

# HANSER

Inhaltsverzeichnis

Markus Meister

Vademecum des Schleifens

ISBN: 978-3-446-42618-4

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser.de/978-3-446-42618-4>

sowie im Buchhandel.

# Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	<b>XIII</b>
<b>Einleitung</b> .....	<b>XV</b>
<b>Leseleitfaden</b> .....	<b>XXV</b>
<b>1 Schleifmaschinen und Standard-Schleifverfahren</b> .....	<b>1</b>
1.1 Allgemeines zu den Schleifverfahren.....	1
1.2 Gemeinsamkeiten der verschiedenen Schleifmaschinenarten .....	3
1.3 Standard-Schleifverfahren.....	4
1.4 Anfunksteuerungen.....	5
1.5 Aussenrund-Umfangs-Längsschleifen AUL .....	6
1.6 Aussenrund-Umfangs-Schälschleifen AUL(S) .....	6
1.7 Aussenrund-Umfangs-Querschleifen AUQ .....	7
1.8 Aussenrund-Schrägeinsteichschleifen.....	8
1.9 Innenrund-Umfangs-Längsschleifen IUL .....	8
1.10 Innenrund-Umfangs-Schälschleifen IUL(S) .....	9
1.11 Innenrund-Umfangs-Querschleifen IUQ .....	9
1.12 Plan-Seiten-Längsschleifen PSL.....	9
1.13 Plan-Umfangs-Längsschleifen PUL .....	10
1.14 Plan-Umfangs-Querschleifen PUQ.....	11
1.15 Dreh-Umfangs-Längsschleifen DUL .....	12
1.16 Dreh-Umfangs-Querschleifen DUQ .....	12
1.17 Tauchschleifen.....	13
1.18 Spitzenlos-Schleifen (Centerless-Schleifen) .....	13
1.19 Bandschleifen (Durchlaufschleifen) .....	14
1.20 Schleifen der Nocken von Nockenwellen.....	15
1.21 Zusammenfassung von Kapitel 1.....	16

<b>2</b>	<b>Kinematik, Dynamik und Zerspanungslehre</b>	<b>19</b>
2.1	Kinematik, Dynamik und Zerspanungslehre	19
2.2	Schneidengeometrie	21
2.3	Spanbildungskinetik	26
2.3.1	Umfangsschleifen (Fall 1)	26
2.3.2	Stirnschleifen (Fall 2)	26
2.3.3	Gegenlaufschleifen (GGL)	27
2.3.3.1	Wirkbahnen beim Gegenlaufschleifen (GGL)	28
2.3.4	Gleichlaufschleifen (GLL)	29
2.3.4.1	Wirkbahnen beim Gleichlaufschleifen (GLL)	29
2.3.5	Druckkraftaufbau beim Gegenlauf- und beim Gleichlaufschleifen	30
2.3.6	Wärmeverlauf beim Gegenlauf- und beim Gleichlaufschleifen	31
2.4	Spanwinkel, Scherwinkel und der Stauchfaktor	32
2.4.1	Spanwinkel $\gamma$	32
2.4.2	Scherwinkel $\phi$	32
2.4.3	Stauchfaktor $\lambda$	33
2.4.4	Freiwinkel $\alpha$	33
2.5	Schergeschwindigkeit $v_{c2}$	34
2.5.1	Schergeschwindigkeit $v_{c2}$ (konventionell bis ca. $v_c = 80$ m/s)	34
2.5.2	Schergeschwindigkeit $v_{c2}$ (Hochgeschwindigkeitsschleifen)	36
2.6	Spanbildung, Spanformen und Spanquerschnitte	39
2.6.1	Spanbildung	39
2.6.2	Spanformen und Spanquerschnitte	40
2.7	Wärmeverteilung in der Kontaktzone	47
2.8	Wärmeentstehung und Wärmeableitung	51
2.9	Wirkende Kräfte am Schleifkorn (zweidimensional)	57
2.10	Verhalten der Schleifkräfte in Abhängigkeit der Schmierwirkung	59
2.11	Zerspan- bzw. Schnittgeschwindigkeiten	60
2.12	Zug- und Druckspannungen in der Werkstücksrandzone	62
2.12.1	Allgemeines (Zug- und Druckspannungen)	62
2.12.2	Zug- oder Druckspannungen – und was bewirken sie?	63
2.12.3	Durch Schleifen erzeugte Eigenspannungen	64
2.12.4	Prinzipielle Darstellung von Zug- und Druckspannungen	66
2.13	Zusammenfassung von Kapitel 2	68
<b>3</b>	<b>Schleifstoffe und Schleifscheiben</b>	<b>69</b>
3.1	Entwicklung der Schleifscheiben	69
3.2	Schleifstoffe allgemein	70
3.3	Schleifstoffe – Kornarten und deren Herstellung	71
3.4	Siliziumkarbidarten (grün und dunkel)	74
3.5	Kubisches Bornitrid (CBN)	76
3.6	Diamant – der härteste und edelste Stoff	80
3.7	Kornhärten der wichtigsten Schleifstoffe	83

