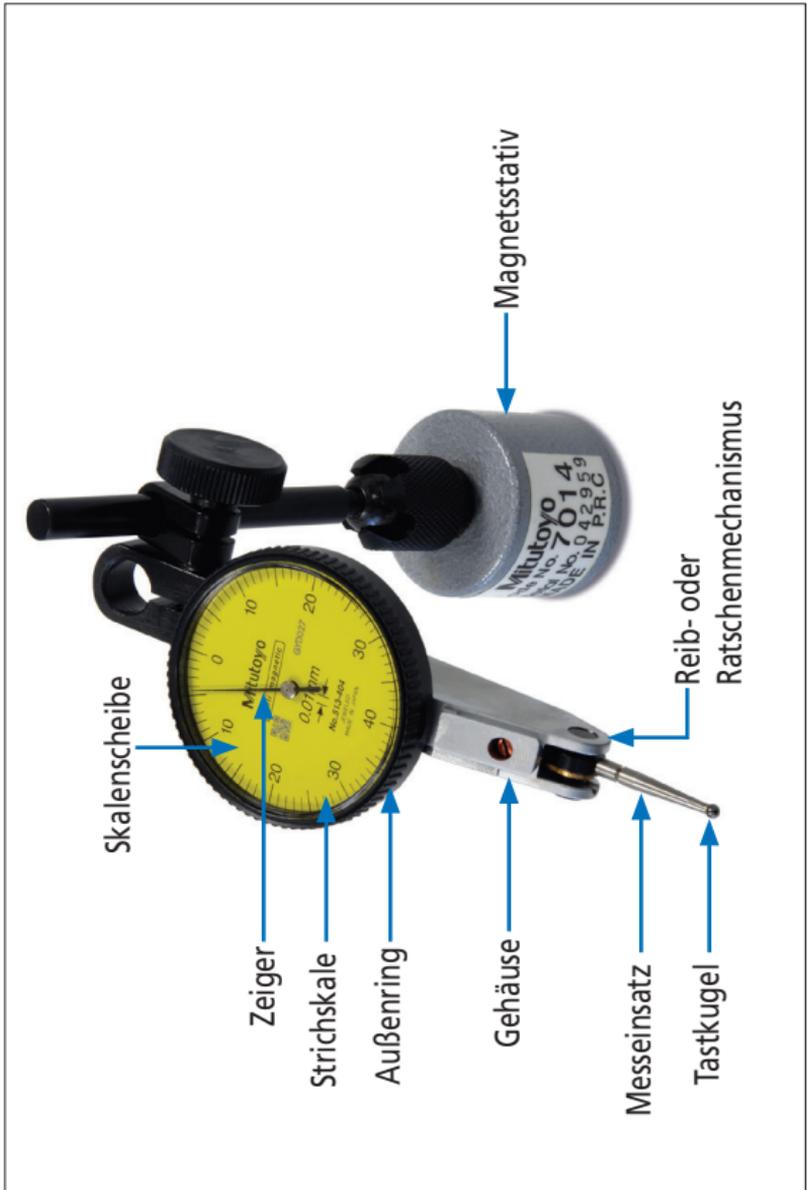
Terminologie - Tiefenmessschrauben

S.
31



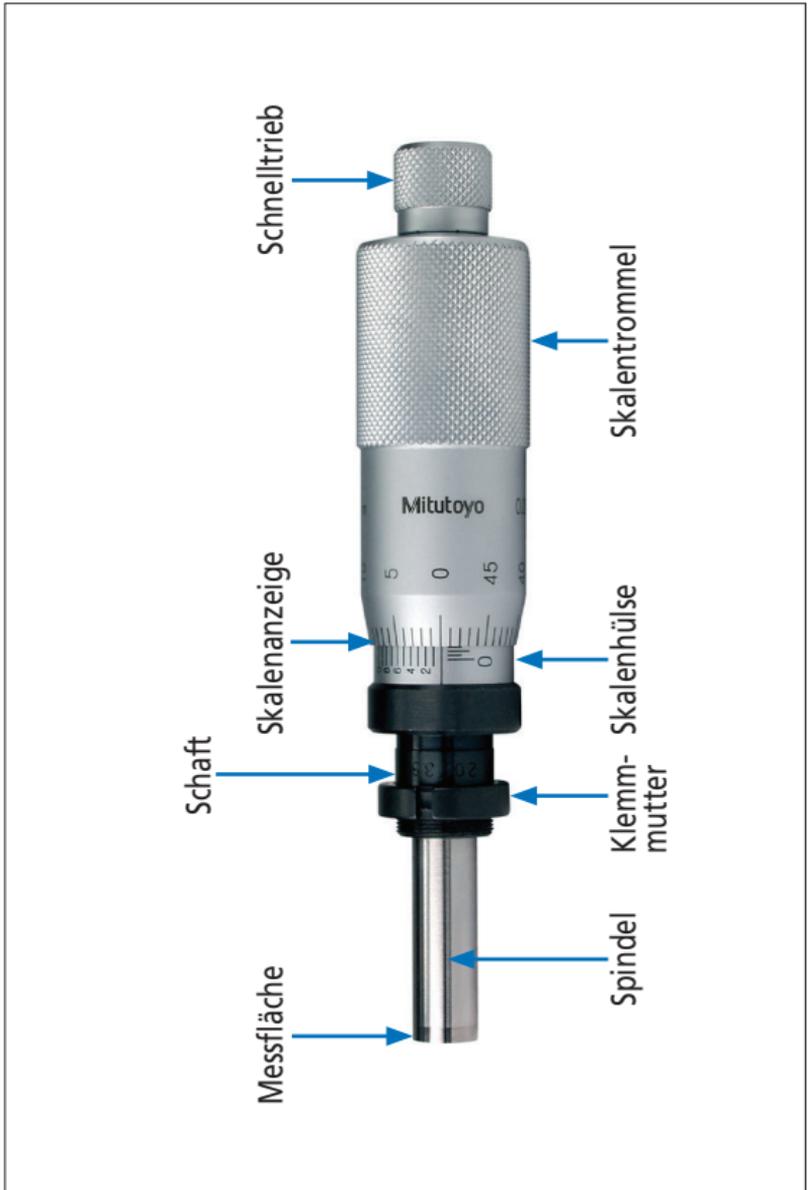
Terminologie - Fühlhebelmessgerät

S.
32



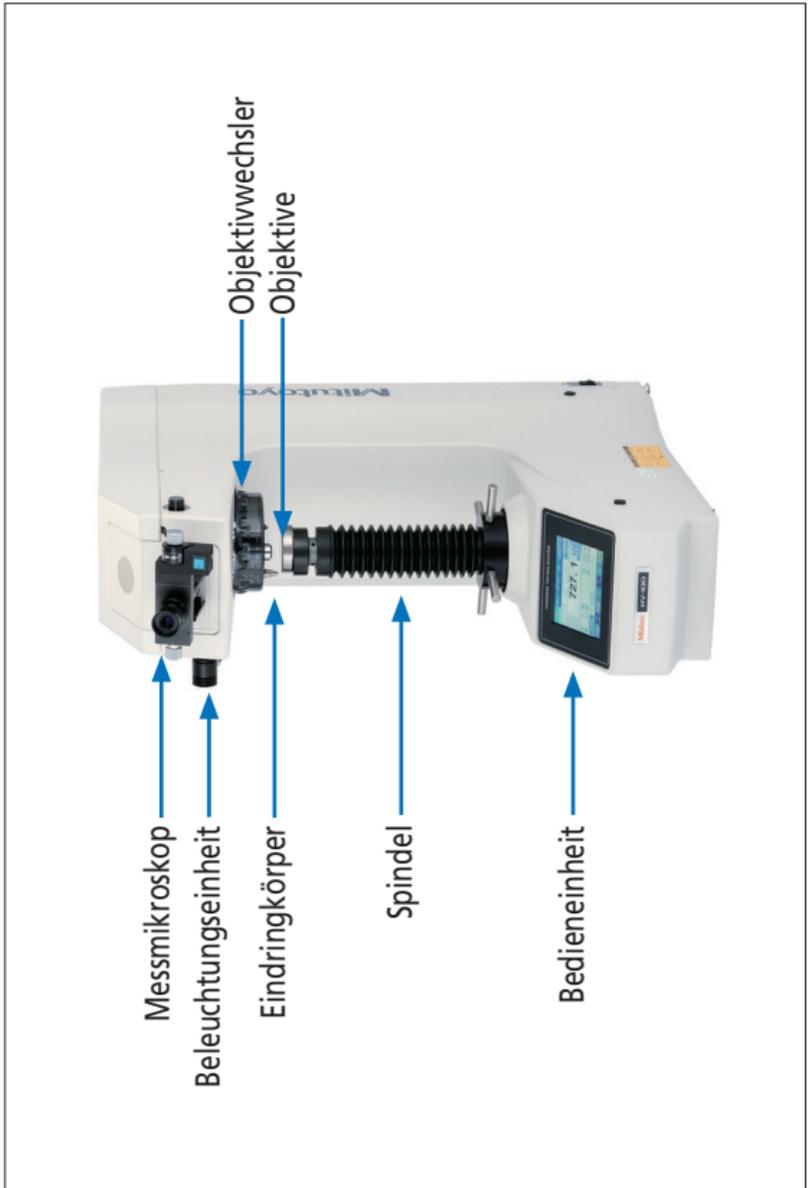
Terminologie - Einbaumessschrauben

S.
33



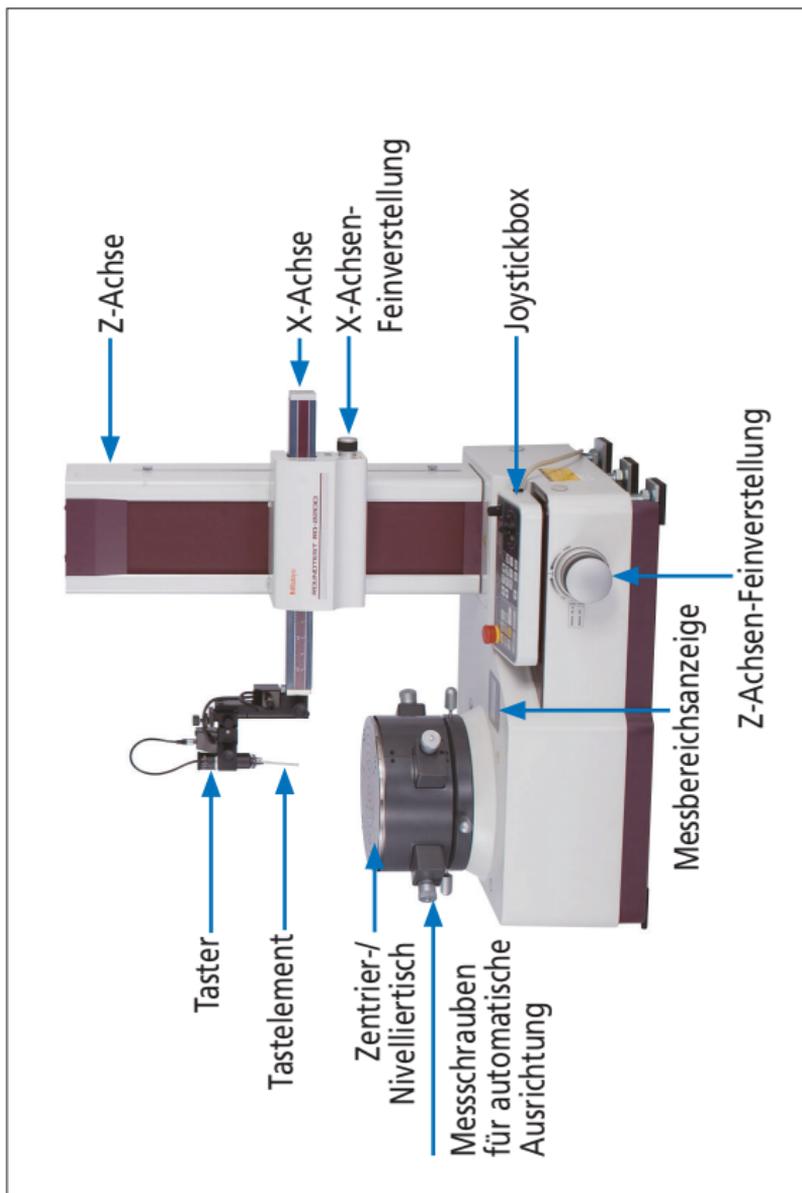
