



Leseprobe

Hans-Michael Beier, Reinhard Nothnagel

Praxisbuch Entgrattechnik

Wegweiser zur Gratminimierung und Gratbeseitigung für Konstruktion  
und Fertigung

ISBN (Buch): 978-3-446-44383-9

ISBN (E-Book): 978-3-446-44449-2

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-44383-9>

sowie im Buchhandel.

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>Charakterisierung und Definition des Grats</b>	<b>17</b>
2.1	Definition des Grats	17
2.2	Ursachen der Gratentstehung	18
2.2.1	Allgemeine Betrachtungen	18
2.2.2	Urformen	19
2.2.3	Umformen	21
2.2.4	Trennen	22
2.2.4.1	Zerteiltechnische Trennverfahren	22
2.2.4.2	Spanende Trennverfahren	23
2.2.5	Abtragende Verfahren	24
2.2.6	Fügen	25
2.3	Charakterisierung des Grats	25
2.3.1	Grundlagen	25
2.3.1.1	Grat in Form einer Geraden	26
2.3.1.2	Grat in gekrümmter Form	27
2.3.2	Gratlage	27
2.3.2.1	Erläuterungen	28
2.3.3	Darstellung der Gratarten	29
2.4	Reproduzierbarkeit von Gratkenngößen	29
2.5	Entgrataufgabe	32
2.5.1	Gratbeseitigung	33
2.5.2	Gratbeseitigung und Erzeugung zusätzl. geometr. Formen	33
2.6	Mathematisch-technologische Gesamtbetrachtung	33
2.6.1	Ziel der Betrachtung	33
2.6.2	Gesamtbetrachtung	34

<b>3</b>	<b>Entgratgerechtes Gestalten und Fertigen</b> .....	<b>39</b>
3.1	Entgratziele .....	39
3.2	Empfehlungen zur entgratgerechten Gestaltung .....	41
3.2.1	Grundlegende Zusammenhänge .....	41
3.2.2	Allgemeine Empfehlungen .....	41
3.2.3	Gestaltungsregeln für den Konstrukteur .....	43
3.2.4	Gestaltungsregeln für den Fertigungsplaner .....	45
3.2.5	Spezifische Gestaltungsregeln für das Urformen .....	45
3.2.6	Spezielle Gestaltungsregeln für das Umformen .....	47
3.2.7	Gratminimierung beim Spanen .....	47
3.2.7.1	Gestaltungsregeln .....	47
3.2.7.2	Gratminimierung beim Bohren .....	49
3.2.8	Bearbeitungsabfolge .....	51
3.3	Gratminimierung und Gratvorhersage bei der Zerspanung .....	51
3.3.1	Werkstoffeinfluss .....	51
3.3.1.1	Gratneigung von Werkstoffen .....	51
3.3.1.2	Duktile Werkstoffe mit ausgeprägter Streckgrenze .....	52
3.3.1.3	Werkstoffe ohne ausgeprägte Streckgrenze.....	53
3.3.1.4	Spröde Werkstoffe mit minimaler Bruchdehnung.....	54
3.3.2	Rechnerische Prognose der Gratdicke .....	55
3.3.2.1	Zielstellung des Vorhersagemodells .....	55
3.3.2.2	Grundlagen .....	55
3.3.2.3	Modellgleichung und Einflussgrößen .....	56
3.3.2.4	Ergebnisse und Anwendung .....	58
3.3.2.5	Erweiterung auf Kantenwinkel ungleich $90^\circ$ .....	61
3.3.2.6	Abschätzung der Grathöhe .....	62
3.3.2.7	Praktische Bedeutung der Prognose.....	63
<b>4</b>	<b>Allgemeine Betrachtungen zum Entgraten</b> .....	<b>65</b>
4.1	Präzisierung der Entgrataufgabe oder des Entgratproblems .....	65
4.2	Eigenschaften der Gratbasis .....	65
4.3	Kräfte und Bewegung zwischen Grund- und Gratkörper .....	69
4.3.1	Nichtmechanische Kräfte .....	70
4.3.2	Mechanische Kräfte .....	70
4.3.2.1	Kräfte durch Mikrobewegung .....	70
4.3.2.2	Kräfte durch Makrobewegung.....	70
4.3.3	Kräfte durch Kombinationsbewegungen .....	71
4.4	Präzisierung des Entgratproblems durch Fragebögen .....	71
4.5	Vorgehensweise zur Auswahl des Entgratverfahrens .....	71

