



SCHLEIFTECHNISCHE GRUNDLAGEN

## Einleitung

Diese Schrift soll sowohl einen Überblick über den **Aufbau eines Schleifkörpers**, als auch über die **Grundgrößen des Schleifprozesses** geben.

Beides ist eng miteinander verknüpft.

Das Verfahren „Schleifen“ unterliegt ähnlichen Prinzipien, wie sie von anderen spanabhebenden Vorgängen bekannt sind. Das Werkzeug „Schleifkörper“ besteht aus Schleifkorn, Bindung und Poren und weist eine unregelmäßige Verteilung der Schneiden auf.

Im Gegensatz zu allen anderen Operationen wie Fräsen oder Drehen treten beim Schleifen negative Schneidwinkel auf, was zu ungünstigen Zerspanungsbedingungen führt.

Die richtige Wahl des Schleifkörperaufbaus und die geeigneten Schleifparameter ermöglichen dennoch eine effiziente und kostengünstige Bearbeitung eines Werkstückes durch Schleifen.

# Inhaltsverzeichnis

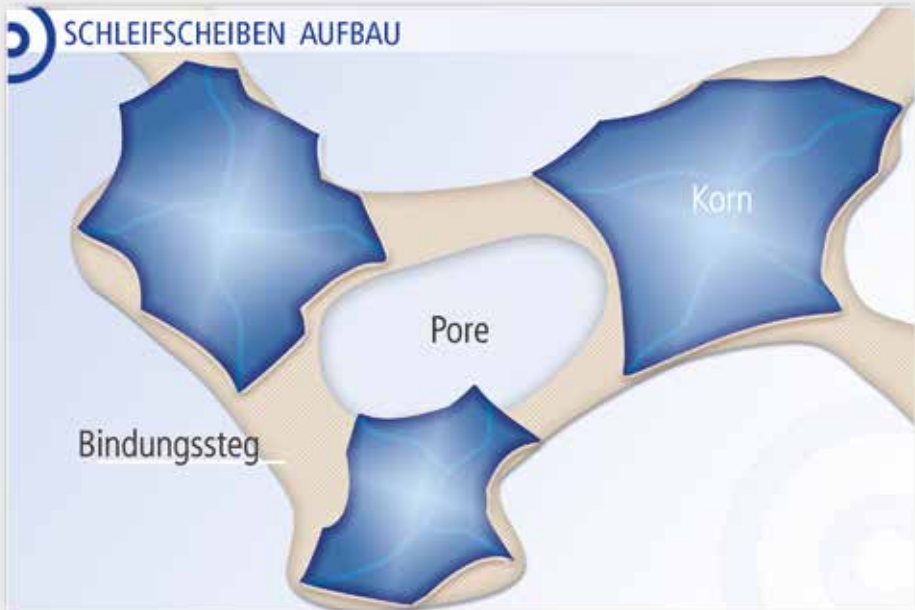
Statische Grundgrößen	S. 4
<ul style="list-style-type: none"><li>• Schleifkörperaufbau</li><li>• Das Schleifkorn</li><li>• Kornarten und Eigenschaften</li><li>• Bindung</li></ul>	S. 4 S. 5 S. 8 S. 12
Weitere Faktoren eines Schleifkörpers	S. 15
<ul style="list-style-type: none"><li>• Härte</li><li>• Struktur</li><li>• Porosität</li></ul>	S. 15 S. 16 S. 17
Dynamische Grundgrößen	S. 18
<ul style="list-style-type: none"><li>• Umfangsgeschwindigkeit <math>v_s</math> [m/s]</li><li>• Werkstückgeschwindigkeit <math>v_w</math> [mm/min] oder [m/min]</li><li>• Zustellung <math>a_e</math></li><li>• Spezifische Zerspanleistung <math>Q'_w</math></li><li>• Standzeit G-Faktor</li><li>• Geschwindigkeitsverhältnis <math>q</math></li></ul>	S. 21 S. 24 S. 25 S. 26 S. 28 S. 29
Schleifverfahren	S. 32
Abrichten / Konditionieren	S. 34
Kühlschmierung	S. 35
Häufig auftretende Prozessfehler	S. 37
Schleifkörperfertigung – Der Prozess	S. 39
Herstellung von Schleifwerkzeugen	S. 40
Grundformen einer Schleifscheibe	S. 43

# Statische Grundgrößen

## ■ Schleifkörperaufbau

Der Schleifkörper besteht aus:

- Schleifkorn
- Bindung
- Poren



## ■ Das Schleifkorn

Das Schleifkorn hat die Aufgabe, während des Schleifprozesses den Span zu bilden.

Es besitzt je nach Art des Schleifkornes eine unterschiedliche Anzahl von Schneiden, wobei diese geometrisch unbestimmt verteilt sind. Die Art des Schleifkornes wird durch das zu zerspanende Material bestimmt.



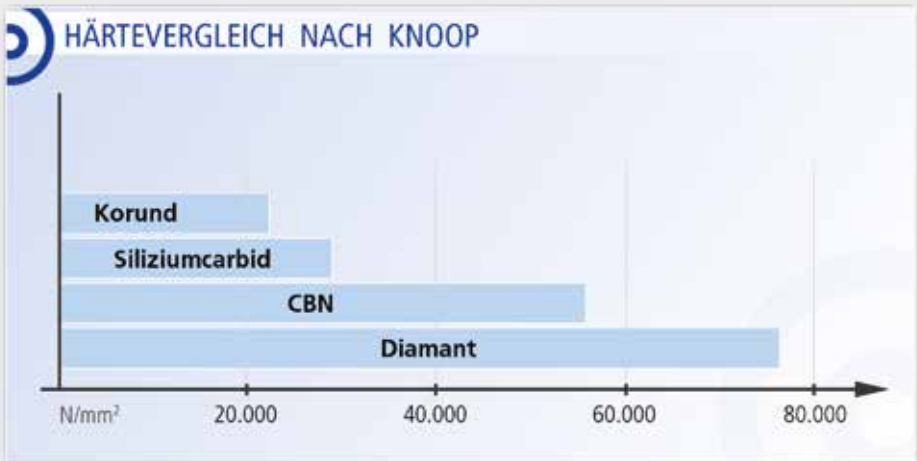
Es werden folgende Kornarten beim Schleifen verwendet:  
**Korund, Siliziumkarbid, Bornitrid und Diamant**

Die meisten Schleifmittel werden künstlich in industriellen Prozessen hergestellt. Man spricht bei Korunden und Siliziumkarbid von konventionellen Schleifmitteln, bei CBN und Diamant wegen ihrer großen Härte von Superhartschneidstoffen. Diamant besitzt die größte Härte aller bekannten Materialien. Langspanende Werkstoffe fordern den Einsatz von Korunden bzw. CBN. Sehr spröde und harte Werkstoffe werden mit Siliziumkarbid oder Diamant bearbeitet.



Die Härte der verschiedenen Kornarten lässt sich folgendermaßen reihen:

**Korunde < Siliziumcarbid < CBN < Diamant**




Die Größe der konventionellen Schleifkörner (Korund, Siliziumkarbid) wird in **mesh** angegeben.

Die Zahl der Maschen eines Siebes je inch (25,4 mm), durch welches das bezeichnete Korn gerade noch hindurchfällt, während es auf dem nächstfeineren Sieb liegen bleibt, bezeichnet die Korngröße in **mesh**.