3.8	Brechen, Sieben und Korngrößen	83
3.9	Korngrößen nach FEPA-Normung	85
3.10	Bindungen, Scheibenhärte, Strukturen (Porosität)	87
3.11	Konzentration von CBN und Diamant im Schleifbelag	92
3.12	Anwendungen, Abtragsleistungen und G-Werte	93
3.13	Schleifstoffe und deren Anwendungsschwerpunkte	97
3.14	Mikro- und Makroausbruch der Schleifkörner	100
3.15	Arbeitsdruckkraft $F_d$ nach OTT	102
3.16	Anpassung der Wirkrautiefe $R_{ts}$ an die Scheibenbelastung	105
3.17	Brennen von Schleifscheiben mit keramischen Bindungen	108
3.18	Härtemessung von keramisch gebundenen Schleifscheiben	110
3.19	Statische und dynamische Härtewirkung der Schleifscheiben	111
3.20	Auswuchten von Schleifscheiben	113
3.21	Zusammenfassung von Kapitel 3	116
3.22	Scheibenbilder	117
<b>4</b>	<b>Einflussgrößen und ihre Zusammenhänge</b>	<b>123</b>
4.1	Allgemeines	123
4.2	Primäre Einflussgrößen	124
4.3	Sekundäre Einflussgrößen	125
4.4	Zusammenhänge unter den Einflussgrößen	126
4.5	Schnitt- oder Umfangsgeschwindigkeit $v_c$	126
4.6	Werkstück- oder Vorschubgeschwindigkeit $v_{fw}$	129
4.7	Werkstoff-, Bearbeitungs- oder Schleifzugabe $z_w$	131
4.8	Geschwindigkeitsverhältnis $q_s$	132
4.9	Zustellung $a_e$	134
4.10	Zustell- oder Einstechgeschwindigkeit $v_{ft}$	134
4.11	Seitenvorschub $f_a$ pro Werkstückumdrehung	135
4.12	Seitenvorschubgeschwindigkeit $v_{fa}$	136
4.13	Überdeckungsgrad $U_c$ beim Aussen- und Innenrundscheifen	137
4.14	Zeitspanvolumen $Q_w$	138
4.15	Bezogenes Zeitspanvolumen $Q'_w$ (allgemein)	139
4.16	Bezogenes Zeitspanvolumen $Q'_w$ - „Tauschschleifen“	142
4.17	Bezogenes Zeitspanvolumen $Q'_w$ - „Seiten-Längsschleifen“	149
4.18	Bezogenes Zeitspanvolumen $Q'_w$ - „Aussen- und Innenrund-Schältschleifen“	151
4.19	Bezogenes Grenzzeitspanvolumen $Q'_{w\text{ grenz}}$	152
4.20	Theoretische mittlere Spandicke $h_m$	154
4.21	Abtragsvolumen $V_w$ und bezogenes Abtragsvolumen $V'_w$	158
4.22	Kontaktlänge $l_k$	160
4.23	Kontaktwinkel $\alpha_k$	162
4.24	MNIR - The Maximum Normal Infeed Rate $v_{fw\text{ in}}$	164
4.25	Schleifweg $l'_s$ pro Scheibenumdrehung	167
4.26	Rattermarken	168