Terminologie - Härteprüfung

S.
34



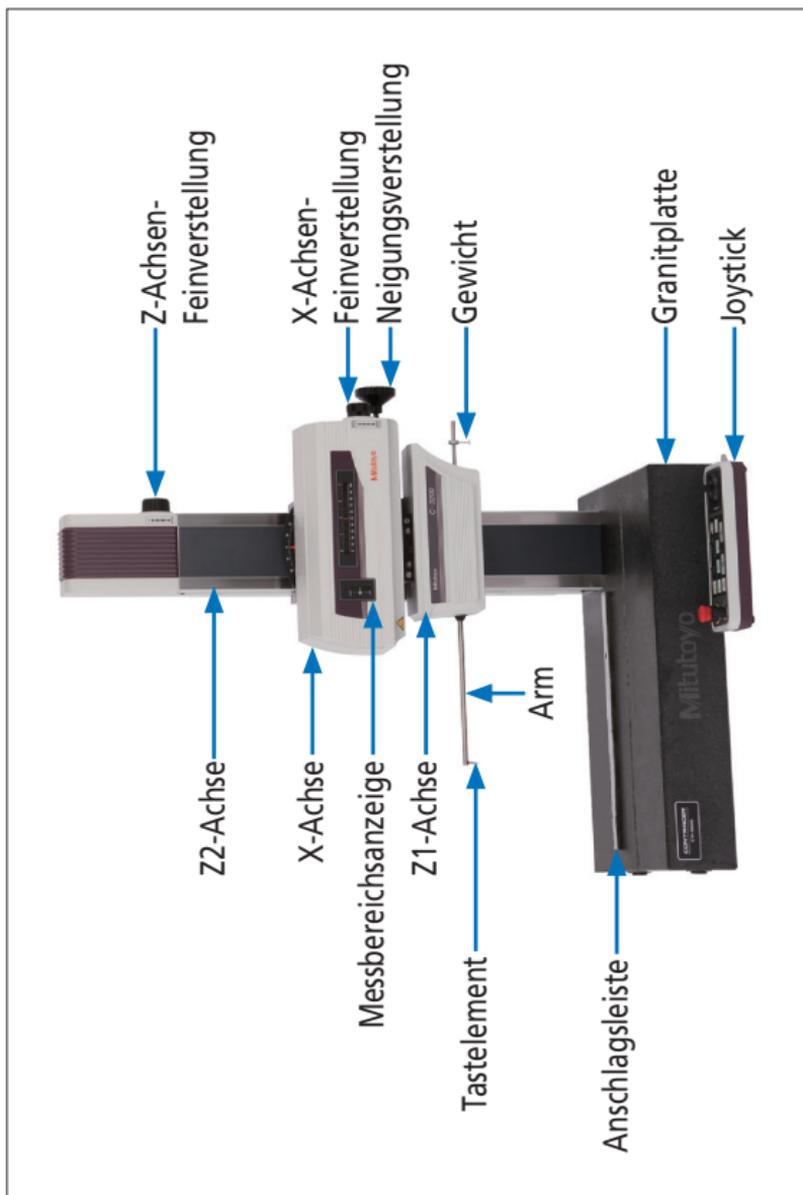
Bezeichnungen Form- und Lagemessgeräte

S.
35



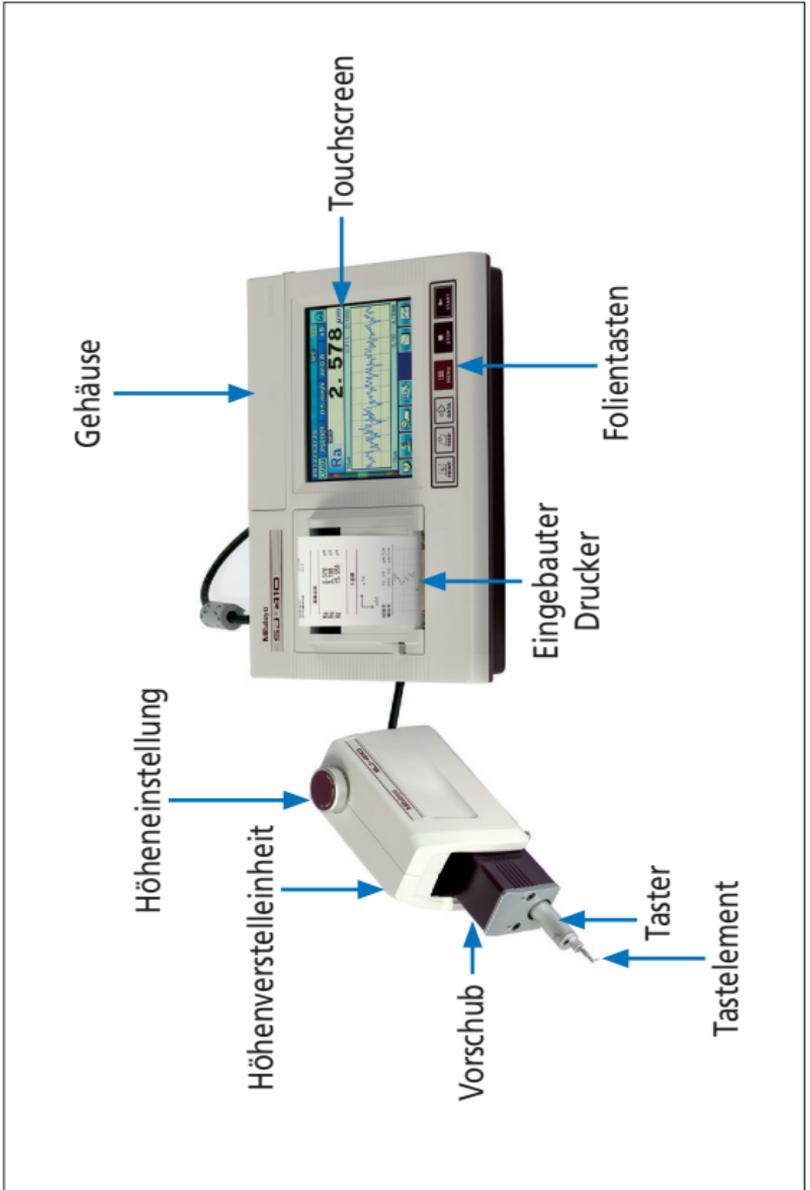
Bezeichnungen Konturmessgeräte

S.
36



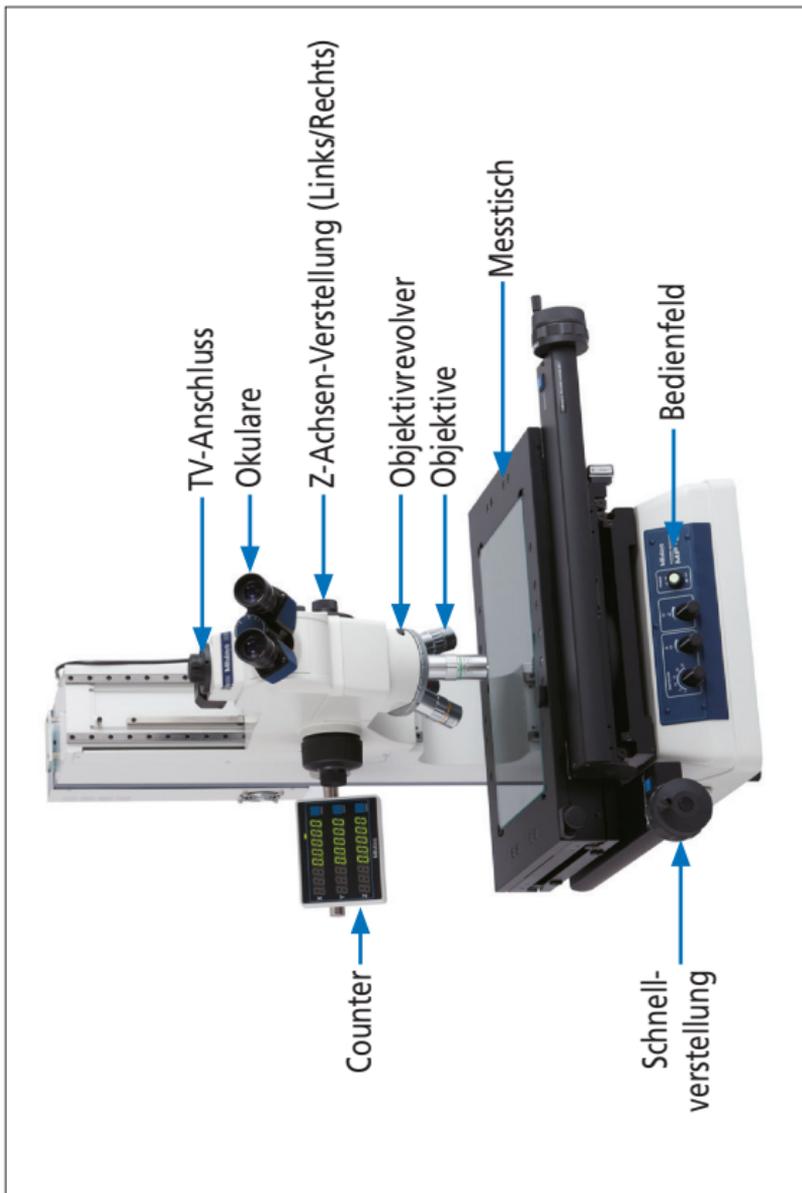
Terminologie - Oberflächenrauheitsmessgerät