<b>5</b>	<b>Entgratverfahren der Zerteiltechnik</b>	<b>73</b>
5.1	Abschlagen	73
5.2	Brechen	74
5.2.1	Makrobrechen mit starren Werkzeugen	74
5.2.2	Makrobrechen mit nichtstarren Werkzeugen	74
5.2.3	Mikrobrechen mit nichtstarren Werkzeugen	75
5.3	Trommeln	78
5.4	Keilschneiden oder Meißeln	79
5.5	Messerschneiden	80
5.5.1	Werkzeuge mit spitzem Keilwinkel	80
5.5.2	Werkzeuge mit großem Keilwinkel	80
<b>6</b>	<b>Verfahren mit geometrisch bestimmter Schneide</b>	<b>83</b>
6.1	Drehen	83
6.2	Bohren und Senken	85
6.3	Fräsen	87
6.4	Hobeln/Stoßen	89
6.5	Feilen	91
6.6	Bürstspanen	91
6.7	Robotereinsatz und Kombination von Entgratverfahren	94
6.8	Spezielle Handentgratwerkzeuge	97
<b>7</b>	<b>Verfahren mit geometrisch unbestimmter Schneide</b>	<b>99</b>
7.1	Schleifen	99
7.1.1	Schleifen mit rotierender Scheibe	100
7.1.1.1	Schleifkörper	100
7.1.1.2	Schleifmaschinen	104
7.1.2	Schleifen mit Bändern	105
7.1.3	Verfahrensbewertung	106
7.1.4	Anpassungs- und Optimierungsmöglichkeiten	107
7.1.4.1	Schleifkörper	107
7.1.4.2	Verfahrensvarianten	107
7.1.4.3	Industrieroboter- und Manipulatoreinsatz	108
7.2	Gleitspanen, Gleitschleifen	109
7.2.1	Verfahrensvarianten	109
7.2.2	Verfahrenseigenschaften	113
7.3	Druckfließläppen	115
7.4	Tauchläppen	120
7.5	Strahlspanen	121

7.5.1	Entgratstrahlspanen mit festem Strahlmittel .....	121
7.5.1.1	Beschleunigung durch Düsen .....	123
7.5.1.2	Beschleunigung mit Schleuderrädern .....	124
7.5.2	Strahlspanen mit flüssigem Strahlmittel .....	128
7.5.2.1	Strahlspanen ohne Abrasivmittelzusatz .....	128
7.5.2.2	Anwendung des Hochdruckwasserstrahlens .....	132
7.5.2.3	Strahlspanen mit Abrasivmittelzusatz .....	134
7.5.2.4	Verfahrenseinschätzung .....	135
7.6	Magnetabrasives Entgraten .....	136
7.7	Entgraten durch Schwingungen .....	136
7.7.1	Niederfrequente Schwingungen .....	136
7.7.2	Hochfrequente Schwingungen .....	137
<b>8</b>	<b>Entgraten durch Abtragen .....</b>	<b>139</b>
8.1	Thermisches Entgraten .....	139
8.1.1	Thermisches Entgraten durch einen festen Körper .....	139
8.1.2	Thermisches Entgraten durch Flüssigkeit .....	140
8.1.3	Thermisches Entgraten durch Gas .....	140
8.1.3.1	Schmelzschnitten mit Warmgas .....	140
8.1.3.2	Entgraten mittels Brennschneidens .....	141
8.1.3.3	Entgraten durch Flämmen .....	141
8.1.3.4	Entgraten durch Pulverbrennschneiden .....	142
8.1.4	Thermisches Abtragen durch elektrische Gasentladungen .....	142
8.1.4.1	Funkerosives Entgraten .....	142
8.1.4.2	Entgraten mit Lichtbogen und rotierendem Werkzeug .....	144
8.1.4.3	Entgraten mit Lichtbogen und nichtrotierendem Werkzeug .....	145
8.1.4.4	Entgraten mit Plasmastrahlen .....	146
8.1.4.5	Entgraten mit magnetisch bewegtem Lichtbogen .....	148
8.1.5	Thermisches Entgraten durch Strahlen .....	148
8.1.5.1	Entgraten mit Lichtstrahlen .....	149
8.1.5.2	Entgraten mit Laserstrahlen .....	149
8.1.5.3	Entgraten mit Elektronenstrahl .....	150
8.1.6	Thermisches Entgraten durch Bewegung .....	151
8.1.6.1	Entgraten durch Reibtrennen .....	151
8.1.7	Widerstandsentgraten durch elektrischen Strom .....	152
8.1.7.1	Widerstandsentgraten .....	153
8.1.7.2	Entgraten durch Induktion .....	155
8.1.8	Elektromechanisches Entgraten .....	155