4.27	Kontaktbreite $b_k$ .....	171
4.28	Kontaktfläche $A_k$ .....	171
4.29	Eintrittssehnenlänge $s_e$ .....	172
4.30	Zerspanbarkeitsklassen MA (nach OTT) .....	179
4.31	Spezifische Schnittkraft $k_s$ .....	181
4.32	Schleifkräfte $F_t$ und $F_n$ sowie die bezogenen Werte $F'_t$ und $F'_n$ .....	185
4.33	Schleiffaktor $S_c$ (nach OTT) .....	192
4.34	Schmierfähigkeit (Schmierindex) CL (nach OTT) .....	194
4.35	Schleifleistung $P_s$ .....	196
4.36	Bezogene Schleifleistung $P'_s$ .....	201
4.37	Die Kontaktleistung $P''_s$ .....	204
4.38	Spezifische Schleifenergie $U_s$ .....	207
4.39	Bezogene Wärmemenge $Q'_{wn}$ (auch als $E''_c$ bekannt) .....	211
4.40	Schleifzeitberechnungen .....	211
4.41	Relativer Leistungsbedarf in Abhängigkeit des verwendeten KSS .....	213
4.42	Spezifische Spanmenge $Q'_m$ (nach OTT) .....	214
4.43	Prozess-Berechnungsbeispiele von PUQ, AUQ und IUQ .....	215
4.42.1	Allgemeine Vorgaben für die folgenden Einstechprozesse .....	215
4.43.2	Plan-Umfangs-Querschleifen PUQ (Einstechschleifen) .....	217
4.43.3	Aussenrund-Umfangs-Querschleifen AUQ (Einstechschleifen) .....	223
4.43.4	Innenrund-Umfangs-Querschleifen IUQ (Einstechschleifen) .....	229
4.43.5	Wichtige Bemerkung zu den Berechnungsbeispielen .....	236
4.44	Was man aus Formeln erkennen und ableiten kann .....	238
4.45	Zusammenfassung von Kapitel 4 .....	243
<b>5</b>	<b>Konditionieren von Schleifscheiben (Abrichten, Profilieren) .....</b>	<b>245</b>
5.1	Allgemeines zum Konditionieren .....	245
5.2	Konditionierwerkzeuge (Übersicht) .....	247
5.3	Wirkrautiefe $R_{ts}$ .....	248
5.4	Rautiefenwerte (unterschiedliche Messmethoden) .....	249
5.5	Wirkbreite $b_d$ von stehenden Abrichtwerkzeugen .....	251
5.6	Überdeckungsgrad $U_d$ .....	255
5.7	Stehende Konditionierverfahren – Auswirkung auf die Scheibe .....	256
5.8	Abrichtzustellung $a_d$ .....	257
5.9	Abricht-Zeitspanvolumen $Q_d$ .....	259
5.10	Einkornabrichtwerkzeuge .....	260
5.11	Geschliffene Formdiamantwerkzeuge .....	263
5.12	Mehrkorndiamantwerkzeuge .....	263
5.13	Abrichtplatten (Diamant-Fliesen <sup>®</sup> ) .....	264
5.14	Anordnung und Arbeitsrichtung stehender Abrichtwerkzeuge .....	266
5.15	Diamant-Igel .....	267
5.16	PKD-Abrichtwerkzeuge .....	268
5.17	MKD-Platten mit monokristallinen Diamantprismen .....	268