S.
37



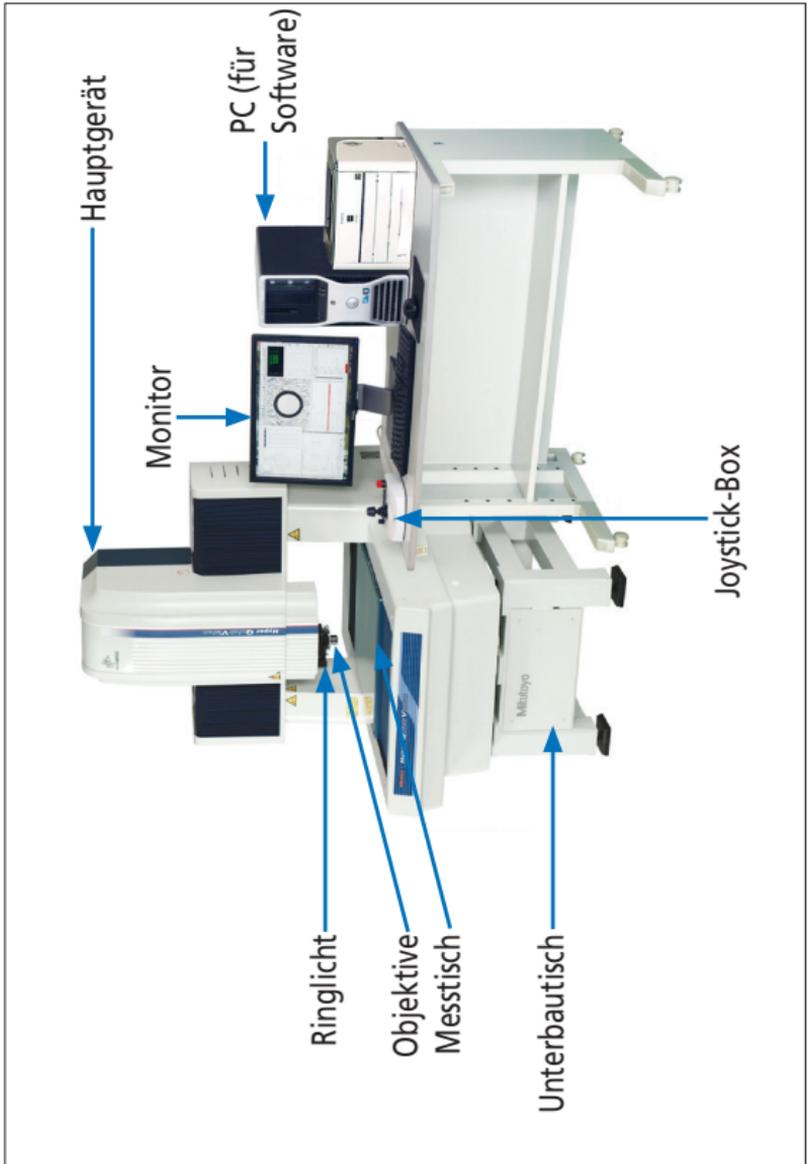
Terminologie - Messmikroskop

S.
38



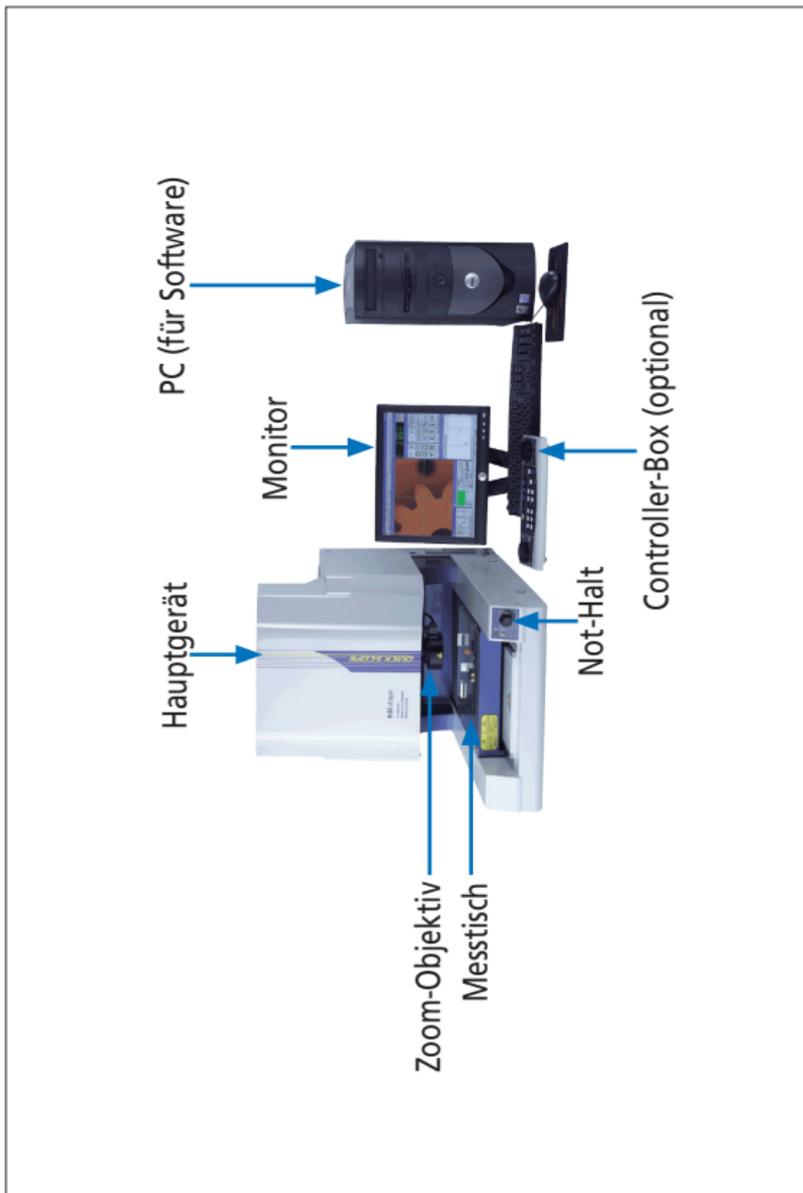
Terminologie - 3-D-Bildverarbeitungsmessgerät

S.
39



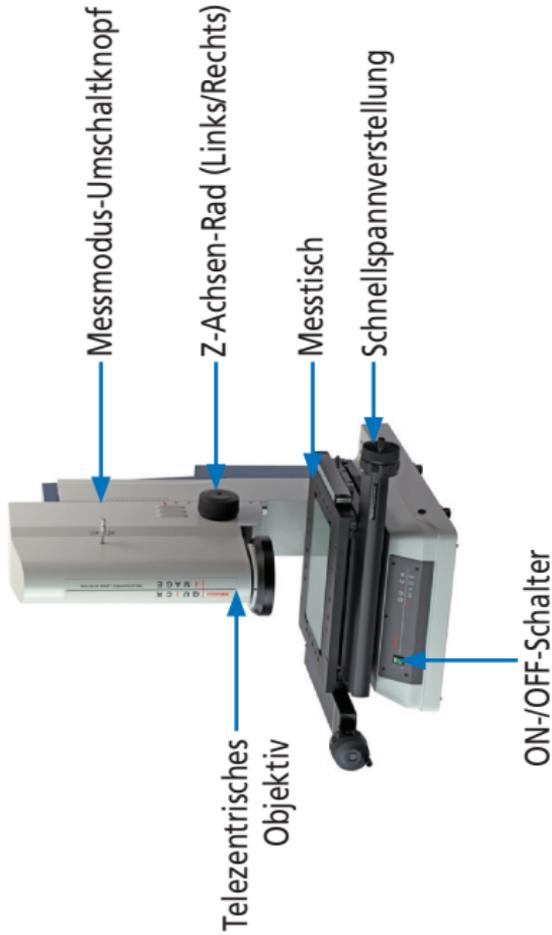
Terminologie - 3-D-Bildverarbeitungssystem mit Farbkamera

S.
40



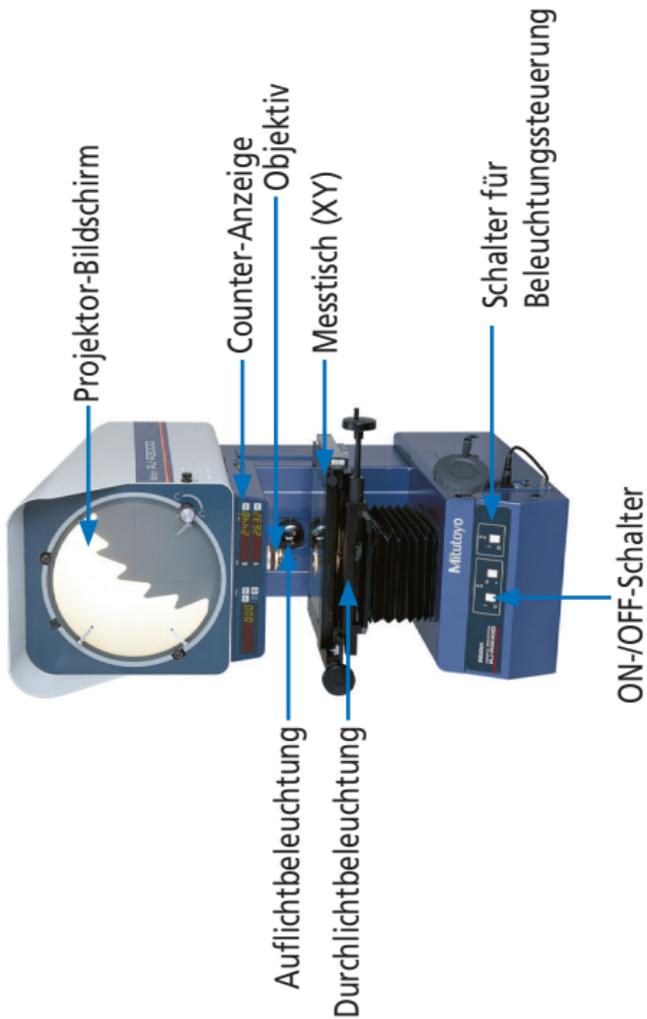
Terminologie - Manuelles 2-D Bildverarbeitungsmessgerät

S.
41



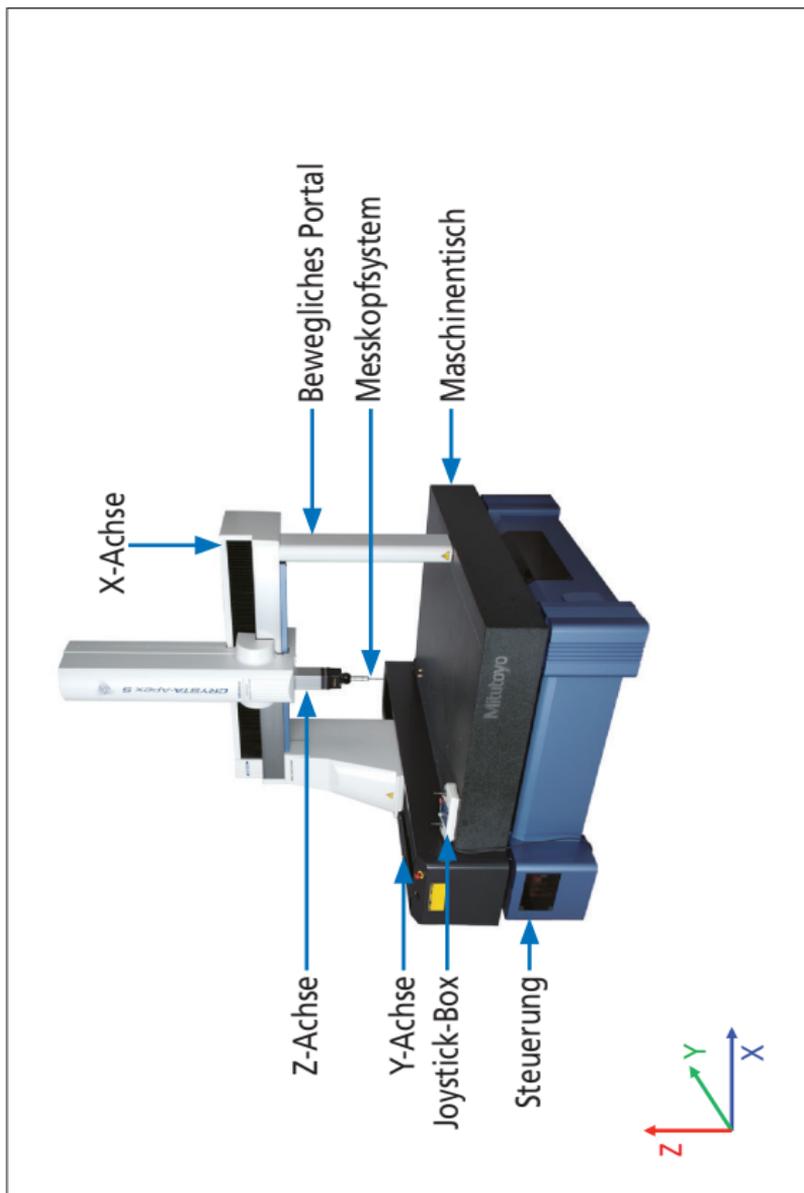
Terminologie - Projektor

S.
42



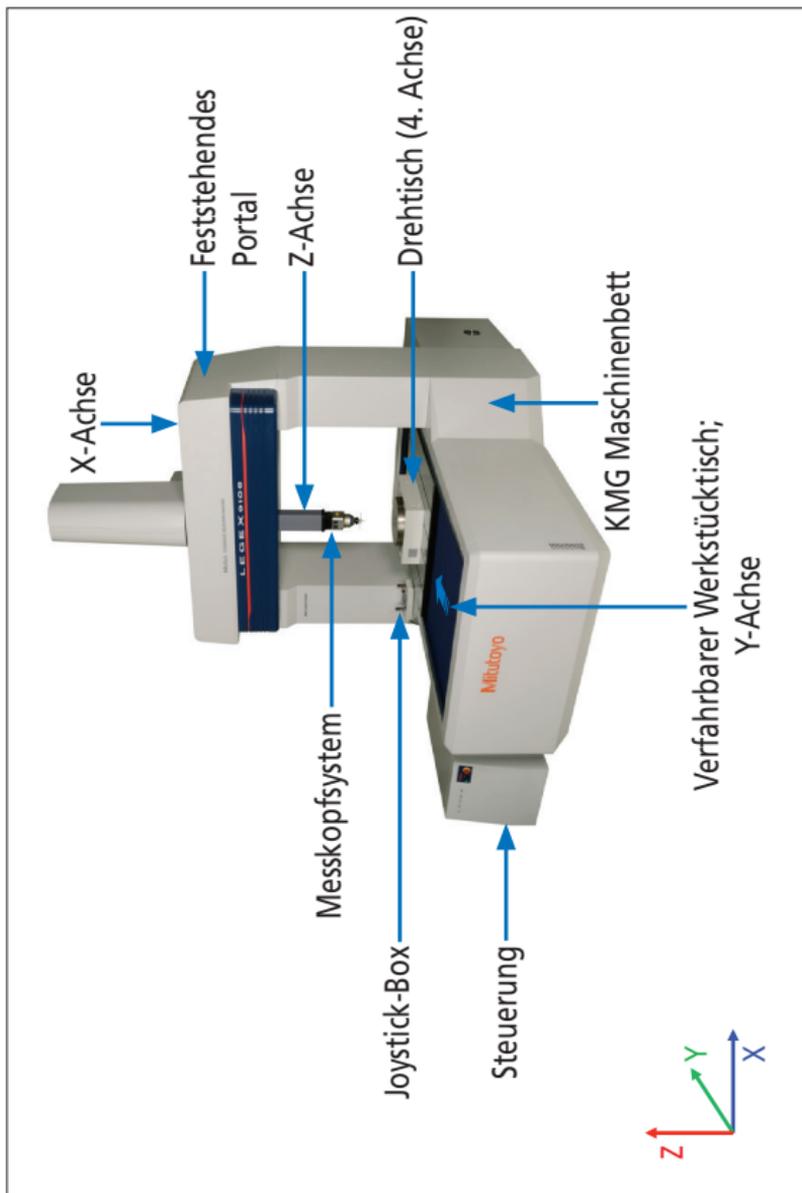
Koordinatenmessgerät mit beweglichem Portal