8.1.8.1	Schleifen mit elektrisch leitfähigen Scheiben .....	156
8.2	Chemisches Entgraten .....	157
8.2.1	Entgraten durch Ätzen .....	157
8.2.2	Thermisches Entgraten .....	157
8.3	Entgraten durch elektrochemisches Abtragen .....	163
8.3.1	Verfahrensgrundlage .....	163
8.3.2	Elektrochemisches Entgraten .....	165
8.3.2.1	Elektrochemisches Formentgraten .....	165
8.3.2.2	Elektrochemisches Entgraten mit Segmentkatode .....	167
8.3.2.3	Elektrochemisches Badentgraten .....	167
8.3.2.4	Elektrochemisches Entgraten mit rotierender Bürste .....	168
8.3.3	Elektrochemisches Entgraten durch Ätzen .....	170
<b>9</b>	<b>Spanende Werkzeuge für den maschinellen Einsatz .....</b>	<b>173</b>
9.1	Allgemeine Anforderungen für die Anwendung .....	173
9.1.1	Entgrataufgaben .....	174
9.1.2	Grundprinzipien und Funktionsmerkmale .....	175
9.2	Arbeitsprinzipien .....	177
9.2.1	Rückwärts- und Vorwärtsentgraten .....	177
9.2.2	Entgraten von Querbohrungen .....	177
9.3	Beispiele für Entgratwerkzeuge .....	178
9.3.1	Entgratwerkzeuge mit federnd oder elastisch gelagerten Schneiden..	179
9.3.1.1	Entgratwerkzeug COFA .....	179
9.3.1.2	Faswerkzeug SNAP .....	179
9.3.1.3	Entgratwerkzeug mit elastomergelagerten Schneiden .....	180
9.3.1.4	Entgratwerkzeug BurrOff .....	180
9.3.1.5	Entgratwerkzeug GMO .....	181
9.3.1.6	Entgratwerkzeug Burraway .....	181
9.3.1.7	Entgratwerkzeug zur Durchdringungsentgratung .....	181
9.3.2	HSD-Entgratwerkzeuge mit druckkontrollierten Schneiden .....	182
9.3.3	Einsatz von Entgratwerkzeugen zum konturgerechten Entgraten von Kanten .....	183
<b>10</b>	<b>Qualitätssicherung beim Entgraten .....</b>	<b>185</b>
10.1	Qualität der Gratbeseitigung .....	185
10.2	Qualitätseinfluss am Werkstück .....	187
10.3	Gerätetechnik zur Kantendarstellung .....	187
	<b>Stichwortverzeichnis .....</b>	<b>189</b>
	<b>Literatur .....</b>	<b>193</b>

# Vorwort

Nachdem 1999 das „Handbuch Entgrattechnik“ herausgegeben wurde, wird nun – fünfzehn Jahre später – eine vollständig überarbeitete neue Ausgabe des Fachbuches unter dem Titel „Praxisbuch Entgrattechnik“ aufgelegt.

Die Veränderung des Buchtitels spiegelt die veränderte inhaltliche Gestaltung wider. Der Schwerpunkt liegt auf der praxisnahen Darstellung mit wissenschaftlichem Hintergrund. Auf spezielle Details wird bei der Vorstellung der Entgratverfahren und ihrer Varianten bewusst verzichtet. Der Einsatz der Entgratverfahren wird im Speziellen von zahlreichen Details bestimmt. Somit sind allgemeine Schlussfolgerungen für viele Einsatzfälle zwar möglich, können aber nicht umfassend sein.

In diese Ausgabe wurde ein Abschnitt zur praxisnahen rechnerischen Gratvorhersage aufgenommen. Basis der Prognosen sind die relevanten Kenngrößen der spanenden Umformtechnik und Mechanik. Die Prognosen sollen bei dem Entwurf der Werkstücke, der Planung des Fertigungsprozesses und letztlich der Auswahl des geeigneten Entgratverfahrens unterstützen. Eine wichtige Komponente bis zum effizienten Entgraten ist die Gratminimierung. Strategien zur Gratminimierung und praktische Hinweise werden im Buch gegeben.

Das Spezialgebiet Entgraten entwickelt sich in kleinen Schritten weiter. Es ist erkennbar, dass bei vielen Entwicklungen bestehende Technologien aufgegriffen, weiterentwickelt und angepasst werden.

Die Autoren danken dem Verlag für die langjährige Zusammenarbeit. Ein besonderer Dank gilt auch den Unternehmen, die uns mit aktuellem Bildmaterial und Informationen unkompliziert unterstützt haben.

Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Michael Beier

Dr.-Ing. Reinhard Nothnagel

# 4

## Allgemeine Betrachtungen zum Entgraten

### ■ 4.1 Präzisierung der Entgrataufgabe oder des Entgratproblems

Bevor die einzelnen Entgratverfahren im Abs. 5 vorgestellt werden können, sollen zunächst relevante Faktoren allgemein betrachtet werden. Die Tabelle 4.1 enthält eine Auswahl wichtiger werkstofflich-physikalisch-chemischer Eigenschaften von Werkstoffen, Tabelle 4.2 enthält mathematisch-physikalische Merkmale des Grates.

Die Analyse der Eigenschaften dient dem Ziel, bekannte bzw. zur Verfügung stehende Lösungen bewerten zu können, diese anzupassen, oder die Entwicklung neuer Entgratverfahren zu erleichtern. Die Merkmale in den Tabellen 4.1 und 4.2 können nicht allumfassend dargestellt werden. Auch weitere Faktoren können bestimmend wirken. Beispielsweise kann die Reaktionsfähigkeit mit Sauerstoff bei höheren Temperaturen, bezeichnet als Brennschneidbarkeit von Fe-C-Legierungen, oder die Sprödbrechneigung vieler Werkstoffe bei tiefen Temperaturen von Bedeutung sein. Neben den physikalischen und mathematischen Faktoren spielen natürlich auch fertigungstechnische und wirtschaftliche Faktoren eine entscheidende Rolle. Diese sind z. B. die Masse oder der notwendige Masseabtrag, Abmessungen des Werkstücks und die zu entgratende Stückzahl.