5.18	Diamant-Abrihtleiste mit galvanischer Bindung.....	270
5.19	Diamant-Block handgesetzt oder galvanisch belegt.....	271
5.20	Drehende Konditionierverfahren.....	272
5.21	Rollenzustellung, Zustellgeschwindigkeit und Zeitspanvolumen .....	273
5.22	Diamant-Topfscheiben mit Druckluftantrieb .....	275
5.23	Prinzipdarstellung Crushieren und Rolldiamantieren .....	276
5.24	Stahl- oder Hartmetallprofilrollen (Crushierrollen).....	277
5.25	Kleine Crushierscheiben (Stahl und CVD-Verfahren).....	279
5.26	Diamant-Abriht- bzw. -Profilrollen.....	282
5.27	Profilieren mit Diamantspitzscheiben (Diamantformrollen).....	288
5.28	Continuous Dressing (CD-Konditionieren mit Diamantrollen).....	290
5.29	Zusammenfassung von Kapitel 5.....	292
<b>6</b>	<b>Kühlschmierstoffe, Additive, Filter und Anlagen.....</b>	<b>295</b>
6.1	Stand der Technik – Kühlschmierstoffe, Additive, Filter und Anlagen.....	295
6.2	Trockenbearbeitung (Hartdrehen versus Schleifen) .....	299
6.3	Kühlschmierstoffe (KSS) für die Schleiftechnik .....	302
6.4	Ungeschmierte und geschmierte vollsynthetische Lösungen.....	304
6.5	Halbsynthetische und echte Emulsionen .....	306
6.6	Wasserqualität, Ansatzkonzentrationen und Messmethoden.....	309
6.6.1	Bestimmung und Überprüfung der KSS-Konzentrierung .....	314
6.6.2	Nachfüllmischungen .....	318
6.7	Schneid- und Schleiföle .....	322
6.8	Additive für Kühlschmierstoffe .....	325
6.9	Reibpartner – die prinzipiellen Reibungsarten.....	331
6.10	Schleifölviskositäten für das Schleifen .....	332
6.11	Einfluss der KSS-Art und -Schmierwirkung auf die Scheibe.....	332
6.12	Resümee über die KSS-Schmierfähigkeit und die Auswirkungen.....	335
6.13	Wo eignen sich die verschiedenen Kühlschmierstoffe?.....	336
6.14	Zu welchen Schleifkornarten welche Kühlschmierstoffe? .....	338
6.15	Schleifstoffe und Empfehlungen für die KSS-Schmierfähigkeit.....	339
6.16	Werkstoffe und die dazu geeigneten Kühlschmierstoffarten.....	339
6.17	Wie erhöht man die KSS-Standzeit.....	340
6.18	Hinweise auf dem KSS-Sicherheitsdatenblatt .....	341
6.19	Resümee über die Kühlschmierstoffe.....	343
6.20	Filter und Kühlschmierstoffversorgungsanlagen .....	344
6.21	Größenabstufungen von Kühlmittel-Versorgungsanlagen .....	354
6.22	Zentrale Kühlmittel-Versorgungsanlagen .....	355
6.23	Rückkühlung der Kühlschmierstoffe .....	356
6.24	Minimalmengen- und Mindermengenkühlung.....	359
6.25	Zusammenfassung von Kapitel 6.....	361