S.
43



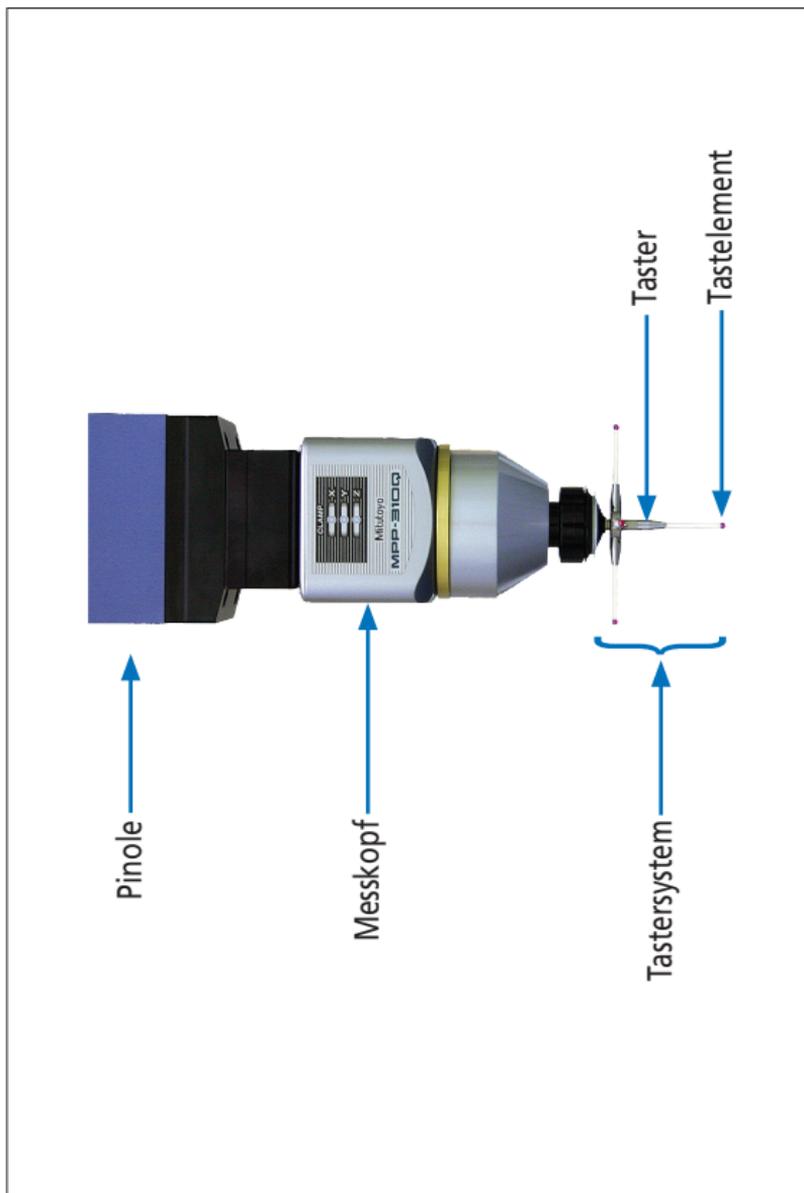
Koordinatenmessgerät mit feststehendem Portal

S.
44

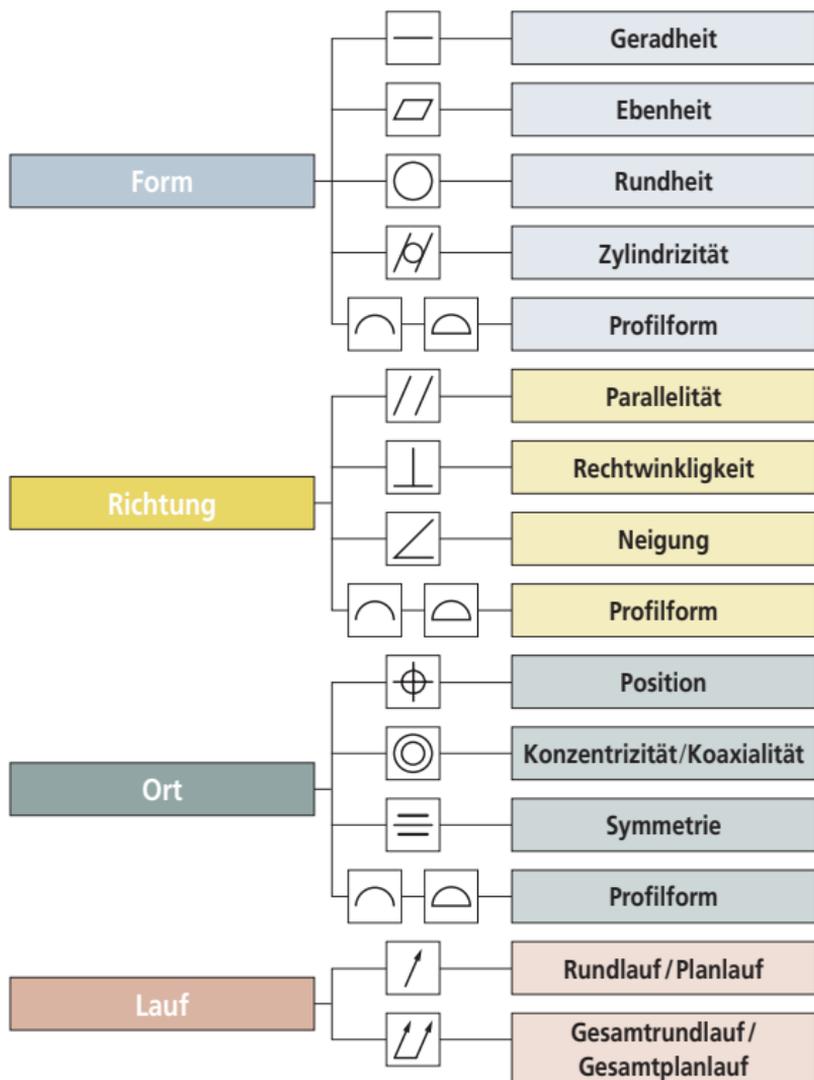


Koordinatenmessgerät: Messkopfsystem

S.
45



Geometrische Tolerierungssymbole



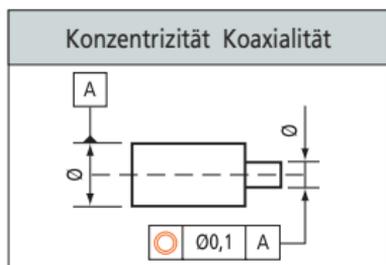
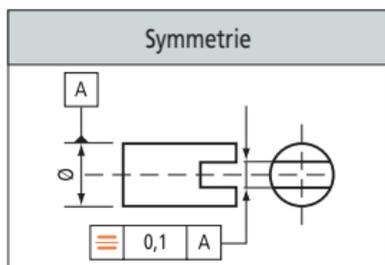
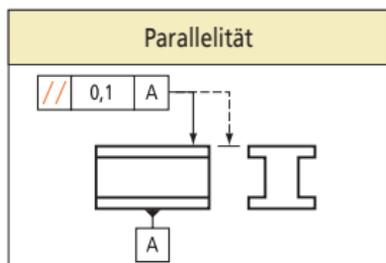
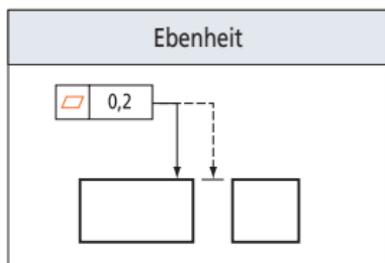
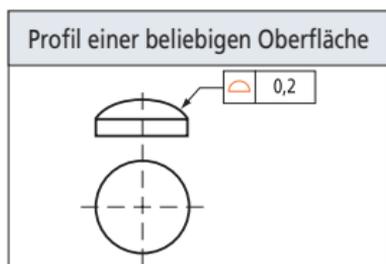
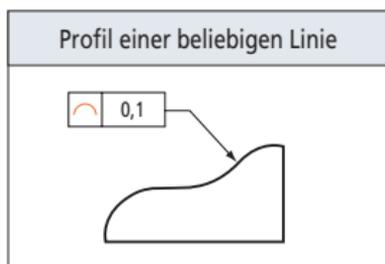
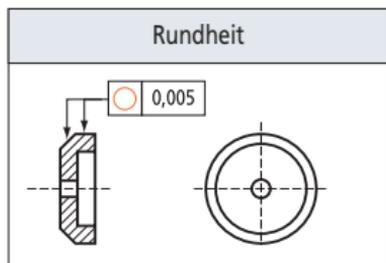
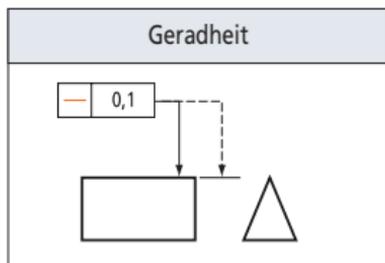
Hinweis:

DIN EN ISO 1101 Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Geometrische Tolerierung - Tolerierung von Form, Richtung, Ort und Lauf sollte für ausführliche Informationen konsultiert werden.

Geometrische Tolerierungssymbole

> Anwendungsbeispiele

S.
47

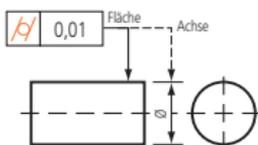


Geometrische Tolerierungssymbole

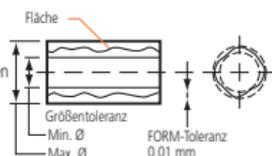
> Auswertungsbeispiele

S.
48

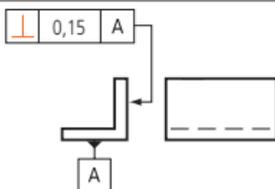
Zylindrizität



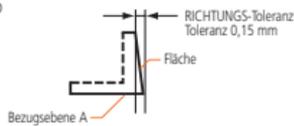
Auswertung:
Die Fläche/Achse muss innerhalb von 2 konzentrischen Zylindern liegen, deren Radius sich um 0,01 mm unterscheidet



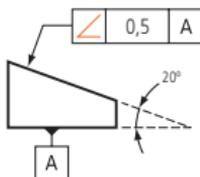
Rechtwinkligkeit



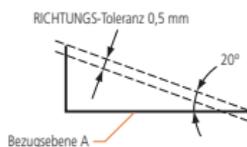
Auswertung:
Die Fläche muss innerhalb von 2 parallelen, voneinander 0,15 mm entfernten Ebenen liegen, die senkrecht zur Bezugsfläche A verlaufen



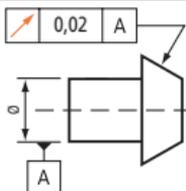
Neigung



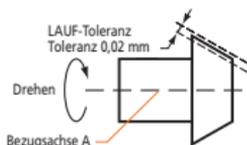
Auswertung:
Die Fläche muss innerhalb von 2 parallelen, voneinander 0,5 mm entfernten Ebenen liegen, die in einem Winkel von 20° zur Bezugsfläche A verlaufen



Rundlauf



Auswertung:
Eine beliebige Linie auf der Oberfläche muss innerhalb von 2 Kreisen liegen, die konzentrisch zur Bezugsachse A sind und in einem Abstand von 0,02 mm in einer zur Oberfläche senkrechten Richtung verlaufen.