**KORNGRÖSSE**

**Konventionelle Schleifkörnungen:** Bezeichnung mesh



$25,4 \text{ mm} = 1 \text{ inch}$

$25,4 \text{ mm} = 1 \text{ inch}$

*mesh* = Anzahl der Maschen / inch

**Superhartschleifstoffe:** Angabe der Korngröße in  $\mu\text{m}$

- D 126 = Diamant Korngröße 126  $\mu\text{m}$
- B 46 = CBN Korngröße 46  $\mu\text{m}$

## Richtwerte für das Schleifen mit konventionellen Körnungen:

<b>Vorschleifen:</b>	36–60 mesh	( <i>grob</i> )
<b>Fertigschleifen:</b>	60–100 mesh	( <i>mittel</i> )
<b>Feinstschleifen:</b>	100–320 mesh	( <i>fein</i> )

## Kornarten und Eigenschaften:

Kornart	Anteil	Farbe
<b>NK</b> Normalkorund	95–97 % $Al_2O_3$	<i>braun</i>
<b>EK</b> Edelkorund, weiß	99,9 % $Al_2O_3$	<i>weiß</i>
<b>HK</b> Normalkorund mit Edelkorund	98 % $Al_2O_3$	<i>braun</i>
<b>HKs</b> erschmolzener Halbedelkorund	98 % $Al_2O_3$	
<b>EKd</b> Edelkorund, rosa	über 99 % $Al_2O_3$ 0,2–0,3 % $Cr_2O_3$	<i>rosa</i>
<b>FF</b> Rubinkorund	98 % $Al_2O_3$ 2 % $Cr_2O_3$	<i>rubinrot</i>
<b>EKa</b> Einkristallkorund	99,2 % $Al_2O_3$	<i>leicht rosa</i>
<b>EKT</b> Chrom-Titanoxid Legierter Korund	99,35 % $Al_2O_3$ 0,25 % $TiO_2$	<i>hell-rosa</i>
<b>NAXOS-KSB</b> Sinterkorund	Mikrokristalin 96 % $Al_2O_3$	<i>blau</i>
<b>SB</b> Sinterbauxit	NK oder NK + $ZrO_2$	
<b>SCg</b> Siliciumkarbid , grün	98 % SIC	<i>grün</i>
<b>SC</b> Siliciumkarbid	97 % SIC	<i>schwarz</i>
<b>CBN</b> Bornitrid	100 % BN	<i>schwarz</i>
<b>Diamant</b> Kohlenstoff	100 % C	<i>transparent</i>

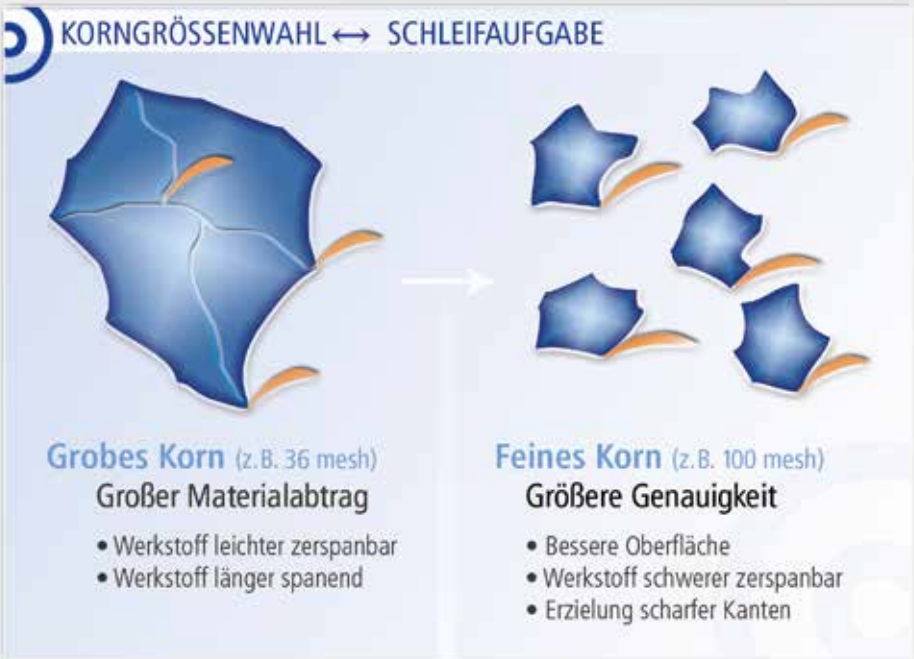


Eigenschaften	Einsatzgebiet
<b>große Zähigkeit</b>	Niedrig legierte Stähle, insbesondere für große Zerspanleistung beim Schruppen.
<b>sehr hart und spröde</b>	Breiter Einsatz beim Präzisionsschliff wie Werkzeug-, Rund- u. Flachscheifen.
<b>hohe Zähigkeit, sehr hart und spröde</b>	Gut geeignet zum Schleifen von ungehärteten und niedriglegierten Stählen. Auch für Präzisionsschliff.
<b>höhere Zähigkeit als EK</b>	Haupteinsatzgebiete sind das Präzisions- und Werkzeugschleifen.
<b>sehr hart, höhere Kornzähigkeit als EK</b>	Hervorragend geeignet für Flachprofilschleifen, Sägeschärfen.
<b>sehr hart, hohe Verschleißfestigkeit</b>	Findet Anwendung beim Präzisionsschleifen von hochlegierten Stählen.
<b>sehr hohe Kornzähigkeit</b>	Zum Schleifen von HSS-Stählen und Werkzeugschleifen.
<b>zäher als EK, weniger hart</b>	Bearbeitung von legierten und thermisch empfindlichen Stählen.
<b>äußerst zäh, 15% härter als EK</b>	Einsatz für fast alle Schleifprozesse bei entsprechender Maschinenauslegung (Steifigkeit).
<b>äußerst zäh</b>	Ausschließlich für hochverdichtete Schleifscheiben. Zum Hochdruckschleifen von austenitischen Stählen.
<b>äußerst hart und spröde</b>	Anwendung bei Hartmetall, nicht metallischen Werkstoffen, z. T. Grauguss und austenitischen Stählen.
<b>hart und spröde</b>	Zum Schruppschleifen von Guss-Werkstoffen.
<b>hohe Härte, Verschleiß u. Bruchfestigkeit</b>	Zerspanung von harten, karbidhaltigen Legierungen. Werkzeugstähle, Sonderstähle, HSS, usw.
<b>größte Härten und Zähigkeit</b>	Zerspanung von amorphen, extrem harten Werkstoffen. Hartmetall, Beton, Naturstein

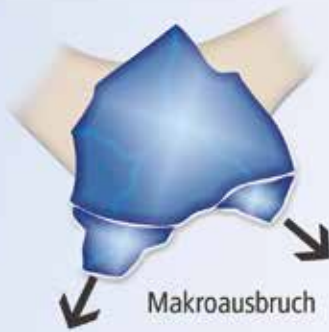
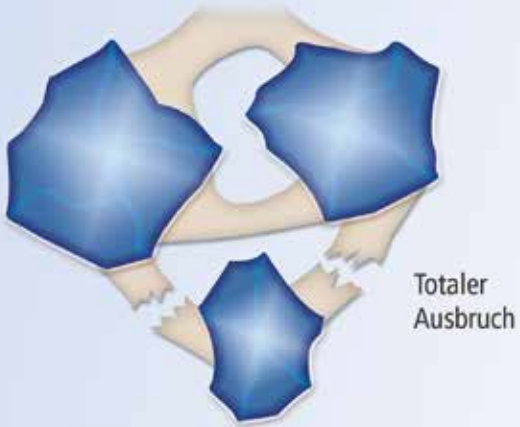
**Grobe Körnungen bilden größere Späne,  
kleine Körnungen bilden feinere Späne.**

Für große Materialabträge und/oder leichter zerspanbare Werkstoffe und/oder länger spanende Werkstoffe wählt man besser **grobe Körnungen**.