Für die Entwicklung oder die Anpassung von Entgratverfahren ist es erforderlich, viele der Eigenschaften des Werkstoffs zusammenzustellen. Diese Zusammenstellung ist ein wichtiger methodischer Teil der Analyse und führt zu Lösungsansätzen.

### ■ 4.2 Eigenschaften der Gratbasis

Der Berührungsort zwischen Grundkörper und Gratkörper ist identisch mit der Gratbasis. Das wesentliche Ziel des Entgratens ist die Trennung des Grats vom Grundkörper an diesem Ort. Die Beschaffenheit der Gratbasis ist somit von großer Bedeutung weil sie den Zusammenhalt zwischen Grund- und Gratkörper bestimmt und dieser sehr unterschiedlich sein kann.



**Tabelle 4.1** Auswahl einiger wichtiger werkstofflicher Faktoren der Ausgangssituation

Eigenschaft	Beispiele
<b>Mechanische Eigenschaften</b>	
Dehnung	
gering	EN-GJL, Glas, Holz, Keramik
ausreichend	Al, unlegierter Stahl
hoch	EN-GJS, niedrig- und hochlegierter Stahl, G-Cu, Cu
Härte	
Zugfestigkeit	
<b>Physikalisch-chemische Eigenschaften</b>	
Werkstoffe, die zu unterschiedlichen Gefügen zwischen Grat- und Grundkörper neigen	
durch Abkühlungsvorgänge	EN-GJL, EN-GJS
durch Kaltverfestigung	C-Stähle, Al-Legierungen
durch Trennen, Umformen	
Werkstoffe, die keine unterschiedlichen Gefüge zwischen Grat und Grundkörper bilden	
	Sinterwerkstoffe, Plaste; G-Al, G-Cu
Schmelzpunkt - Erweichungspunkt	
gering (< 700 °C)	G-Al, Al, Zn
relativ hoch (700 ... 1300 °C)	EN-GJL, Cu, G-Cu
hoch (> 1300 °C)	Stahl, GS, Keramik, Glas
Elektrischer Widerstand	
ungünstig	X-GS, Keramik, EN-GJS
günstig	G-Cu, Cu, G-Al, Al
Wärmeleitfähigkeit	
ungünstig	Holz, Glas, Keramik, X-GS
günstig	G-Al, Al, Zn, Cu, G-Cu

Es ist sofort einsehbar, dass mit wesentlich mehr Aufwendungen für das Entgraten zu rechnen ist, wenn Grat und Werkstück homogen miteinander verbunden sind (z. B. Grat an Gussstücken), als bei einer Gratbasis, die als inhomogen (z. B. starke äußere oder innere Kerbwirkungen) zu charakterisieren ist. In der Tabelle 4.3 sind Eigenschaften der Gratbasis in Abhängigkeit von von Hauptgruppen der Fertigungsverfahren zusammengestellt.

**Tabelle 4.2** Auswahl einiger wichtiger mathematisch-physikalischer Faktoren der Ausgangssituation

Eigenschaft	Beispiele
<b>Mathematische Eigenschaften</b>	
Anzahl der geometrischen Grundfunktionen des Gratbasisprofils	
klein	4 Geraden, 4 Kreisfunktionen
mittel	10 Geraden, 10 Kreisfunktionen
groß	29 Geraden, 26 Kreisfunktionen
<b>Reproduzierbarkeit der Gratbasis</b>	
Nennmaßtoleranz	
klein	$\leq 0,5$ mm
mittel	0,5 mm ... 1 mm
groß	> 1 mm
<b>Gratabmessungen</b>	
Gratdicke	
klein	$\leq 0,3$ mm
mittel	0,3 mm ... 1 mm
groß	> 1 mm
Grathöhe	
Gratlänge	
Relative Gratoberfläche (Gratoberfläche/Gratvolumen)	
Relatives Gratvolumen (Gratvolumen/Grundkörpervolumen)	
<b>Restgratabmessungen</b>	
Restgratdicke und Restgrathöhe	
klein	0 ... 0,1 mm
mittel	0,1 mm ... 0,5 mm
groß	> 0,5 mm
Abtrag	Restgratdicke bzw. Restgrathöhe < 0