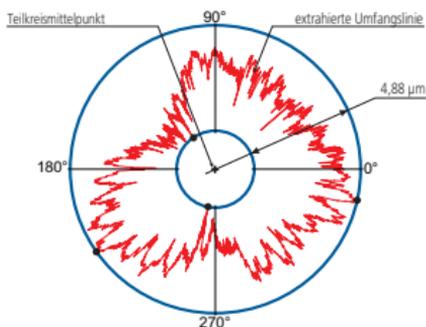
Rundheitsabweichung

S.
49

Die Abweichung von der perfekten Rundheit wird durch die Differenz der Radien zweier koplanarer und konzentrischer Referenzkreise bestimmt, deren Größe und Mittelposition mit einer der vier (nachfolgend beschriebenen) Methoden erstellt werden, nachdem die Umfangslinie extrahiert wurde. Die Diagramme zeigen, wie der resultierende Abweichungswert von der verwendeten Methode beeinflusst wird.

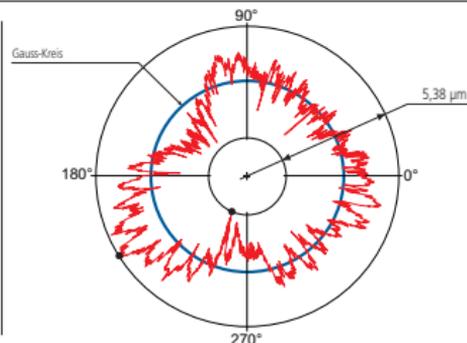
Referenzkreis der minimalen Zone (MZCI)

Definiert die Rundheit durch zwei konzentrische Kreise die die erfasste Umfangslinie berührend einschließen und deren radialer Abstand ein Minimum ist.



Referenzkreis der kleinsten Abweichungsquadrate (LSCI)

Definiert den Referenzkreis, bei dem die Summe der Quadrate der radialen Abweichungen der erfassten Umfangslinie ein Minimum ist. Die Rundheit ist der radiale Abstand der beiden extremen Punkte der erfassten Umfangslinie.

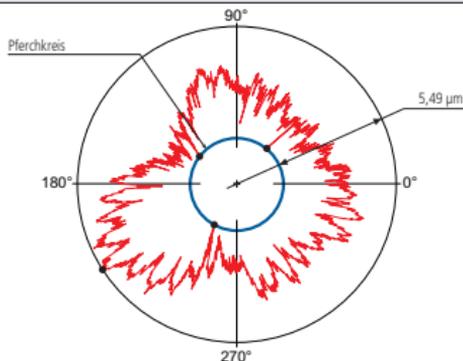


Rundheitsabweichung

S.
50

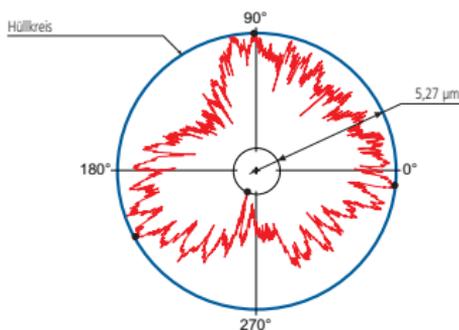
Größter eingeschriebener Referenzkreis (MICI)

Definiert als Referenzkreis den größtmöglichen eingeschriebenen Kreis der die erfasste Umfangsline berührt. Die Rundheit ist der radiale Abstand der beiden extremen Punkte der erfassten Umfangsline.



Kleinster umschriebener Referenzkreis (MCCI)

Definiert als Referenzkreis den kleinstmöglichen umschreibenden Kreis der die erfasste Umfangsline berührt. Die Rundheit ist der radiale Abstand der beiden extremen Punkte der erfassten Umfangsline.

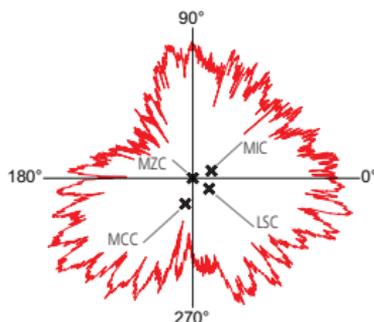


Rundheitsbestimmung

S.
51

Wichtige Achsen für die Rundheits-/Zylindrizitätsmessung

Die Position des Mittelpunktes der konzentrischen Kreise definiert den Mittelpunkt der extrahierten Umfangslinie und damit die Position der gemessenen Kreisfunktion. Jede der obigen Methoden ergibt, wie dargestellt, unterschiedliche Mittelpunktpositionen für die Referenzkreise.

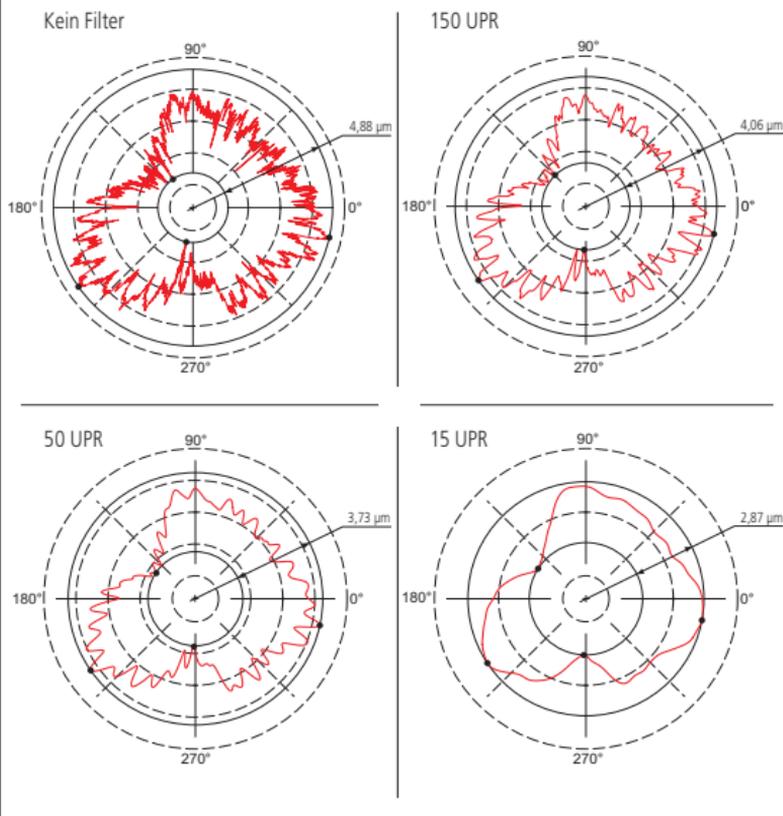


Rundheitsbestimmung

S.
52

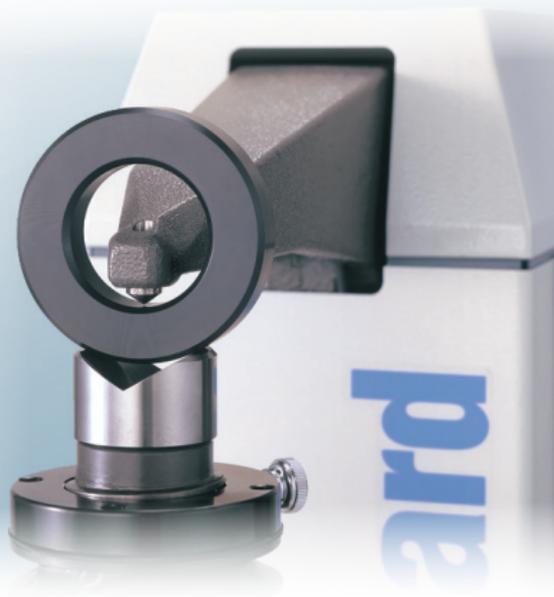
Filterung

Extrahierte Linien können mit einem Cut-Off-Wert der Wellen pro Umdrehung (UPR) auf unterschiedliche Weise tiefpassgefiltert werden, um unerwünschte Details zu verringern oder zu eliminieren. Die Wirkung unterschiedlicher UPR-Einstellungen wird in den nachfolgenden Diagrammen für einen phasenkorrigierten 50%-Gauß-Filter dargestellt, die veranschaulichen, wie der gemessene Rundheitswert abnimmt, wenn niedrigere UPR-Einstellungen progressiv die extrahierte Linie glätten.



Härteskalen

S.
53



Alle Härteprüfungen sind methodenabhängig. Nachfolgende Tabellen zeigen allerdings nur die ungefähre Äquivalenz zwischen den unterschiedlichen gebräuchlichen Härteskalen. (Mitutoyo-Spezifikation)

> Gehärteter Stahl und Hartlegierungen

VICKERS HV 10	ROCKWELL			SUPERFICIAL ROCKWELL			BRINELL HBW 10/3000	ZUG- FESTIGKEIT N/mm ²
	HR A	HR C Diamant	HR D	HR 15N	HR 30N Diamant	HR 45N		
240	60,7	20,3	40,3	69,6	41,7	19,9	224	770
245	61,2	21,3	41,1	70,1	42,5	21,1	230	785
250	61,6	22,2	41,7	70,6	43,4	22,2	236	800
255	62,0	23,1	42,2	71,1	44,2	23,2	242	820

Härteskalen

S.
54

VICKERS HV 10	ROCKWELL			SUPERFICIAL ROCKWELL			BRINELL HBW 10/3000	ZUG- FESTIGKEIT N/mm ²
	HR A	HR C Diamant	HR D	HR 15N	HR 30N Diamant	HR 45N		
260	62,4	24,0	43,1	71,6	45,0	24,3	247	835
265	62,7	24,8	43,7	72,1	45,7	25,2	252	850
270	63,1	25,6	44,3	72,6	46,4	26,2	257	865
275	63,5	26,4	44,9	73,0	47,2	27,1	261	880
280	63,8	27,1	45,3	73,4	47,8	27,9	266	900
285	64,2	27,8	46,0	73,8	48,4	28,7	271	915
290	64,5	28,5	46,5	74,2	49,0	29,5	276	930
295	64,8	29,2	47,1	74,6	49,7	30,4	280	950
300	65,2	29,8	47,5	74,9	50,2	31,1	285	965
310	65,8	31,0	48,4	75,6	51,3	32,5	295	995
320	66,4	32,2	49,4	76,2	52,3	33,9	304	1030
330	67,0	33,3	50,2	76,8	53,6	35,2	314	1060
340	67,6	34,4	51,1	77,4	54,4	36,5	323	1095
350	68,1	35,5	51,9	78,0	55,4	37,8	333	1125
360	68,7	36,6	52,8	78,6	56,4	39,1	342	1155
370	69,2	37,7	53,6	79,2	57,4	40,4	352	1190
380	69,8	38,8	54,4	79,8	58,4	41,7	361	1220
390	70,3	39,8	55,3	80,3	59,3	42,9	371	1225
400	70,8	40,8	56,0	80,8	60,2	44,1	380	1290
410	71,4	41,8	56,8	81,4	61,1	45,3	390	1320
420	71,8	42,7	57,5	81,8	61,9	46,4	399	1350
430	72,3	43,6	58,2	82,3	62,7	47,4	409	1385
440	72,8	44,5	58,8	82,8	63,5	48,4	418	1420
450	73,3	45,3	59,4	83,2	64,3	49,4	428	1455
460	73,6	46,1	60,1	83,6	64,9	50,4	437	1485
470	74,1	46,9	60,7	83,9	65,7	51,3	447	1520
480	74,5	47,7	61,3	84,3	66,4	52,2	(456)	1555
490	74,9	48,4	61,6	84,7	67,1	53,1	(466)	1595
500	75,3	49,1	62,2	85,0	67,7	53,9	(475)	1630