Größere Genauigkeit und Oberflächengüte und/oder schwer zerspanbare Werkstoffe und/oder Erzielung schärferer Kanten fordern **feine Körnungen**.



## KORNVERSCHLEISSARTEN





## Bindung

Das Schleifkorn leistet die Abtragsarbeit am Werkstück. Die Bindung hält das Korn in der Schleifmittelmatrix, bis das Schleifkorn einen entsprechenden Kornverschleiß aufweist.

D. h., das Korn stumpft während des Schleifprozesses immer mehr ab, der Schleifdruck auf dieses Korn steigt und die Bindung gibt das Korn anschließend frei, damit nicht zu viel Reibungswärme auf Grund der Abstumpfung des Kornes entsteht.

Bei idealen Verhältnissen von Korn, Bindung und Poren entsteht ein **Selbstschärfeffekt**, der bei jeder Schleifoperation erwünscht ist.

### Wichtigste Bindungsarten:

<b>Keramische Bindung</b>	Abkürzung Ke (V)	<i>(Keramisch)</i>
<b>Kunstharzbindung</b>	Abkürzung Ba (B)	<i>(Bakelite)</i>
<b>Metallische Bindung</b>	Abkürzung M	<i>(Metall)</i>
<b>Gummibindung</b>	Abkürzung Gu (R)	<i>(Rubber)</i>
<b>Faserverstärkt</b>	Abkürzung BF	<i>(Bakelite Fiber reinforced)</i>
<b>Galvanik Bindung</b>	Abkürzung G	<i>(Galvanik)</i>

Die Eigenschaften der Bindungen sind sehr unterschiedlich, was für die verschiedenen Einsatzgebiete berücksichtigt werden muss.

Im Einzelnen werden hier die Grundeigenschaften der keramischen, Kunstharz- und Metallbindung beschrieben.

Je nach Bindungsart lassen sich die physikalischen Eigenschaften als auch die Schleifeigenschaften des fertigen Schleifkörpers steuern.

**Keramische Bindungen** sind hart, starr, spröde, besitzen geringe Dämpfungseigenschaften, weisen aber eine hohe Temperaturbeständigkeit auf. Sie werden sehr oft für den formgebenden Schliff eingesetzt. Keramische Bindungen können hohe Abtragsleistungen erzielen. Der Bindungsverschleiß tritt in folge von Ermüdungsrissen im Bindungssteg ein. Keramische Schleifscheiben werden vor allem in Präzisionsanwendungen wie Außenrundscheiben, Innenrundscheiben sowie Flach/Tiefscheiben verwendet.

**Kunstharzbindungen** sind weicher, elastischer und zäher als keramische Bindungen. Sie besitzen höhere Dämpfungseigenschaften, leider ist ihre Temperaturbeständigkeit sehr begrenzt. Mit ihnen lassen sich sowohl Schrapp- (hoher Materialabtrag) als auch Schlichtoperationen durchführen (gute Oberflächen und geringe Rauigkeiten). Diese Eigenschaften begünstigen den Einsatz von Kunstharzschleifscheiben für Verfahren wie das Centerless-Schleifen, Flach-/Planschleifen sowie Außenrundoperationen. Hier werden gute Oberflächen und Abtragsleistungen erzielt. Aber auch für Trenn- und Schrappoperationen im Freihandbereich sind kunstharzgebundene faserstoffverstärkte Schleifmittel im Einsatz.

**Metallische Bindungen** sind im Gegensatz zu den vorher beschriebenen Materialien gute Wärmeleiter. Sie sind ebenfalls sehr hart, weisen geringe Dämpfung auf und sind thermisch sehr beständig. Diese Bindung wird in Kombination mit CBN und Diamant eingesetzt. Neben dem Einsatz im Präzisionsbereich (z. B.: Glasschleifen) finden diese Bindungssysteme vor allem Ihre Verwendung in der Bearbeitung von Beton und Naturstein.

### BINDUNGSARTEN

Eigenschaften:	Kunstharz	Keramik	Metall
Härte	↓	↑	↑
Formbeständigkeit	↓	↑	↑
Zähigkeit	↑	↓	↑
Dämpfungsvermögen	↑	↓	↓

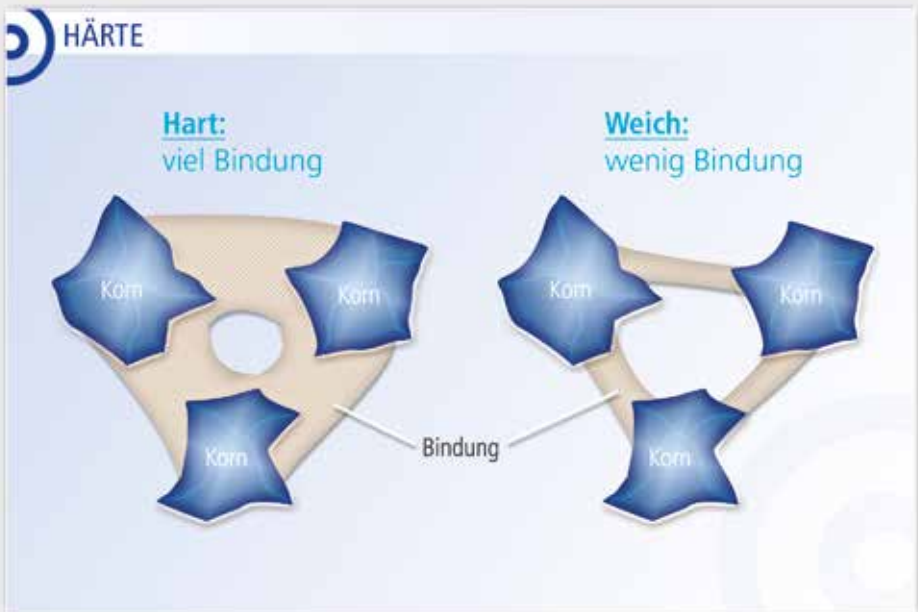
Profil	formfolgend	formgebend
--------	-------------	------------

# Weitere Faktoren eines Schleifkörpers

## ■ Härte

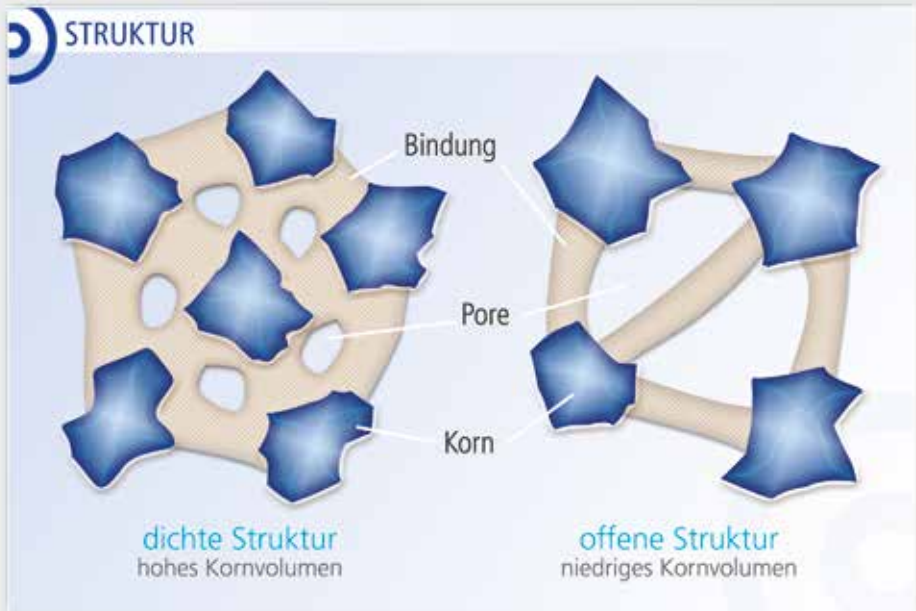
Spricht man von der Härte eines Schleifkörpers, so ist hier nicht die Härte des Schleifkorns gemeint, sondern das Volumen der Bindung in einer Schleifmittelmatrix.