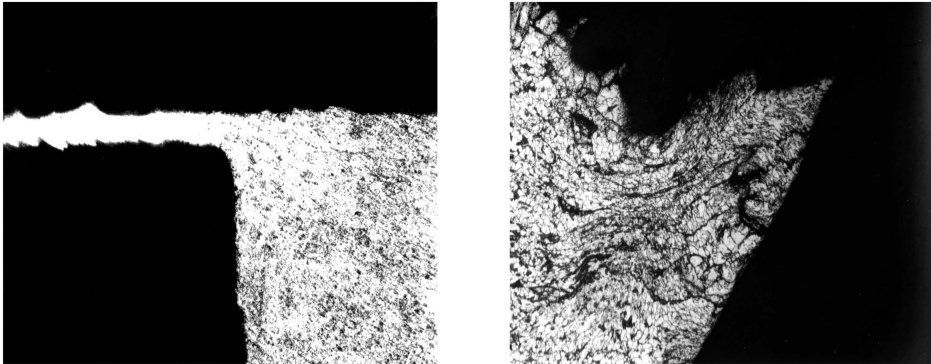
**Tabelle 4.3** Der Zustand des Grat- und Grundkörpers an der Gratbasis in Abhängigkeit von wichtigen Fertigungsverfahren (vereinfacht)

Hauptgruppe Fertigungsverfahren	Zustand an der Gratbasis		Bemerkung
	Zusammenhalt		
	äußerlich	innerlich	
<b>Urformen</b>			
Gießen	fest	fest	Ausgangszustand Schmelze <sup>1)</sup>
Sintern	fest	evtl. gemindert	Ausgangszustand Pulver
<b>Umformen</b>			
Gesenkschmieden	fest	fest	Ausgangszustand fester Stoff
<b>Trennen</b>			
Zerteilen/Spanen (Werkstoffe mit geringer Dehnung)	gemindert bis fest		Der Zustand hängt von vielen vorher wirkenden Faktoren ab.
Zerteilen (Werkstoffe mit hoher Dehnung)	fest	fest	z.B. Grat nach dem Scherschneiden
Spanen (Werkstoffe mit hoher Dehnung)	Verschleißmarkenbreite zu Standzeitbeginn gleich Null. Umformvorgänge wirken während der Spanbildung gering <sup>2)</sup> .		
	gemindert	fest	
	Verschleißmarkenbreite zu Standzeitende größer Null. Umformvorgänge wirken während der Spanbildung stark <sup>2)</sup> .		
	fest	fest	
<b>Fügen</b>			
Abbrennstumpfschweißen Reibschweißen	fest	fest	1)

1) Zustand – fest / fest – schließt werkstoffliche Veränderungen des Grates nicht aus.

2) Eine bestimmte Änderung der Verschleißmarkenbreite wird aus wirtschaftlichen Gründen zugelassen. Das führt zu veränderlichen Gratabmessungen und Zusammenhalt zwischen Grat und Werkstück.

Die Entgratverfahren setzen an der Gratbasis, dem Berührungsort zwischen Grundkörper und Grat an. Dort wirken die Werkzeuge, Medien oder sonstige Energien. Wenn der Grat nahezu vollständig entfernt werden soll und kein Abtrag am Grundkörper erfolgt, so ist die Oberflächenbeschaffenheit von Grat und Grundkörper an der Gratbasis bei der Auswahl der Verfahren zu beachten [28]. Diese kann durch Anhaftungen, wie Fett, Oxidschichten oder Formstoff, so ungünstig sein, dass viele Entgratverfahren nicht oder nur eingeschränkt angewendet werden können. So bewirkt z. B. eine dicke Oxidschicht erhebliche Störungen des Messerschneidens (Stanzen). Die Standzeit des Werkzeugs sinkt durch hohen Verschleiß, wodurch das Fertigungsverfahren uneffektiv wird.



**Bild 4.1** Zusammenhalt am Berührungsort Werkstück/Grat (links: Guss, rechts: Sinterwerkstoff)

Bild 4.1 zeigt typische Zustände am Berührungsort Werkstück/Grat. Das Gefüge kann dort sehr unterschiedliche Eigenschaften aufweisen. So zeigt das Bild 4.1 links ein gegossenes Teil mit homogener jedoch unterschiedlicher Gefügeausbildung und rechts ein gesintertes Teil mit Kerbstellen.

## ■ 4.3 Kräfte und Bewegung zwischen Grund- und Gratkörper

Zum Entgraten ist eine Bewegung zwischen Grat und Grundkörper notwendig. Diese Bewegung kann direkt an der Gratbasis erfolgen oder bis zur Gratbasis voranschreiten. Richtung und Geschwindigkeit bestimmen die Effektivität des Entgratens. Die notwendige Kraft wird durch Werkzeuge, Wirkmedien oder -energien aufgebracht. Wird dabei nur ein Teilbereich des Gratbasisprofils gezielt erfasst, wird dies als Selektiventgraten bezeichnet. Zielt die Kraft auf das gesamte Gratbasisprofil, wird dies als Gesamtentgratung charakterisiert. Die Kräfte überstreichen einen großen Bereich. Er reicht von sehr kleinen Kräften, die beim Auflösen eines Stoffs vorhanden sind, bis hin zu Kräften, die die Bruchgrenze zwischen Grund- und Gratkörper übersteigen. In den folgenden Abschnitten werden auftretende Kräfte und Bewegungen erläutert.