Härteskalen

S.
55

VICKERS HV 10	ROCKWELL			SUPERFICIAL ROCKWELL			BRINELL HBW 10/3000	ZUG- FESTIGKEIT N/mm ²
	HR A	HR C Diamant	HR D	HR 15N	HR 30N Diamant	HR 45N		
510	75,7	49,8	62,9	85,4	68,3	54,7	(485)	1665
520	76,1	50,5	63,5	85,7	69,0	55,6	(494)	1700
530	76,4	51,1	63,9	86,0	69,5	56,2	(504)	1740
540	76,7	51,7	64,4	86,3	70,0	57,0	(513)	1775
550	77,0	52,3	64,8	86,6	70,5	57,8	(523)	1810
560	77,4	53,0	65,4	86,9	71,2	58,6	(532)	1845
570	77,8	53,6	65,8	87,2	71,7	59,3	(542)	1880
580	78,0	54,1	66,2	87,5	72,1	59,9	(551)	1920
590	78,4	54,7	66,7	87,8	72,7	60,5	(561)	1955
600	78,6	55,2	67,0	88,0	73,2	61,2	(570)	1995
610	78,9	55,7	67,5	88,2	73,7	61,7	(580)	2030
620	79,2	56,3	67,9	88,5	74,2	62,4	(589)	2070
630	79,5	56,8	68,3	88,8	74,6	63,0	(599)	2105
640	79,8	57,3	68,7	89,0	75,1	63,5	(608)	2145
650	80,0	57,8	69,0	89,2	75,5	64,1	(618)	2180
660	80,3	58,3	69,4	89,5	75,9	64,7	-	-
670	80,6	58,8	69,8	89,7	76,4	65,3	-	-
680	80,8	59,2	70,1	89,8	76,8	65,7	-	-
690	81,1	59,7	70,5	90,1	77,2	66,2	-	-
700	81,3	60,1	70,8	90,3	77,6	66,7	-	-
720	81,8	61,0	71,5	90,7	78,4	67,7	-	-
740	82,2	61,8	72,1	91,0	79,1	68,6	-	-
760	82,6	62,5	72,6	91,2	79,7	69,4	-	-
780	83,0	63,3	73,3	91,5	80,4	70,2	-	-
800	83,4	64,0	73,8	91,8	81,1	71,0	-	-
820	83,8	64,7	74,3	92,1	81,7	71,8	-	-
840	84,1	65,3	74,8	92,3	82,2	72,2	-	-
860	84,4	65,9	75,3	92,5	82,7	73,1	-	-
880	84,7	66,4	75,7	92,7	83,1	73,6	-	-

Härteskalen

S.
56

VICKERS HV 10	ROCKWELL			SUPERFICIAL ROCKWELL			BRINELL HBW 10/3000	ZUG- FESTIGKEIT N/mm ²
	HR A	HR C Diamant	HR D	HR 15N	HR 30N Diamant	HR 45N		
900	85,0	67,0	76,1	92,9	83,6	74,2	-	-
920	85,3	67,5	76,5	93,0	84,0	74,8	-	-
940	85,6	68,0	76,9	93,2	84,4	75,4	-	-

> Ungehärteter Stahl und die meisten Nichteisenmetalle

HR B 1,5875 mm Kugel	ROCKWELL			SUPERFICIAL ROCKWELL			VICKERS HV/10	BRINELL HBW 10/3000
	HR A Diamant	HR F 1,5875 mm Kugel	HR E 3,175 mm Kugel	HR 15T	HR 30T	HR 45T		
100	61,5	-	-	93,1	83,1	72,9	240	224
99	60,9	-	-	92,8	82,5	71,9	234	218
98	60,2	-	-	92,5	81,8	70,9	228	212
97	59,5	-	-	92,1	81,1	69,9	222	208
96	58,9	-	-	91,8	80,4	68,9	216	205
95	58,3	-	-	91,5	79,8	67,9	210	201
94	57,6	-	-	91,2	79,1	66,9	205	196
93	57,0	-	-	90,8	78,4	65,9	200	193
92	56,4	-	-	90,5	77,8	64,8	195	189
91	55,8	-	-	90,2	77,1	63,8	190	182
90	55,2	-	-	89,9	76,4	62,8	185	177
89	54,6	-	-	89,5	75,8	61,8	180	172
88	54,0	-	-	89,2	75,1	60,8	176	165
87	53,4	-	-	88,9	74,4	59,8	172	165
86	52,8	-	-	88,6	73,8	58,8	169	163
85	52,3	-	-	88,2	73,1	57,8	165	160
84	51,7	-	-	87,9	72,4	56,8	162	157
83	51,1	-	-	87,6	71,8	55,8	159	155

Härteskalen

S.
57

HR B 1,5875 mm Kugel	ROCKWELL			SUPERFICIAL ROCKWELL			VICKERS HV/10	BRINELL HBW 10/3000
	HR A Diamant	HR F 1,5875 mm Kugel	HR E 3,175 mm Kugel	HR 15T 1,575 mm Kugel	HR 30T	HR 45T		
82	50,6	-	-	87,3	71,1	54,8	156	153
81	50,0	-	-	86,9	70,4	53,8	153	151
80	49,5	-	-	86,6	69,7	52,8	150	149
79	48,9	-	-	86,3	69,1	51,8	147	146
78	48,4	-	-	86,0	68,4	50,8	144	144
77	47,9	-	-	85,6	67,7	49,8	141	141
76	47,3	-	-	85,3	67,1	48,8	139	139
75	46,8	99,6	-	85,0	66,4	47,8	137	137
74	46,3	99,1	-	84,7	65,7	46,8	135	135
73	45,8	98,5	-	84,3	65,1	45,8	132	132
72	45,3	98,0	-	84,0	64,4	44,8	130	130
71	44,8	97,4	100,0	83,7	63,7	43,8	127	128
70	44,3	96,8	99,5	83,4	63,1	42,8	127	127
69	43,8	96,2	99,0	83,0	62,4	41,8	125	125
68	43,3	95,6	98,0	82,7	61,7	40,8	123	123
67	42,8	95,1	97,5	82,4	61,0	39,8	121	121
66	42,3	94,5	97,0	82,1	60,4	38,7	119	119
65	41,8	93,9	96,0	81,8	59,7	37,7	117	117
64	41,4	93,4	95,5	81,4	59,0	36,7	116	116
63	40,9	92,8	95,0	81,1	58,4	35,7	114	114
62	40,4	92,2	94,5	80,8	57,7	34,7	112	110
61	40,0	91,7	93,5	80,5	57,0	33,7	110	107
60	39,5	91,1	93,0	80,1	56,4	32,7	108	106
59	39,0	90,5	92,5	79,8	55,7	31,7	107	104
58	38,6	90,0	92,0	79,5	55,0	30,7	106	102
57	38,1	89,4	91,0	79,2	54,4	29,7	104	99
56	37,7	88,8	90,5	78,8	53,7	28,7	103	-
55	37,2	88,2	90,0	78,5	53,0	27,7	101	-
54	36,8	87,7	89,5	78,2	52,4	26,7	100	-

Härteskalen

S.
58

	ROCKWELL				SUPERFICIAL ROCKWELL			VICKERS HV/10	BRINELL HBW 10/3000
	HR B 1,5875 mm Kugel	HR A Diamant	HR F 1,5875 mm Kugel	HR E 3,175 mm Kugel	HR 15T 1,575 mm Kugel	HR 30T	HR 45T		
53	36,3	87,1	89,0	77,9	51,7	25,7	-	-	
52	35,9	86,5	88,0	77,5	51,0	24,7	-	-	
51	35,5	86,0	87,5	77,2	50,3	23,7	-	-	
50	35,0	85,4	87,0	76,9	49,7	22,7	-	-	
49	34,6	84,8	86,5	76,6	49,0	21,7	-	-	
48	34,1	84,3	85,5	76,2	48,3	20,7	-	-	
47	33,7	83,7	85,0	75,9	47,7	19,7	-	-	
46	33,3	83,1	84,5	75,6	47,0	18,7	-	-	
45	32,9	82,6	84,0	75,3	46,3	17,7	-	-	
44	32,4	82,0	83,5	74,9	45,7	16,7	-	-	
43	32,0	81,4	82,5	74,6	45,0	15,7	-	-	
42	31,6	80,8	82,0	74,3	44,3	14,7	-	-	
41	31,2	80,3	81,5	74,0	43,7	13,6	-	-	
40	30,7	79,7	81,0	73,6	43,0	12,6	-	-	
39	30,3	79,1	80,0	73,3	42,3	11,6	-	-	
38	29,9	78,6	79,5	73,0	41,6	10,6	-	-	
37	29,5	78,0	79,0	72,7	41,0	9,6	-	-	
36	29,1	77,4	78,5	72,3	40,3	8,6	-	-	
35	28,7	76,9	78,0	72,0	39,6	7,6	-	-	
34	28,2	76,3	77,0	71,7	39,0	6,6	-	-	
33	27,8	75,7	76,5	71,4	38,3	5,6	-	-	
32	27,4	75,2	76,0	71,0	37,6	4,6	-	-	
31	27,0	74,6	75,5	70,7	37,0	3,6	-	-	
30	26,6	74,0	75,0	70,4	36,3	2,6	-	-	

Hinweis:

Bei einem Vergleich der Härtewerte ist Vorsicht geboten, da Form und Art des Werkstücks die Messung beeinflussen können. Deshalb sollte die in der Produktdokumentation aufgeführte Härteprüfmethode nicht ohne Konsultation der für dieses Produkt zuständigen Konstruktionsabteilung durch ein alternatives Verfahren ersetzt werden.

Praktische Hinweise zur Oberflächenrauheitsmessung

1. Oberflächenprofile

Wirkliches Oberflächenprofil

Das wirkliche Oberflächenprofil ergibt sich durch den Schnitt der wirklichen Werkstückoberfläche mit einer dazu senkrechten Ebene. Diese soll etwa senkrecht zu den Bearbeitungsriefen erfolgen.

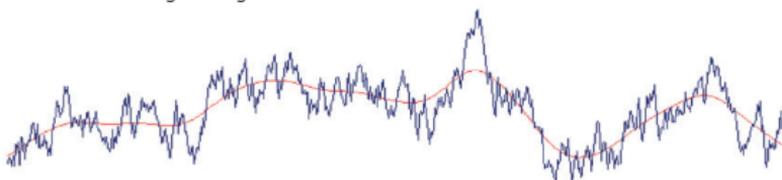
Erfasstes Oberflächenprofil

Das erfasste Oberflächenprofil ist das Profil nach Abtasten des wirklichen Oberflächenprofils mit einem Taster. Dabei werden die Messwerte durch die Wirkung des Tastspitzenradius und ggf. durch die Gleitkufe des Tasters gefiltert. Oberflächenunvollkommenheiten wie Dellen, Risse und Kratzer zählen nicht zur Rauheit, und sollen nicht mit erfasst werden.

Primärprofil (P-Profil)

Das aus der Filterung des erfassten Oberflächenprofils resultierende Profil, nach Tiefpassfilterung mit der Grenzwellenlänge λ_s , um hochfrequente Störeinflüsse aus dem Profil zu entfernen. Die Parameter werden gekennzeichnet mit Psuffix (Pa, Pc, Pt, Pz, usw.).

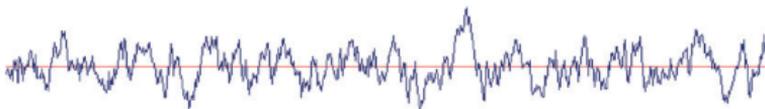
> Die Mittellinie zeigt Welligkeit- und Formanteile.



Rauheitsprofil (R-Profil)

Das aus der Filterung des Primärprofils resultierende Oberflächenprofil, aus dem Welligkeit und Formabweichungen entfernt wurden. Die Parameter werden gekennzeichnet mit RSuffix (Ra, Rc, Rt, Rz, usw.).

> Welligkeit und Form wurden ausgefiltert, es bleibt nur die Rauheit.



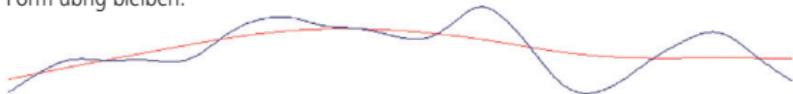
Praktische Hinweise zur Oberflächenrauheitsmessung

S.
60

Welligkeitsprofil (W-Profil)

Das Oberflächenprofil, resultierend aus dem Primärprofil, aus dem Formabweichungen und Rauheitsanteile entfernt wurden. Die Parameter werden gekennzeichnet durch W_{suffix} (W_a , W_c , W_t , W_z , usw.).

- In der ersten Phase der Filterung wird die Rauheit beseitigt, während Welligkeit und Form übrig bleiben.