Viel Bindung in der Matrix bindet das Korn fest, die Schleifkörper besitzen eine hohe Härte, wirken aber weniger schnittig, dafür standfest. Dementsprechend sind Schleifkörper mit geringerem Bindungsanteil weicher und schnittiger, ihre Standzeit dagegen geringer.



## Struktur

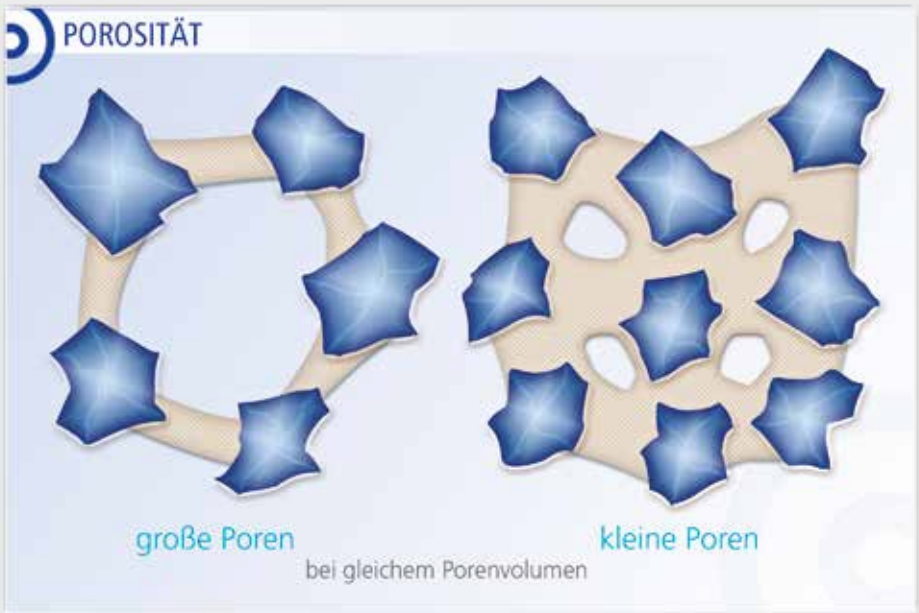
Die Struktur eines Schleifkörpers bezeichnet den Volumenanteil von Korn in einer Schleifmittelmatrix.  
In dichten Strukturen (Struktur 1–5) ist der Abstand zweier Körner gering, in offenen Strukturen (Struktur 6–10) erhöht sich der Korn-Korn-Abstand.





## ■ Porosität

Mit Porosität bezeichnet man den Porenraum zwischen den Schleifkörnern, der nicht mit Bindung ausgefüllt ist. Der Porenraum dient zum Abtransport der Späne und zum Einbringen von Kühlschmiermittel in die Schleifzone. Es können einzelne sehr große Poren oder sehr viele kleinere gleichmäßig verteilte Poren bei gleichem Porenvolumen vorliegen.



Zu erwartende Abhängigkeiten bei Änderung des Gefüges:

	Dicht	Offen
Porosität/Porenraum	wenig	viel
Kornabstand	klein	groß
Wirkhärte	hart	weich
Einzelkornbelastung	gering	hoch
Wärmeentwicklung	groß	klein
Kantenstabilität	hoch	geringer

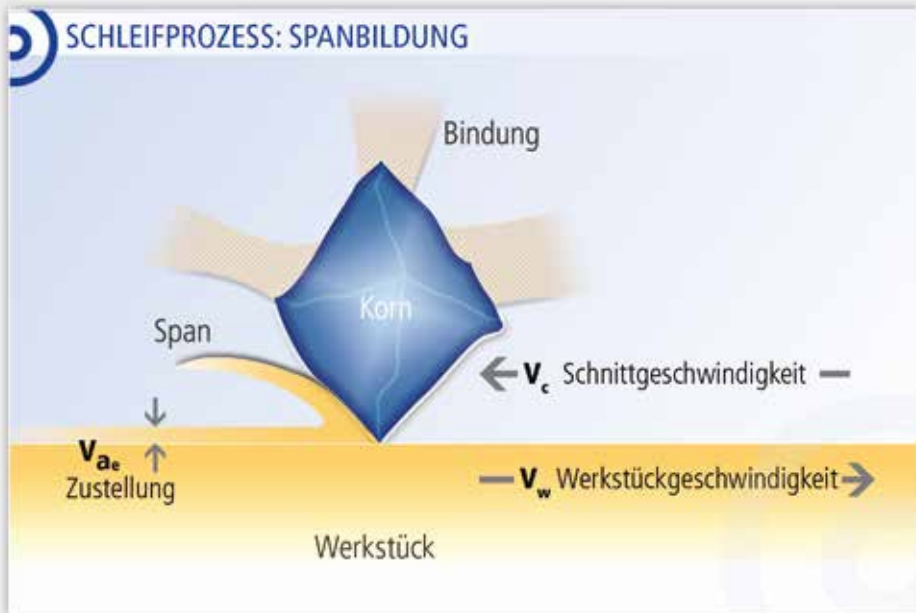
## Dynamische Grundgrößen

Nach Norm ergibt sich folgende Definition für den Schleifprozess als spanendes Fertigungsverfahren:

Schleifen ist ein Zerspanungsverfahren mit undefinierten Schneiden.

Die effektive Schneidenzahl wird nicht durch das einzelne Korn bestimmt, sondern durch das Abrichten und Profilieren (Konditionieren) des Schleifkörpers.

An einem einzelnen Korn entstehen während des Konditionierens durch Kornsplitterung eine bestimmte Anzahl von kleinsten Einzelschneiden in Abhängigkeit der Korngröße, des Konditionierwerkzeugs und der Konditioniervorgaben.



Der Spanbildungsprozess entscheidet über die Effizienz und Wirtschaftlichkeit des Schleifprozesses.

Die Zerspanbarkeit des Werkstückes und die geforderte Bearbeitungsqualität bestimmen Kornart, Korngröße und Kornvolumen, sowie Härtegrad und Gefüge eines Schleifkörpers. Die Anzahl der aktiven Schneiden bewirkt den spanenden Abtrag.

Bei allen Schleifprozessen spielt die Wärmeentwicklung eine große Rolle.