### 4.3.1 Nichtmechanische Kräfte

Als Bewegung infolge nichtmechanischer Kräfte wird die ungerichtete Bewegung von Atomen, Molekülen, Ionen oder Kristallen des Gratkörpers verstanden. Sie wirkt an der Gratoberfläche nach außen. Sie entsteht durch unmittelbare Einwirkungen von Medien oder Energien. Beispiele hierfür sind das chemische, elektrochemische oder thermisch-chemische Auflösen sowie chemische Reaktionen. Die aus diesen Vorgängen erforderlichen Zeiten zur Gratbeseitigung sind aus der Auflöse- bzw. Reaktionsgeschwindigkeit und den Gratkörperabmessungen ableitbar.

### 4.3.2 Mechanische Kräfte

Mechanische Kräfte zum Entgraten werden durch Werkzeuge aufgebracht. Je nach Art der Werkzeuge werden Mikro- oder Makrobewegungen erzeugt.

#### 4.3.2.1 Kräfte durch Mikrobewegung

Unter Mikrobewegung wird die ungerichtete Bewegung von Werkzeugen verstanden. Die Kraft auf den Grat wird durch formlose Stoffe aufgebracht. Die Stoffe können sowohl eine geometrisch bestimmte als auch unbestimmte Form haben. Die Stoffteilchen haben dabei eine geringe Masse. Die Kraft wirkt von außen direkt auf den Gratkörper. Die Stoffteilchen können als Werkzeuge mit geringer Masse, großer Anzahl und oft abrasiver Eigenschaften aufgefasst werden. In speziellen Fällen kann der zu entgratende Grundkörper auch gleichzeitig das Werkzeug sein.

Die Mikrobewegungen erfolgen demnach durch Werkzeuge, die einzeln die Geometrie des Gratbasisprofils nicht abbilden. Beispiele für Verfahren sind das Gleitschleifen, Trommeln, Strahlspanen oder Lappen. Die ableitbaren Entgratzeiten (Grundzeiten) der Verfahren sind abhängig von der Gratkörpermasse und von Masse und Anzahl der einwirkenden Werkzeuge.

#### 4.3.2.2 Kräfte durch Makrobewegung

Als Makrobewegung wird die gerichtete Bewegung von Werkzeugen bezeichnet. Die Werkzeuge bilden Geometrie des Gratbasisprofils ganz oder auch nur teilweise ab. Die Kraft ist vorwiegend auf den Gratkörper gerichtet. Dabei wirken die Werkzeuge direkt ein. Verfahren sind beispielsweise das Messerschneiden (Stanzen), Schleifen, Bürsten oder thermische Trennverfahren. Die aus den Makrobewegungsabläufen ableitbaren Entgratzeiten (Hauptzeiten) sind abhängig von der Geschwindigkeit der Werkzeuge, der Anzahl der Formelemente, der Positioniergeschwindigkeit und den Abmessungen der Gratkörper. Die Makrobewegung kann in den drei räumlichen Richtungen erfolgen. Je nach Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit ergeben sich mit der Gratlänge die Entgratzeiten.

### 4.3.3 Kräfte durch Kombinationsbewegungen

Die Vor- und Nachteile der einzelnen Bewegungen haben zu einer Vielzahl von Varianten von Fertigungsverfahren geführt. Bei der Bewegung werden nichtmechanische Kräfte häufig durch mechanische Kräfte überlagert. Die dabei zu lösende Aufgabe besteht darin, die die Bewegung ausführenden Fertigungsmittel vor einer ungünstigen Beeinflussung durch chemische, thermische oder andere Wirkenergien bzw. -medien zu schützen.

## ■ 4.4 Präzisierung des Entgratproblems durch Fragebögen

In [29] werden Fragebögen in Form von Verfahrenssteckbriefen vorgestellt. Sie dienen der Entscheidungsfindung zur Auswahl des Entgratverfahrens. Nach [29] konzentrieren sich die Fragen auf folgende Schwerpunkte des Entgrats:

- Außengrat, Innengrat,
- Restgrat, Abtrag an der Kante, neuer Grat
- gezielt/ungezielt arbeitendes Entgratverfahren und Verfahrenshauptgruppen,
- Werkstoffeignung (Fe-Metalle, NE-Metalle, Kunststoff usw.),
- Werkstückhandhabung,
- Vorbehandlung/Nachbehandlung des Werkstücks,
- Gefügeveränderungen am Werkstück durch Entgraten,
- Verfahrensgrenzen.

Die Fragen werden ggfs. ergänzt. Die Präzisierung ist besonders dann nützlich, wenn zwei oder drei Entgratverfahren in die engere Auswahl kommen. Erheblicher Aufwand entsteht, falls viele Entgratverfahren betrachtet werden müssen.