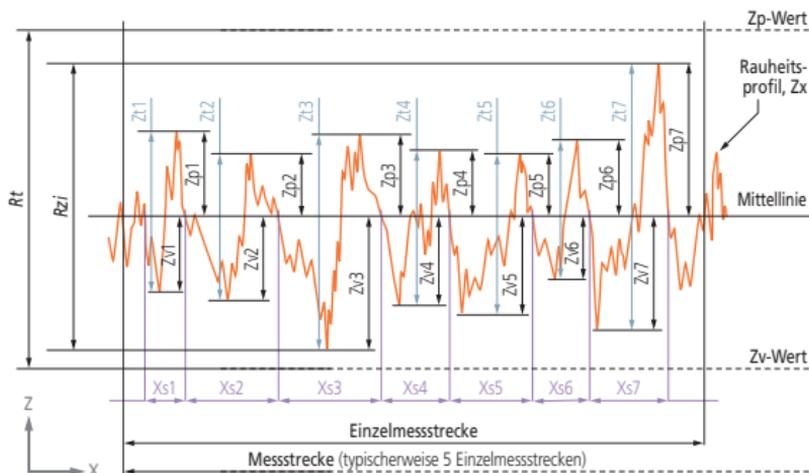


- In der zweiten Phase der Filterung wird die Form beseitigt, während nur die Welligkeit übrig bleibt.



2. Einige gebräuchliche Parameter

- Ein typisches Profil (Rauheit).



Praktische Hinweise zur Oberflächenrauheitsmessung

S.
61

Arithmetische mittlere Abweichung des Profils: P_a , R_a oder W_a

Das arithmetische Mittel der absoluten Profil $Z(x)$ -Werte innerhalb einer Einzelmessstrecke.

$$P_a, R_a, W_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx$$

$l = l_p, l_r$ für Primär-, Rauheits- oder Welligkeitsprofile

Quadratischer Mittelwert der Abweichung des Profils: P_q , R_q oder W_q

Der quadratische Mittelwert des Profil $Z(x)$ -Werte innerhalb einer Einzelmessstrecke.

$$P_q, R_q, W_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l |Z^2(x)| dx}$$

$l = l_p, l_r$ oder l_w für Primär-, Rauheits- oder Welligkeitsprofile

Gesamthöhe des Profils P_t , R_t , oder W_t

Der Betrag des höchsten Z_p -Werts, und die tiefste Z_v -Vertiefung innerhalb der Messstrecke.

Maximalhöhe des Profils: P_z , R_z , oder W_z

Der Betrag des höchsten Z_p -Werts, und die tiefste Z_v -Vertiefung innerhalb einer Einzelmessstrecke.

Mittlere Breite der Profilelemente: P_{Sm} , R_{Sm} oder W_{Sm}

Der Mittelwert der Profilelementbreiten X_s innerhalb einer Einzelmessstrecke.

$$P_{Sm}, R_{Sm}, W_{Sm} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{s_i}$$

Wenn nicht anders angegeben, beträgt die Mindesthöhe der einzuschließenden Elemente 10% von P_z , R_z , oder W_z mit jeweils einem Mindestabstand von 1% der Einzelmessstrecke.

Praktische Hinweise zur Oberflächenrauheitsmessung

S.
62

Mittlere Höhe der Profilelemente: P_c , R_c oder W_c

Der Mittelwert der Profilelementhöhen Z_t innerhalb einer Einzelmessstrecke.

$$P_c, R_c, W_c = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m Z_{tj}$$

Wenn nicht anders angegeben, beträgt die Mindesthöhe der einzuschließenden Elemente 10% von P_z , R_z oder W_z mit jeweils einem Mindestabstand von 1% der Einzelmessstrecke.

3. Rauheitswert/N-Klassen

Die Beziehung zwischen Oberflächenrauheitswerten und N-Klassen nach ISO 1302 ist in nachfolgender Tabelle dargestellt.

Rauheitswert		Rauheits-N-Klassen
Mikrometer (μm)	Mikrozoll (μinch)	
50	2000	N12
25	1000	N11
12,5	500	N10
6,3	250	N9
3,2	125	N8
1,6	63	N7
0,8	32	N6
0,4	16	N5
0,2	8	N4
0,1	4	N3
0,05	2	N2
0,025	1	N1

Praktische Hinweise zur Oberflächenrauheitsmessung

Messbedingungen für die Rauheitsmessung (DIN EN ISO 4288)

S.
63

Nicht-periodische Profile		Periodische Profile	Messbedingungen nach DIN EN ISO 4288 und DIN EN ISO 3274			
Schleifen, Honen, Läppen, Erodieren		Drehen, Fräsen, Hobeln	r_{Spitze} Maximaler Tastspitzenradius l_r Einzelmessstrecke l_n Messstrecke l_t Taststrecke (Messstrecke plus Vorlauf- und Nachlauf)			
R_t, R_z μm	R_a μm	R_{Sm} mm	r_{tip} μm	$\lambda_c = l_r$ mm	l_n mm	l_t mm
> 0,025...0,1	> 0,006...0,02	> 0,043...0,04	2	0,08	0,4	0,48
> 0,1...0,5	> 0,02...0,1	> 0,04...0,13	2	0,25	1,25	1,5
> 0,5...10	> 0,1...2	> 0,13...0,4	2*	0,8	4	4,8
> 10...50	> 2...10	> ,04...1,3	5	2,5	12,5	15
> 50...200	> 10...80	> 1,3...4	10	8	40	48

* Wenn R_z , > 3 μm oder R_a > 0,5 μm kann ein Tastspitzenradius (r_{tip}) von 5 μm verwendet werden.

Hinweis:

Dieser Abschnitt basiert auf DIN EN ISO 4287, die für eine detaillierte Erklärung konsultiert werden sollte.



Rauheitsmessbedingungen

S.
64

Rauheitsmessbedingungen (DIN EN ISO 4288)

Darüber hinaus sind der Messpunkt Abstand Δx und die Grenzwellenlänge λ_s des Tiefpaßfilters standardisiert. Diese Werte wurden bereits in den Rauheitsmessgeräten festgelegt.

Praktischer Tipp 1: Wenn für die erforderliche Verfahrenslänge nicht genügend Platz auf der Werkstückoberfläche l_t vorhanden ist, dann muss die Anzahl der Messstrecken verringert und in der Zeichnung angegeben werden.

Praktischer Tipp 2: Wenn immer noch nicht genügend Platz vorhanden ist, dann wird anstelle von R_t oder R_z die Gesamthöhe des Primärprofils P_t über die verfügbare Länge gemessen. P_t wird wie R_t berechnet, ist aber dem Primärprofil zugeordnet, und deshalb stets größer.



Auswertung von Rauheitsmessungen (DIN EN ISO 4288)

Die Rauheitsmesswerte, insbesondere die vertikalen Parameter R_t , R_z , R_{z1max} und R_a streuen in einem Bereich von -20% bis +30%. Ein einzelner Messwert kann daher keine vollständige Erkenntnis hinsichtlich der Einhaltung der zulässigen Parametertoleranzen liefern. Nachfolgende Methode ist in DIN EN ISO 4288 Anhang A aufgeführt:

"Max."-Regel

Alle Rauheitsparameter mit dem Zusatz "**max**" für den maximalen Mittelwert aus den fünf Einzelmessstrecken: Messen Sie mindestens drei Stellen auf der Oberfläche, wo die höchsten Werte zu erwarten sind; der angegebene Grenzwert darf an keiner Messstelle überschritten werden.

Rauheitsmessbedingungen

S.
65

16%-Regel

Alle Rauheitsparameter ohne den Zusatz "max" als Mittelwert aus den fünf Einzelmessstrecken:

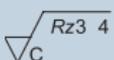
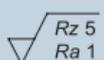
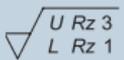
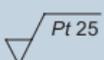
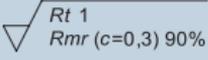
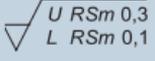
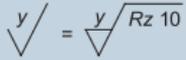
16% der Messwerte können den angegebenen Grenzwert überschreiten; das Schritt-für-Schritt-Verfahren ist wie folgt:

1. Wenn der erste gemessene Wert kleiner als 70% des angegebenen Grenzwerts ist, wird er als eingehalten betrachtet.
2. Im Fall eines anderen Ergebnisses werden zwei weitere Messungen an anderen Stellen der Oberfläche durchgeführt; wenn alle drei Messwerte kleiner als der festgelegte Grenzwert sind, wird das als eingehalten betrachtet.
3. Im Fall eines anderen Ergebnisses werden neun weitere Messungen an anderen Stellen auf der Oberfläche durchgeführt; wenn nicht mehr als zwei der Messwerte den angegebenen Grenzwert überschreiten, wird dieser als eingehalten betrachtet.



Rauheitsmessbedingungen

S.
66

Beispiele	Erklärung
	Keine materialabtragende Bearbeitung zulässig, Regel-Übertragungscharakteristik, R-Profil, 16 %-Regel, mittlere Rautiefe 5 µm (Obergrenze)
	Materialabtragende Bearbeitung, Regel-Übertragungscharakteristik, R-Profil, max-Regel, max. mittlere Rautiefe 3 µm (Obergrenze); Bearbeitungszugabe 0,2 mm
	Materialabtragende Bearbeitung, Regel-Übertragungscharakteristik, R-Profil, Messstrecke aus 3 Einzelmessstrecken, 16 %-Regel, mittlere Rautiefe 4 µm (Obergrenze); Oberflächenrillen konzentrisch
	Materialabtragende Bearbeitung, Regel-Übertragungscharakteristik, R-Profil, 16 %-Regel, mittlere Rautiefe 5 µm, arithmetischer Mittenrauwert 1 µm (Obergrenze)
	Materialabtrag erlaubt, Standard-Übertragungsband, R -Profil, 16%-Regel, mittlere Rautiefe zwischen 1 µm (Untergrenze) und 3 µm (Obergrenze)
	Materialabtrag erlaubt, Standard-Übertragungsband für λs, kein λc-Filter, P -Profil, Bewertungslänge gleich Werkstücklänge, 16% -Regel, Gesamthöhe des Primärprofils 25 µm (Obergrenze)
	Materialabtragende Bearbeitung, Übertragungscharakteristik 0,8 (λc) - 25 (λf= lw) mm, W-Profil, Messstrecke aus 5 Einzelmessstrecken (ln =5*lw =125 mm), 16 %-Regel, Gesamthöhe des Profils 10 µm
	Materialabtragende Bearbeitung, Regel-Übertragungscharakteristik, R-Profil, 16 %-Regel, Gesamthöhe des Rauheitsprofils 1 µm (oberer Grenzwert); Materialanteil des Profils 90 % in der Schnitthöhe c = 0,3 µm (Untergrenze)
	Materialabtragende Bearbeitung, Regel-Übertragungscharakteristik, R-Profil, mittlere Rillenbreite zwischen 0,1 mm (Untergrenze) und 0,3 mm (Obergrenze)
	Erklärung der Bedeutung (rechts) einer vereinfachten Bezugsangabe (links), wenn der Platz begrenzt ist.

Wärmeausdehnungskoeffizient (CTE)

Nachfolgende Tabelle zeigt die typischen Werte des Wärmeausdehnungskoeffizienten (CTE) für eine Auswahl von 50 technischen Materialien bei mäßigen Temperaturen.

Material	α in $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	Material	α in $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Aluminiumoxid-Keramik	6-7	Nickel und dessen Legierungen	12 - 17
Aluminium und seine Legierungen	21 - 25	Nickel-Legierung, geringe Ausdehnung	10
Beryllium	11	Nitrierstahl	12
Beryllium-Kupfer	17	Platin	9
Messing	18 - 21	Edelstahl, aushärtbar	10 - 15
Bronze, Aluminium (Guss)	16 - 17	Edelstahl, austenitisch	14 - 18
Bronze, Phosphor-Silizium	17 - 18	Edelstahl, Guss	11 - 19
Bronze, Zinn (Guss)	18	Edelstahl, ferritisch	10 - 11
Sphäroguss oder duktiles Gusseisen	10 - 19	Edelstahl, martensitisch	10 - 12
Cermet, Aluminiumoxid	8-9	Stahl, Legierung	11 - 15
Cermet, Chromcarbid	10 - 11	Stahl, Legierung, Guss	14 - 15
Cermet, Titancarbid	8 -13	Stahl, Carbon, Automatenstahl	15
Cermet, Wolframcarbid	4 - 7	Stahl, Hochtemperatur	11 - 14
Kupfer	17	Stahl, ultrahochfest	10 - 14
Kupfer-Nickel und Nickelsilber	16 - 17	Superlegierungen, auf Kobaltbasis	12 - 17
Diamant	1	Superlegierungen, Cr-Ni-Co-Fe	17 - 19
Endmaß, CERA Block*	$9,3 \pm 0,5$	Superlegierungen, Cr-Ni-Fe	14 - 16
Endmaß, Stahl	$10,8 \pm 0,5$	Superlegierungen, auf Nickelbasis,	14 - 18
Endmaß, Wolframcarbid	$5,5 \pm 1$	Tantalcarbid	8
Glas, Quarzglas	0,55 - 0,59	Zinn und seine Legierungen	23
Glas, Pyrex	3,3	Titan und seine Legierungen	9-13
Eisen, Grauguss	11	Titancarbid	7
Magnesiumlegierungen	25 - 28	Wolframcarbid	4
Molybdän und seine Legierungen	5 - 6	Zerodur, glass ceramic**	$0,05 \pm 0,10$
		Zink und dessen Legierungen	19 - 35
		Zirkonium und dessen Legierungen	5,5 - 6

* Zirkonia-Keramik.