### Der Zerspanungsprozess entsteht in 3 Phasen:

**1. Gleiten:** Das Korn gleitet über das Werkstück, baut Druck auf und versucht ins Werkstück einzudringen.

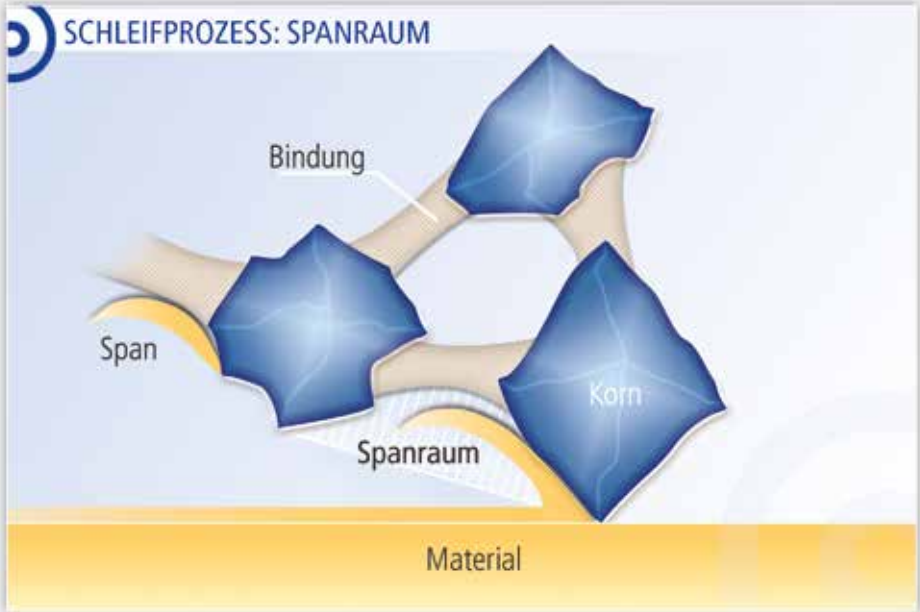
**2. Pflügen:** Beim Pflügen entsteht zwar eine Furche, aber noch kein Span.

**3. Spanbildung:** Erst mit der Spanbildung wird die Wärme über den Span vom Werkstück wegtransportiert.

D. h.: Je schneller der Span gebildet wird, desto kühler ist der Schliff.

Die Spanbildung soll also mit möglichst wenig Reibungswärme erfolgen.

Die Größe des gebildeten Spanes kann durch gezielte Veränderung der Prozessparameter beeinflusst werden.



**Als Regel sei gemerkt:  
Nach Möglichkeit immer nur einen Parameter ändern!**



**Prozessparameter:**

Schnittgeschwindigkeit	$v_c$ [m/s]
Werkstückgeschwindigkeit	$v_w$ [mm/min] oder [m/min]
Zustellung	$a_e$ [μ oder mm]
Umfangsgeschwindigkeit	$v_s$ [m/s]

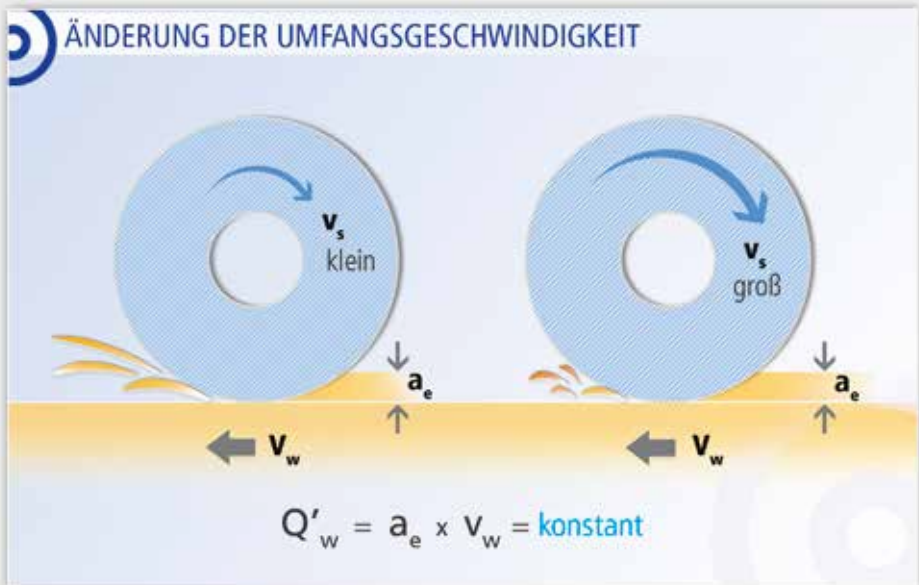
**daraus abgeleitete Größen:**

Schleifverhältnis (Standzeit)	G
Spezifisches Zerspanvolumen	$Q'_w$ [mm <sup>3</sup> /mm · s]
Geschwindigkeitsverhältnis	q

## Umfangsgeschwindigkeit $v_s$ [m/s]

Die Umfangsgeschwindigkeit ist eine sehr wichtige Größe. Durch Veränderung der Umfangsgeschwindigkeit lässt sich die Spangröße bei einer vorgegebenen Schleifkörperspezifikation verändern. Erhöht man die Umfangsgeschwindigkeit und lässt dabei alle anderen Prozessparameter unverändert, so nimmt die Spangröße ab, reduziert man die Umfangsgeschwindigkeit, so vergrößert sich der Span.

Eine Verringerung der Spangröße reduziert auch die Kräfte, die auf das Korn wirken, die Splitterneigung des Einzelkorns sinkt und die Standzeit des Schleifkörpers erhöht sich. Unterschreitet die Spangröße einen bestimmten Wert, so steigt der Reibanteil im Schleifprozess drastisch an. Der Schleifkörper erzeugt sehr hohe Temperaturen und unter Umständen Schleifbrand (das Werkstück verändert an der betroffenen Stelle seine Härte und wird spröde).



Eine Erhöhung der Spangröße steigert die Kräfte, die auf das Korn während der Zerspanung wirken. Die Splitterneigung steigt, Kornspitzen brechen schneller, und neue scharfe Kanten stehen für den Schleifprozess zur Verfügung.

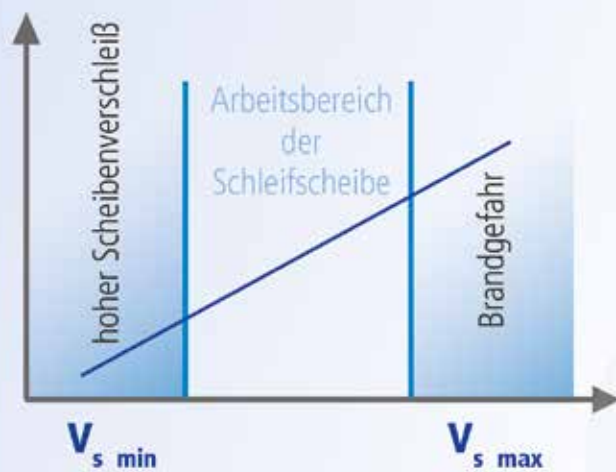
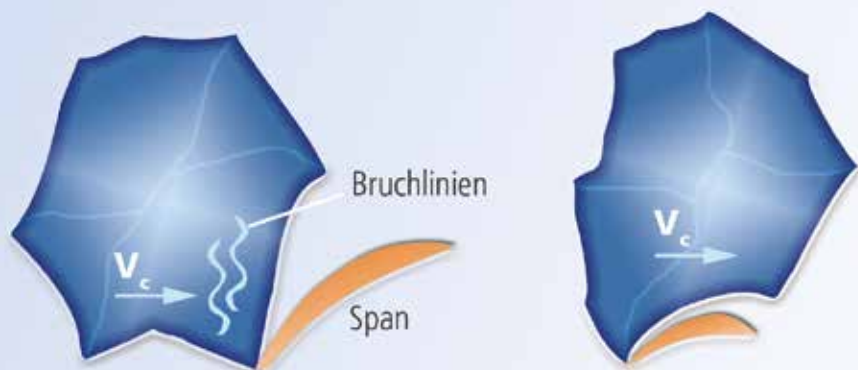
Der Schleifkörper wirkt schnittiger, schleift kühler, allerdings wird dieser Vorteil durch einen höheren Schleifkörperverschleiß gemindert.