<b>7</b>	<b>Kühlschmierstoffzuführung (Düsen)</b> .....	<b>363</b>
7.1	Stand der Technik (KSS-Zuführung).....	363
7.2	Strömungslehre.....	366
7.2.1	Reynold'sche Zahl $Re$ .....	368
7.3	KSS-Strahlgeschwindigkeit $v_k$ .....	370
7.4	Berechnung vom notwendigen Pumpendruck $p_k$ .....	371
7.5	Pumpendimensionierung.....	374
7.6	Pumpenantriebsleistung $P_k$ .....	376
7.7	Dimensionierung der notwendigen KSS-Menge.....	377
7.8	Leistungsbedarf und Anstieg der Normalkraft $F_n$ .....	381
7.9	Berechnung der Düsenaustrittsquerschnittfläche $A_{kn}$ .....	383
7.10	Kühlschmierstoffzuführung zur Schleifscheibe.....	384
7.11	Übersicht der wichtigsten Arten von Kühlschmierstoffdüsen.....	389
7.12	Wichtige Hinweise zur Kühlschmierstoffzuleitung.....	400
7.12.1	Leitungsgrösse in Abhängigkeit der Durchflussmenge.....	401
7.12.2	Schlauchleitungen in der Kühlschmierstoffzuführung.....	401
7.12.3	Pulsieren von Zentrifugalpumpen.....	402
7.12.4	Druck- und Pumpenleistungsberechnungen.....	403
7.12.5	Steigleitungen, Fittings, Verschraubungen, Ventile, usw.....	405
7.13	Praktische Anlagen- und Düsendimensionierung.....	406
7.14	Beispiele von verschiedenen Düsenbauarten.....	409
7.15	Zusammenfassung von Kapitel 7.....	412
<b>8</b>	<b>Vollschnittschleifen (Tiefschleifen)</b> .....	<b>415</b>
8.1	Allgemeines und Historisches über das Vollschnittschleifen.....	415
8.2	Vollschnittschleifmaschinen.....	417
8.3	Die ideale Schleifrichtung beim Vollschnittschleifen.....	418
8.4	Einige Einflussgrössen und ihre Zusammenhänge.....	420
8.5	Einfluss der Schnittgeschwindigkeit $v_c$ .....	425
8.6	Besonderheiten beim Vollschnittschleifen.....	427
8.7	Tücken des Vollschnittschleifens.....	428
8.8	Schleifscheiben für das Vollschnittschleifen.....	430
8.9	Oberflächenqualität beim Vollschnittschleifen.....	433
8.10	Profilierverfahren für Vollschnittschleifscheiben.....	434
8.11	Kühlschmierstoffe (KSS) für das Vollschnittschleifen.....	435
8.12	Ist-Zustand des Vollschnittschleifens und Zukunftsaussichten.....	436
8.13	Zusammenfassung von Kapitel 8.....	438
<b>9</b>	<b>Aussenrund- und Innenrund-Schältschleifen</b> .....	<b>439</b>
9.1	Allgemeines zum Aussen- und Innenrundschältschleifen.....	439
9.2	Aussen- und Innenrund-Längsschleifen.....	439
9.3	Schältschleifen – eine Alternative zum Hartdrehen.....	441
9.4	Aussenrund-Umfangs-Schältschleifen AUL(S).....	442