** Wird für XYZ-Skalen von ultrahochgenauen KMGs verwendet (Beispiel: LEGEX Serie von Mitutoyo).

Wärmeausdehnungskoeffizient (CTE)

S.
68

Die meisten Feststoffe dehnen sich bei steigender Temperatur aus und ziehen sich bei abnehmender Temperatur zusammen. Diese Reaktion auf Temperaturänderungen wird durch den Wärmeausdehnungskoeffizienten (CTE) ausgedrückt.

$$\Delta l = l_1 \cdot \alpha \cdot (t_2 - t_1)$$

Δl = Formänderung

α = Wärmeausdehnungskoeffizient

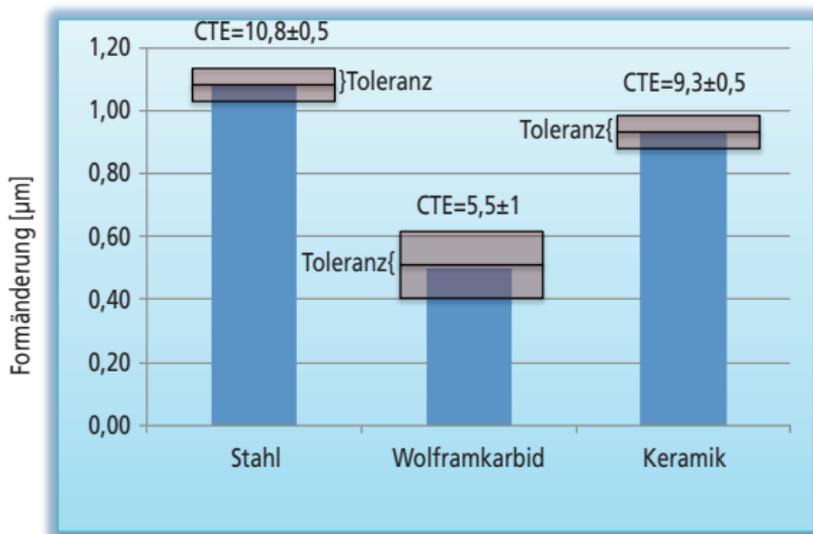
l_1 = Form bei 20°

t_2 = Temperatur nach der Änderung

t_1 = Temperatur vor Veränderung. Referenztemperatur (20°C) für die Messtechnik (siehe DIN EN ISO1).

> Beispiel:

Formveränderung eines 100mm-Endmaßes bei +1°C Temperatur über der Referenztemperatur (20°C) Mitutoyo Materialspezifikation.



Materialeigenschaften von Endmassen

	 CERA-Block-ZrO ₂	 Stahl	 Wolframkarbid
Vickers-Härte (HV)	1350	800	1650
Wärmeausdehnungskoeffizient (10 ⁻⁶ /°C)	9,3 ± 0,5	10,8 ± 0,5	5,5 ± 1
Biegefestigkeit (N/mm ² =MPa)	1270	1960	1960
Bruchzähigkeit K _{IC} (MPa·m ^{1/2})	7	120	12
Elastizitätsmodul (N/mm ² =MPa)	206000	206000	618000
Poisson-Verhältnis	0,3	0,3	0,2
Spezifisches Gewicht (g/cm ³ =kg/dm ³)	6	7,8	14,8
Wärmeleitfähigkeit (W/m·K)	2,9	54,4	79,5
Formbeständigkeit	+++	+	++
Korrosionsbeständigkeit	+++	+	++
Verschleißfestigkeit	+++	+	++
Kosten	hoch	niedrig	hoch

Endmaßklassen

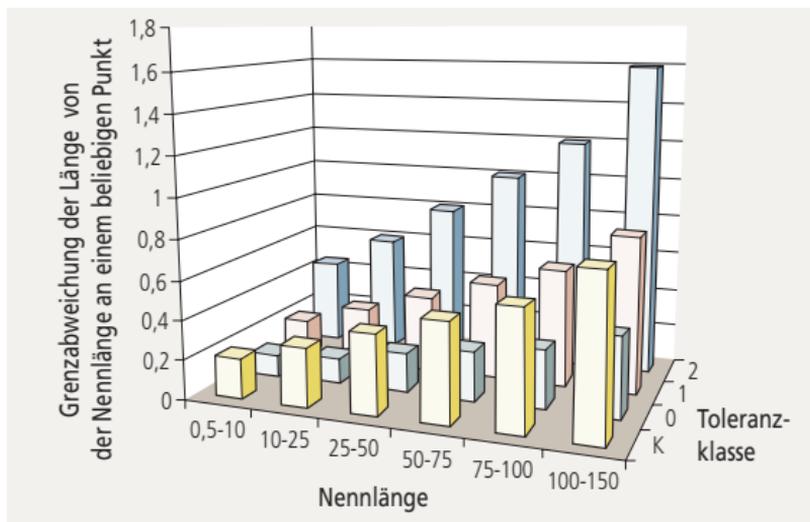
Die Toleranzklassen sind Ausdruck der messtechnischen Eigenschaften (Genauigkeitsklassen). Nachfolgende Tabelle kann verwendet werden, um für die jeweilige Aufgabe (gemäß DIN EN ISO 3650, BS4311 und JIS B 7506) die korrekte Endmaß-Toleranzklasse zu wählen.

	Anwendung	Toleranzklasse
Einsatz in der Werkstatt	• Montagewerkzeuge und Fräser	2
	• Kalibrierung von Instrumenten • Messgerätefertigung	1 oder 2
Einsatz für Prüfungen	• Einstellen von Messgeräten	1 oder 2
	• Überprüfung der Genauigkeit von Messgeräten • Kalibrierung von Instrumenten	0 oder 1
Einsatz zur Kalibrierung	• Überprüfung der Genauigkeit von Endmaßen für Werkstätten • Überprüfung der Genauigkeit von Endmaßen für Prüfungen • Überprüfung der Genauigkeit von Instrumenten	K oder 0
Verwendung als Referenz	• Überprüfung der Genauigkeit von Endmaßen für die Kalibrierung • Akademische Forschung	K

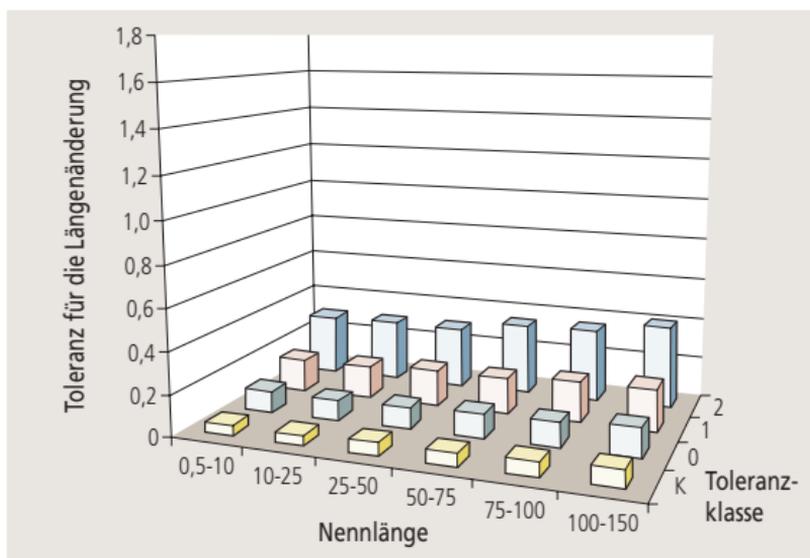
Endmaßklassen

S.
71

> Abweichungsgrenzen von Endmaßen nach DIN EN ISO 3650



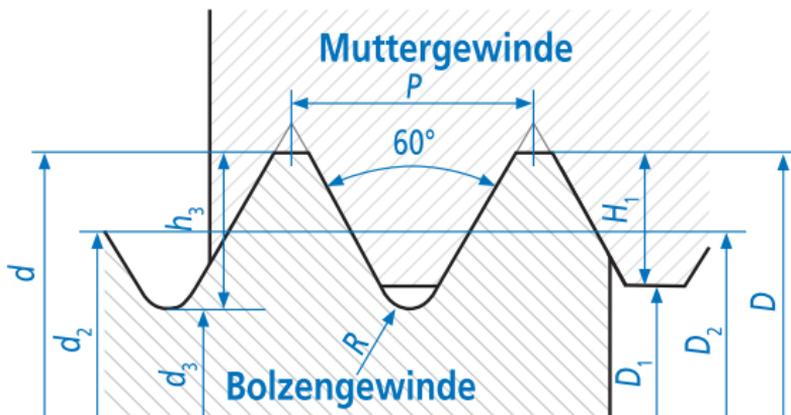
> Toleranzen von Endmaßen nach DIN EN ISO 3650



Gewindegrößen – metrisches ISO-Gewinde

S.
72

$d = D$	Nenndurchmesser
P	Steigung
h_3	Gewindetiefe des Bolzensgewindes
H_1	Gewindetiefe des Muttergewindes
R	Rundung
d_2	Flanken-Ø
d_3	Kern-Ø des Bolzensgewindes
D_1	Kern-Ø des Muttergewindes
$d - P$	Kernlochbohrer-Ø
60°	Flankenwinkel



Gewindegrößen – metrisches ISO-Gewinde

S.
73

Metrisches ISO-Regelgewinde DIN 13-1

Das metrische ISO-Regelgewinde ist ein weltweit standardisiertes Gewinde. Es ersetzt ältere metrische Gewinde und die meisten Gewinde mit Zollmaßen. Die Bezeichnung besteht aus dem Buchstaben M und einer Zahl, die den Außen-Ø angibt.

Der Flankenwinkel beträgt 60°.

Regelgewinde-Ø in mm	Steigung in mm
M 2,5	0,45
M 3,0	0,50
M 3,5	0,60
M 4,0	0,70
M 4,5	0,75
M 5,0	0,80
M 6,0	1,00
M 7,0	1,00
M 8,0	1,25
M 9,0	1,25
M 10,0	1,50
M 11,0	1,50
M 12,0	1,75
M 14,0	2,00
M 16,0	2,00
M 18,0	2,50

Gewindegrößen – metrisches ISO-Gewinde

Metrisches ISO-Feingewinde DIN 13-3

Im Vergleich zum Regelfewinde hat das Feingewinde eine kleinere Steigung, was die Belastbarkeit erhöht. Typischer Einsatz sind bspw. Stellschrauben an Messgeräten, da es eine genauere Einstellung erlaubt.

Die Bezeichnung besteht aus dem Buchstaben M und einer Zahl, die den Außen-Ø angibt. Der Flankenwinkel beträgt 60°.

Feingewinde-Ø in mm	Steigung in mm
M 3,5	0,35
M 4,0	0,50
M 4,5	0,50
M 5,0	0,35
M 6,0	0,75
M 7,0	0,75
M 8,0	0,75
M 8,0	1,00
M 9,0	0,75
M 9,0	1,00
M 10,0	0,75
M 10,0	1,00
M 11,0	1,00
M 12,0	1,00
M 12,0	1,25
M 12,0	1,50

Gewindegrößen – metrisches ISO-Gewinde

S.
75

Metrisches ISO-Feingewinde DIN 13-3

[Fortsetzung der Tabelle]

Feingewinde-Ø in mm	Steigung in mm
M 14,0	1,00
M 14,0	1,25
M 14,0	1,50
M 16,0	1,00
M 16,0	1,25
M 18,0	1,00
M 18,0	1,50
M 18,0	2,00

DIATEST Hermann Kötgen GmbH

Schottener Weg 6
64289 Darmstadt

Tel.: +49 (0) 6151 979 0

Fax: +49 (0) 6151 979 111

info@diatest.de

www.diatest.com

Mitutoyo Europe GmbH

Borsigstr. 8-10

41469 Neuss

Tel.: +49 (0) 2137 102 0

Fax: +49 (0) 2137 102 351

info@mitutoyo.eu

www.mitutoyo.eu