Da maschinenseitig überwiegend nur Drehzahl und nicht die Umfangsgeschwindigkeit erkennbar ist, kann gemäß der nachstehenden Formel umgerechnet werden:

$$v_s = \frac{n_s \cdot d_s \cdot \pi}{1000 \cdot 60}$$

$$n_s = \frac{v_s \cdot 60 \cdot 1000}{d_s \cdot \pi}$$

## UMFANGSGESCHWINDIGKEIT



## ■ Werkstückgeschwindigkeit $v_w$ [mm/min] oder [m/min]

Die Werkstückgeschwindigkeit ist eine weitere wichtige Größe im Schleifprozess. Ändert man diese Größe, so ändert sich auch die Zerspanleistung.

(Siehe Kapitel  $Q'_w$  = Spezifische Zerspanleistung)

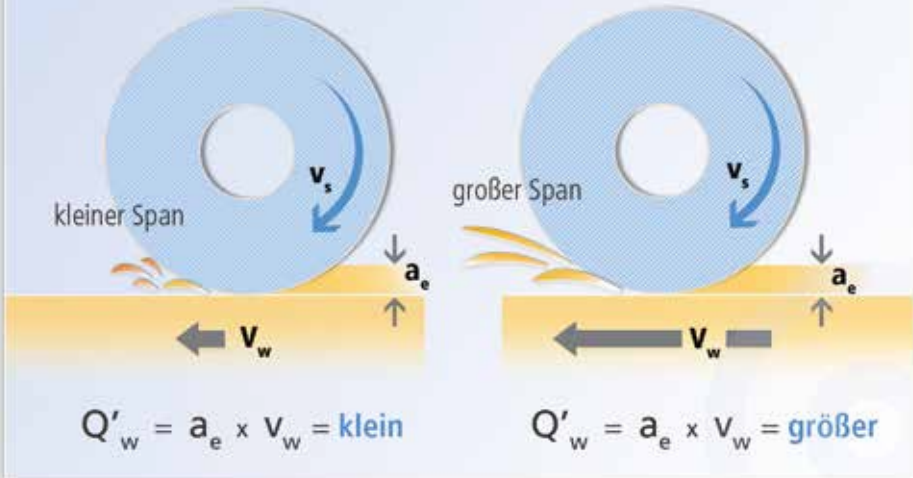


Ähnlich wie bei der Umfangsgeschwindigkeit führt eine Verringerung des Vorschubes zur Verringerung der Spangröße. Das Korn wird geschont und die Kräfte, die auf das Korn wirken, sinken. Die Scheibe wirkt härter und die Standzeit steigt.

Erhöht man die Werkstückgeschwindigkeit, auch Vorschubgeschwindigkeit genannt, erzeugt man größere Späne. Die Einzelkornbelastung steigt und die Scheibe wirkt weicher. Zusätzlich sinken die Reibarbeit und die Prozesstemperatur.



## ÄNDERUNG DER WERKSTÜCKSGESCHWINDIGKEIT



### ■ Zustellung $a_e$

Die Zustellung hat ebenfalls einen sehr großen Einfluss auf die Spanbildung. Mit diesem Parameter wird das Eintauchen des Schleifkörpers in das Werkstück beschrieben. Je nachdem wie tief die Scheibe in das Werkstück eintaucht, spricht man von Flachsleifprozessen oder Tiefsleifprozessen.



Eine Erhöhung der Zustellung  $a_e$  erzeugt eine weichere Wirkung. Bei Reduzierung von  $a_e$  wirkt der Schleifkörper härter.

Bei geringen Zustellungen spricht man vom **Flachpendel-Schleifprozess**, bei hohen Zustellwerten spricht man vom **Tiefschleifen**.

Beide Verfahren unterscheiden sich also nur durch die Zustellung, wobei beim Flachpendelschleifen eine kleine Kontaktfläche auftritt. Die Kornbelastung ist dementsprechend höher als beim Tiefschleifen, das eine große Kontaktfläche aufweist.

## ■ Spezifische Zerspanleistung $Q'_w$

Als spezifische Zerspanleistung bezeichnet man das zerspannte Volumen am Werkstück pro  $\text{mm}^3$  Werkstück.

Diese Berechnungsgröße lässt einen Vergleich von verschiedenen Schleifoperationen zu. Gleichzeitig wird durch diese Größe die Effizienz einer Schleifoperation angegeben.

Kleine Werte werden bei Schlichtoperationen, große Werte bei Schruppoperationen erreicht.

Eine Steigerung von  $Q'_w$  erhöht die Produktivität des Schleifprozesses. Diese lässt sich aber nur unter Berücksichtigung der Umgebungsvariablen (Vorhandene Maschinenleistung, Steifigkeit der Maschine, Steifigkeit der Aufnahme, Bauteil, verwendete Schleifkörper) optimieren.

Hohe  $Q'_w$ -Werte können eine Verminderung der Standzeit der Schleifkörper bewirken.

$$Q'_w = \frac{a_e \cdot v_w}{60}$$

$$Q'_w = \frac{d_w \cdot \pi \cdot a_e \cdot n_w}{60}$$

$$Q'_w = \frac{d_w \cdot \pi \cdot v_f}{60}$$

- $a_e$  = Zustellung pro Umdrehung in mm
- $v_f$  = Werkstückzustellgeschwindigkeit in mm/min
- $d_w$  = Werkstückdurchmesser in mm
- $v_w$  = Werkstückgeschwindigkeit in mm/min
- $n_w$  = Werkstückdrehzahl in  $\text{min}^{-1}$

Anwendungsgebiet	Bezeichnung	Formeln (metr. Einheiten)	Maßeinheit
Grobschleif- operation	Abschliffleistung	$Z_m = \frac{\Delta m}{t_c}$	Kg/h
Trennoperation • Metall	Zerspanfläche Trennrate	$Z_m = \frac{A_w}{t_c}$	$\text{cm}^2/\text{s}$ $\text{cm}^2/\text{s}$

- $Z_m$  = Abschliffleistung [Kg/h]
- $Z_A$  = Zerspanfläche
- $A_w$  = Fläche [ $\text{cm}^2$ ]
- $m$  = Masse [kg]
- $t_c$  = Schnittzeit [sec.]

## ■ Standzeit G-Faktor

Die Standzeit eines Schleifkörpers bezeichnet den Zeitraum vom Beginn des Einsatzes bis zum Aufbrauchen der Schleifscheibe.

Zur Berechnung verwendet man den G-Wert, der nach folgender Formel ermittelt wird:

$$G = \frac{V_w}{V_s}$$

$V_w$  = gesamte Abtragsmenge in  $\text{mm}^3$

$V_s$  = Scheibenverschleiß in  $\text{mm}^3$

Hohe G-Faktoren werden bei CBN und Diamant erreicht, sowie bei Fein- und Feinstschleifoperationen.

Hohe  $Q'_w$  Werte können unter Umständen den G-Faktor senken. Oft werden hier prozesstechnische Kompromisse nicht zu vermeiden sein.