## ■ 4.5 Vorgehensweise zur Auswahl des Entgratverfahrens

Die Auswahl des Entgratverfahrens stellt eine vorrangige Aufgabe dar. In Tabelle 4.4 ist eine Schrittfolge zum Lösen von Entgratproblemen dargestellt. Diese Darstellung geht über die Ansätze, die in [30, 31] aufgezeigt werden, hinaus. Sie umfasst mathematische, ursächliche, gestalterische, werkstoffliche und qualitative Faktoren ergebnisorientiert aus fertigungsplanerischer und fertigungsverfahrensbezogener Sicht.

**Tabelle 4.4** Vorschlag einer umfassenden Vorgehensweise zur Auswahl des Entgratverfahrens

<b>1.</b>	<b>Entgrataufgabe: Beseitigung von Grat/Kantenbearbeitung</b>
	Kann Gratkörper bleiben? Anforderungen an Abmessungen des Restgrats, Sekundärgrat zulässig oder nicht, Fase, Kantengeometrie, Qualitätsfestlegung
1.1.	Gratkörpercharakterisierung
	Entgratprotokoll
	Geometrie des Gratbasisprofils, Länge, Breite, Höhe des Gratkörpers, Gratebenen, Gratlage, Zugänglichkeit, Toleranz des Gratbasisprofils
1.2.	Gratentstehung nach den Hauptgruppen der Fertigungsverfahren
	Zustand an der Gratbasis
<b>2.</b>	<b>Ursachen der Gratentstehung</b>
2.1.	Ursachenbeseitigung (Gratminimierung)
2.2.	Gratkörperwerkstoff, Gefügestand an der Gratbasis
<b>3.</b>	<b>Gratbeseitigung</b>
3.1.	Werkstückwerkstoff, Werkstoffzustand zum Zeitpunkt des Entgratens
3.2.	Oberflächenzustand des Werkstücks vor dem Entgraten
3.3.	Arbeitsgangfolgeveränderung: Gratminimierung; günstiges Gratbasisprofil, günstiger Gratkörperwerkstoff
3.4.	Allgemeines entgratgerechtes Gestalten, bezogen auf das Entgraten
3.5.	Prozessstufenkombination: Entgraten mit nachfolgenden Arbeitsgängen zusammenlegen
3.6.	Art der Relativbewegung zwischen Grund- und Gratkörper
3.7.	Sind thermische, chemische, mechanische, elektrische oder elektrochemische Einwirkungen auf den Werkstoff von Gratbasisprofil und Grundkörper möglich?
3.8.	Werkstückabmessungen
<b>4.</b>	<b>Entgratverfahrensauswahl in Abhängigkeit von Punkt 1-3</b>
4.1.	Grobauswahl der Entgratverfahren, nach den Fertigungsverfahrenshauptgruppen in Abhängigkeit der Punkte 2.2. und 3.7.
4.2.	Einflüsse des Entgratverfahrens auf die Gratbasis
4.3.	Einflüsse des Entgratverfahrens auf das Werkstück
4.4.	Günstigere Kantengestaltung bezogen auf das ausgewählte Entgratverfahren
<b>5.</b>	<b>Nachbehandlung des Werkstücks</b>
5.1.	Sekundärgrat ist zu beseitigen?
5.2.	Oberflächenverunreinigungen entfernen oder neutralisieren
<b>6.</b>	<b>Effizienzbetrachtung</b>
6.1.	Investitionskosten
6.2.	Arbeitskräftefreisetzung
6.3.	Laufende Kosten(Arbeitsmittel, Energien, Hilfsstoffe, Abfallentsorgung)
6.4.	Produktivitätssteigerung
6.5.	Verbesserung der Arbeitsbedingungen
6.6.	Vergleich zur vorherigen Entgrattechnologie
6.7.	Einsparungspotentiale

# Stichwortverzeichnis

## A

Abschlagen 73  
Abtragen 139, 157, 163  
Arc-Air 145  
Ätzen 157, 170  
Außengrat 28  
Auflösen 70

## B

Bürsten 91  
– elektrochemisch 168  
Badentgraten 167  
Bandschleifen 105  
Biegen 21  
Bohren 85  
Bohrungsaustritt 177  
Bohrungseintritt 177  
Brechen 73, 74  
Brennschneiden 141

## D

Drehen 83  
Druckfließklappen 115  
– Abtrag 117  
– Schleifmittel 119  
Druckluftstrahlen 123

## E

ECM 163  
ED-Entgraten 142  
Entgraten  
– Aufgabenstellung 34, 71  
– chemisch 157  
– elektrisch 152  
– elektrochemisch 163, 165  
– Elektronenstrahl 150  
– funkenerosiv 142  
– Grundlagen 69