9.5	Planungs- und Praxishinweise für das Aussenrund-Schälschleifen .....	445
9.5.1	Wichtige Grössen und Zusammenhänge AUL(S) .....	446
9.6	Anwendungshinweise und Beispiele (Schälschleifen) .....	446
9.7	Innenrund-Umfangs-Schälschleifen IUL(S) .....	447
9.8	Praxishinweise für das Innenrund-Schälschleifen .....	451
9.8.1	Wichtige Grössen und Zusammenhänge IUL(S) .....	452
9.9	Schnittgeschwindigkeiten für das Schälschleifen .....	453
9.10	Schleifscheiben für das Schälschleifen .....	454
9.11	Kühlschmierstoffe für das Schälschleifen .....	456
9.12	Anwendungsbeispiel AUL(S) .....	457
9.13	Zusammenfassung von Kapitel 9 .....	461
<b>10</b>	<b>Hochgeschwindigkeitsschleifen (HSG und HEDG) .....</b>	<b>463</b>
10.1	Allgemeines zum Hochgeschwindigkeitsschleifen .....	463
10.2	Hochgeschwindigkeits- und konventionelles Schleifen .....	464
10.3	Hochgeschwindigkeits- und Hochleistungsschleifen .....	469
10.4	Wärme in der Kontaktzone (Hochgeschwindigkeitsschleifen) .....	470
10.5	Typische Merkmale der Hochgeschwindigkeitstechnologie .....	470
10.6	Anforderungen an Hochgeschwindigkeits-Schleifmaschinen .....	471
10.7	Kühlschmierstoffe für das Hochgeschwindigkeitsschleifen .....	472
10.8	Schleifscheiben für das Hochgeschwindigkeitsschleifen .....	474
10.9	Schleifverfahren und Anwendungsmöglichkeiten .....	475
10.10	Vorteile und Zukunft des Hochgeschwindigkeitsschleifens .....	476
10.11	Darstellung der wichtigsten Hochgeschwindigkeits-Merkmale .....	476
10.12	Hochgeschwindigkeitsschleifen wirtschaftlich relativ definiert .....	478
10.13	Vorteile des Hochgeschwindigkeitsschleifens .....	479
10.14	Planung und Vorbereitung eines HSG-Prozesses .....	480
10.15	Anwendungen der verschiedenen Leistungsverfahren .....	481
10.16	Zusammenfassung von Kapitel 10 .....	482
<b>11</b>	<b>Wichtige Merkmale der Schleiftechnik .....</b>	<b>483</b>
11.1	Allgemeines zu den Merkpunkten .....	483
11.2	Übersicht „Wichtige Merkmale der Schleiftechnik“ .....	484
11.3	Zerspanung allgemein und schleiftechnisch .....	484
11.4	Einflussgrössen und ihre Zusammenhänge .....	486
11.5	Wichtige Hinweise zu Schleifscheiben und deren Einsatz .....	490
11.6	Konditionieren (Abrichten und Profilieren) .....	493
11.7	Kühlschmierstoffe (Lösungen, Emulsionen, Schleiföle, Additive) .....	498
11.8	Wartung von Kühlschmierstoffen .....	501
11.9	Filtersysteme und Kühlschmierstoff-Versorgungsanlagen .....	502
11.10	Kühlschmierstoffbemessung und -zuführung (Düsen) .....	504
11.11	Schwingungen, Vibrationen und der Ruck .....	506
11.12	Anfunk-Steuerungen – durch Kraft, Leistung oder AE .....	510



11.13	Oberflächenrauheitsmessungen .....	511
11.14	Aufbauschnitten (Kaltschweißungen).....	512
11.15	Schleifkommas – eine schlechte Oberflächenqualität.....	513
11.16	Schleifbrand oder thermische Randzonenschädigung .....	516
11.17	Eigenspannungen in der geschliffenen Randzone .....	519
11.18	Verschiedenes (Merkmale) .....	520
11.19	Zusammenfassung von Kapitel 11 .....	522
<b>12</b>	<b>Schlusswort des Autors .....</b>	<b>525</b>
<b>Anhang A</b>	<b>Begriffe, Abkürzungen und Einheiten .....</b>	<b>529</b>
A1	Begriffe, Abkürzungen und Einheiten.....	529
A2	Abkürzungen, Begriffe und Einheiten.....	536
<b>Anhang B</b>	<b>Mathematikformeln (Repetitorium).....</b>	<b>543</b>
B1	Mathematikformeln (Repetitorium) .....	543
B2	Wichtige Vereinbarungen in der Mathematik.....	544
B3	Mathematische Grundbegriffe – die sieben Grundrechnungsarten .....	546
B4.0	Umstellung von einfachen Formeln (Gleichungen) .....	546
B4.1	Formelumstellung von Summen .....	547
B4.2	Formelumstellung von Subtraktionen .....	547
B4.3	Formelumstellung von Multiplikationen.....	547
B4.4	Formelumstellung von Divisionen.....	547
B4.5	Formelumstellung von einer Potenz und eines Produkts.....	548
B4.6	Formelumstellung einer Potenz und eines Quotienten.....	548
B4.7	Formeln mit Produkten, Quotienten, Summen und Differenzen .....	549
B5	Griechisches Alphabet .....	551
B6	Zusammenfassung des Mathe-Repetitoriums .....	553
<b>Anhang C</b>	<b>Quellenverzeichnis .....</b>	<b>555</b>
<b>Index .....</b>	<b>.....</b>	<b>559</b>