### Weitere Berechnungen einer Standzeit:

Grobschleifen: [kg Abschleiß/kg Schleifscheibenverbrauch]

Trennen:

$$G = \frac{A_{\text{Werkstück}}}{A_{\text{Schleifscheibe}}}$$

$A$  = Fläche

## ■ Geschwindigkeitsverhältnis $q$

Das Geschwindigkeitsverhältnis ist eine dimensionslose Verhältniszahl. Sie gibt an, wie oft sich das Schleifkorn über dieselbe Stelle am Werkstück bewegt.

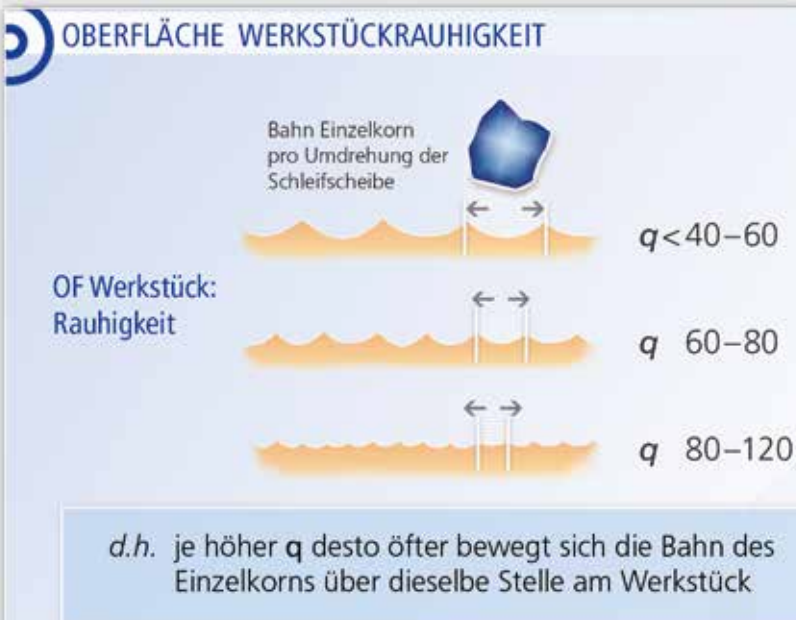
$$q = \frac{v_s}{v_w}$$

$v_s$  = Umfangsgeschwindigkeit in m/s

$v_w$  = Werkstückzustellgeschwindigkeit in mm/min oder m/min

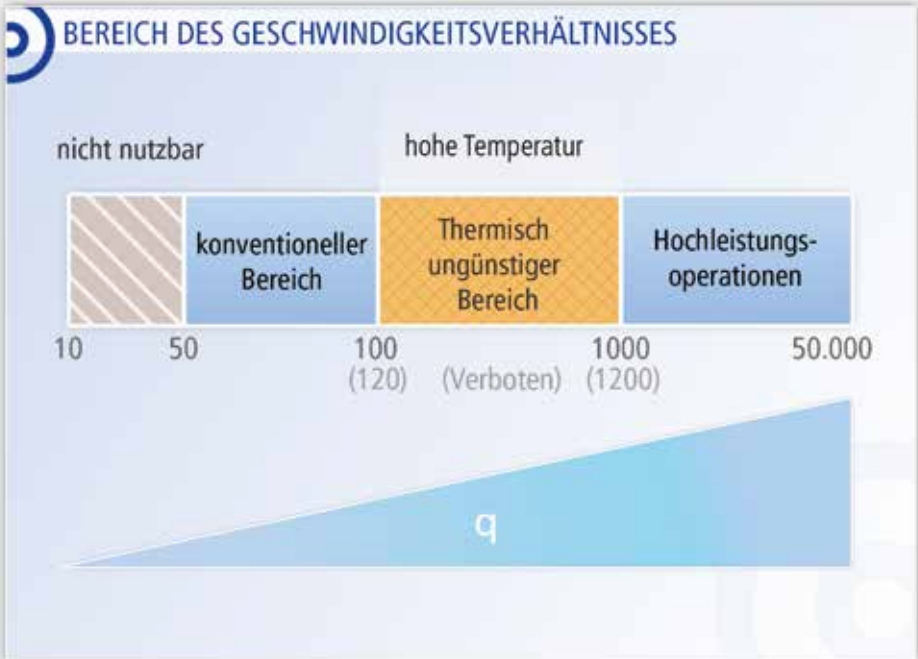
Übliche Werte für das Geschwindigkeitsverhältnis:

- Schruppen: 50–60
- Standard: 60–80
- Schlichten: 90–120



Im Bereich von  $q$ -Werten zwischen 120 und 1000 tritt ein thermisch kritischer Bereich auf, der für Schleifoperationen **NICHT** geeignet ist und absolut vermieden werden soll. (Es gibt einige wenige Ausnahmen.)

Werte über 1000 werden vor allem beim Hochleistungsschleifen erreicht, da hier hohe  $v_s$ -Werte ( $> 80$  m/s) als Prozessgröße auftreten.





## ÜBERSICHT: Prozessgrößen – Einfluss auf Scheibenverhalten

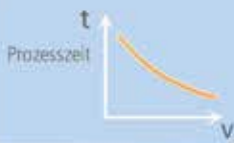
<i>Einstellgröße</i>	<i>Zerspanleistung</i>	<i>Spangröße</i>	<i>Kornbelastung</i>	<i>Wirkhärte der Scheibe</i>
Umfangsgeschwindigkeit (+)	+	-	-	härter
Umfangsgeschwindigkeit (-)	-	+	+	weicher
Verschubgeschwindigkeit (+)	+	+	+	weicher
Verschubgeschwindigkeit (-)	-	-	-	härter
Zustellung (+)	+	+	+	weicher
Zustellung (-)	-	-	-	härter
Scheibendurchmesser (+)			-	härter
Scheibendurchmesser (-)			+	weicher
KSM Öl			-	härter
Emulsion			+	weicher

## EINFLUSS DER WERKSTÜCKGESCHWINDIGKEIT

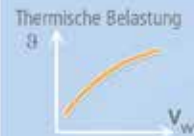
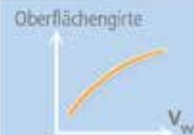
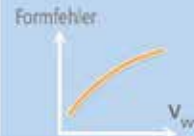
Stellgrößen:  $v_w$   
Umfangsgeschwindigkeit  
konstant



Prozesskenngößen



Arbeitsergebnis



## Schleifverfahren

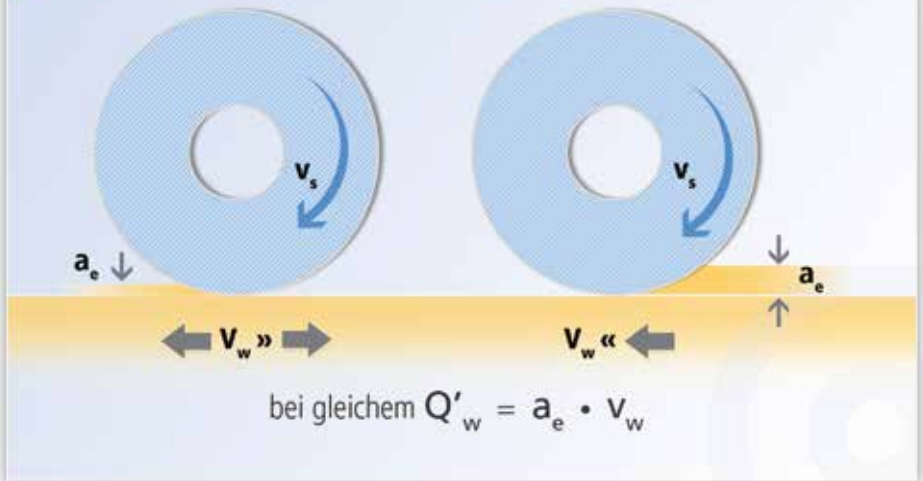
Die unterschiedlichen Schleifverfahren haben unterschiedliche Werte für Umfangsgeschwindigkeit, Zustellung und Vorschubgeschwindigkeit.