– Induktion 155  
– Lichtstrahl 149  
– manuell 97  
– Prinzip 69, 70  
– Querbohrungen 177  
– Reibung 151  
– thermisch 157  
– thermisch-chemisch 157  
– thermisches 139  
– Ziel 32, 39  
entgratgerechtes Gestalten → Gestaltung  
Entgratprotokoll 34, 71  
Entgratstation 94  
Entgratstrahlspanen 121  
Entgratwerkzeug  
– BurrAway 181  
– BurrOff 180  
– COFA 179  
– elastomergelagerte Schneide 180  
– GMO 181  
– High-Speed-Deburring 182  
– HSD 182  
– Prinzipien 175  
– SNAP 179  
– spanend 173  
Explosionsentgraten 157

## F

Feilen 91  
Flämmen 141  
Fliehkraftgleitschleifen 110  
Formensenken 85  
Formentgraten 165  
Formfräsen 87  
Formschneide 84  
Formwerkzeuge 84  
Fräsen 87, 94  
Friktionstrennen 151



**G**

- Gefüge 20, 69
- Gesenschmieden 21
- Gestaltung 41
  - Fertigungsplanung 45
  - Konstruktion 43
  - Umformen 47
  - Urformen 45
  - Zerspanen 47
- Gießen 19
- Gleitschleifen 109
  - Abtrag 113
  - Schleifkörper 113, 114
- Gleitspanen 109
- GNB-Wert 51
- Grat
  - Definition 17, 25
  - Eigenschaften 65
  - erster Art → Primärgrat
  - Form 26, 34
  - Reproduzierbarkeit 18, 30
  - Zustand 69
  - zweiter Art → Sekundärgrat
- Gratbasis 65
- Gratbasisprofil 26, 34
- Gratbildung → Gratentstehung
- Gratdicke 26
  - Vorhersage 55, 63
- Gratentstehung 19, 20, 55
  - Einfluss 24, 65
  - Guss 20, 30
  - Kantenwinkel 61
  - Schneiden 23
  - Schneidkantenradius 57, 59, 60
  - Schweißen 25
  - Temperatureinfluss 57
  - thermisches Trennen 24
  - Umformen 21
  - Verschleiß 59
  - Werkstoffeigenschaften 24
  - Werkstoffeinfluss 29, 51
  - Zerspanen 23
- Grathöhe 26, 62
- Gratlänge 26
- Gratlängsprofil 26
- Gratlage 26, 27
- Gratminimierung 41, 43, 45, 47, 58
  - Abfolge 51
  - Bohren 49
  - Konstruktion 50
- Gratneigung 51

- Gratquerschnitt 26
- Gratvorhersage 51, 58
- Gussform 20

**H**

- Handentgrater 97
- Hobeln 89
- Hochdruckwasserstrahl 128, 132
  - Abrasivmittel 134

**I**

- Induktionsentgraten 155
- Innengrat 28

**K**

- Kanten
  - Merkmale 185
- Keilschneiden 79
- Keilwinkel 80
- Knabberschneiden 80, 89
- Kokille 19

**L**

- Laser 149
- Lichtbogen 144, 148
- Lichtbogen-Druckluftschneiden 145
- Lichtstrahl 149

**M**

- Magnetabrasiv 135
- Makrobrechen 73, 74
- Meißeln 79
- Messerschneiden 22, 80, 81
- Messtechnik 187
- Mikrobrechen 73, 75

**N**

- Nadelfräsen 92
- Nassdruckluftstrahlen 123
- Nibbeln 89

**P**

- Plasmastrahlen 146
- Primärgrat 23, 29
- Pulverbrennschneiden 142

**Q**

- Qualität 185
- Querbohrungen 177

**R**

- Rückwärtsentgraten 177
- rechnerisches Modell → Gratvorhersage

Reibtrennen 151

Roboter 94

## S

Scherschneiden 22, 73

Schleifen 99

– elektromechanisch 156

– Geschwindigkeit 101

– Zeitspanvolumen 107

Schleifkörper 100

Schleifmaschinen 104

Schleifmittel 100

Schmelzschnitten 140

Schneiden 80

Schneidkantenradius → Gratentstehung

Schwingungsentgraten 136, 137

Segmentkatode 167

Sekundärgrat 23, 29, 84, 85, 88

Senken 85, 177

Spritzguss 20

Stoßen 89

Strömungsschleifen

seeDruckfließläppen115

Strahlspanen 121, 128

– Schleuderrad 127

– Strahlmittel 122

Sublimationsschnitten 150

## T

Tauchgleitschleifen 110

Tauchläppen 120

– Schleifmittel 120

TEM 157

Toleranz 30

Trennen 81

Trennverfahren

– spanende 23

– zerteiltechnische 22

Trockendruckluftstrahlen 123

Trommelgleitschleifen 109

Trommeln 78

## U

Ultraschall 137

Umfangsschleifen 104

Umformen 21

Urformen 19

## V

Verfahren

– Auswahl 71

– Kombination 94

– spanend 83

– Zerteilen 73

Vibrationsgleitschleifen 109

Vorhersage 55

Vorwärtsentgraten 177

## W

Werkzeugschneide 57

Widerstandsentgraten 152

Winkelsenker 86

Wirkfuge 24

## Z

Zerspanen 23