Es gibt folgende Schleifverfahren:

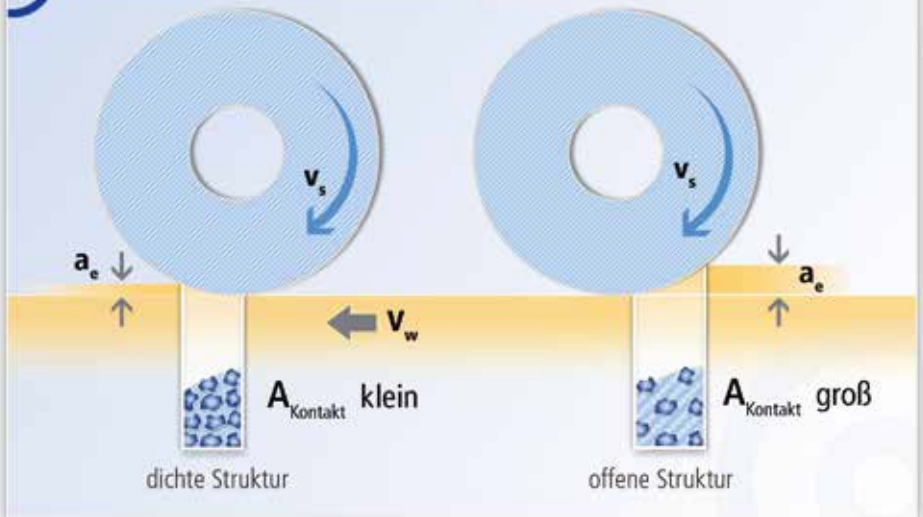
- Flach-/Tiefschleifen
- Außenrundsleifen
- Innenrundsleifen
- Spitzenlosschleifen (Centerless)
- Honen
- Trennen



## UNTERSCHIED PENDELSCHLEIFEN / TIEFSCHLEIFEN



## KONTAKTFLÄCHE PENDELSCHLEIFEN / TIEFSCHLEIFEN



## Abrichten / Konditionieren

Alle Prozesse, die der Schaffung oder Regeneration der Schleiffähigkeit von Schleifkörpern dienen, können unter dem Begriff Konditionieren zusammengefasst werden.

Das Konditionieren beinhaltet die Teilaufgaben:

**Profilieren, Schärfen und Reinigen.**

D. h., man konditioniert dann, wenn ein Verlust an der erforderlichen Form-, Maß- und Profil-, sowie Rund- und Planlaufgenauigkeit der Schleifscheibe auftritt.

Ist die Oberflächentopografie des Schleifkörpers durch abrasiven Verschleiß in einem ungünstigen Arbeitsbereich, neigt der Schleifkörper zum Drücken und weist erhöhte Leistungsaufnahme auf. Es entstehen Aufschweißungen vom Werkstück an der Schleifkörperoberfläche. In diesem Fall muss ebenfalls konditioniert oder abgerichtet werden.

Abrichten muss immer unter kontrollierten Bedingungen stattfinden, um immer ein reproduzierbares Ergebnis zu erhalten.

Es wird zwischen „Stehenden“ und „Rotierenden“ Abrichtwerkzeugen unterschieden.

Als **stehende Abrichtwerkzeuge** werden bezeichnet:

- Einkornabrichter
- Vielkornabrichter
- Plattenabrichter
- Abrichtträdchen
- Abrichtstäbe

**Rotierende Abrichtwerkzeuge** sind:

- Diamant-Abrichtrollen
- Topfabrichter

# Kühlschmierung

Die Kühlschmierung hat die Aufgabe, die Prozesstemperaturen durch Wärmeabfuhr zu senken. Gleichzeitig soll die Schleifscheibenoberfläche von anhaftenden Spänen befreit und gereinigt werden.

Es werden grundsätzlich zwei Typen von Kühlschmiermitteln unterschieden:

- Schleiföle
- Emulsionen

**Schleiföle** haben sehr gute Schmierwirkung, aber schlechte Kühlleistungen. Sie werden vor allem bei Werkstoffen eingesetzt, die auf Erwärmung weniger sensibel reagieren.

**Emulsionen** bestehen aus einem Gemisch von 2–6% Öl und 94–98% Wasser. Hierbei ist das Öl in Form von feinsten Teilchen im Wasser dispergiert.

Emulsionen besitzen sehr gute Kühlleistungen bei begrenzter Schmierfähigkeit. Daher werden Sie vor allem bei der Bearbeitung von wärmeempfindlichen Werkstoffen eingesetzt.

Die Prozessparameter sind immer auf das verwendete Kühlschmiermittel ausgelegt.

Ein Wechsel von Öl auf Emulsion und umgekehrt führt zu einer völligen Veränderung der Prozessparameter.

Die Zuführung des Kühlschmiermittels ist außerordentlich wichtig, um das Kühlschmiermittel in die Zerspanzone zu transportieren.

Grundsätzlich gilt, dass die Düsenanordnung tangential zur Oberfläche gerichtet ist, und die Austrittsgeschwindigkeit des Kühlschmiermittels an die Umfangsgeschwindigkeit der Schleifscheibe angepasst werden soll.

Dies ist dann der Fall, wenn der Kühlschmiermittelstrahl von der Schleifscheibe etwas mitgenommen wird.

Zu hohe und zu niedrige Kühlschmiermittelgeschwindigkeiten zeigen eine deutlich schlechtere Kühlwirkung.



# Häufig auftretende Prozessfehler

## ■ Schleifbrand, Schleifrisse

### Fehlerbeschreibung:

Schleifbrand: Verfärbung der geschliffenen Oberfläche

Schleifrisse: Sehr feine Linien auf der geschliffenen Oberfläche

### Mögliche Ursachen:

- Überhitzung beim Schleifprozess/Kühlschmierzuführung unzureichend
- Stumpfe Schleifscheibe
- Stumpfes Abrichtwerkzeug

### Lösungsmöglichkeit:

- Umfangsgeschwindigkeit senken, Werkstückgeschwindigkeit erhöhen
- Abrichtwerkzeug wechseln
- Abrichtparameter ändern
- Kühlschmierzuführung optimieren (z. B. Düse)
- Schleifscheibe mit etwas gröberer Körnung einsetzen

## ■ Oberfläche ungleichmäßig, uneben

### Fehlerbeschreibung:

Maß-/Ebenheitsschwankungen und Oberfläche ungleichmäßig

### Mögliche Ursachen:

- Maschine ungenau
- Schmutz im Kühlmittel und im Bereich Werkstückaufspannung

### Lösungsmöglichkeit:

- Maschine überprüfen und notfalls korrigieren
- Zustellung verringern
- Häufigeres Abrichten
- Scheibe etwas weicher und offener einstellen

## ■ Scheibenverschleiß zu groß / Profilverlust

### Fehlerbeschreibung:

Die Schleifscheibe verliert zu viel an Kontur/Profil und bringt Maß- und Profilprobleme am Werkstück

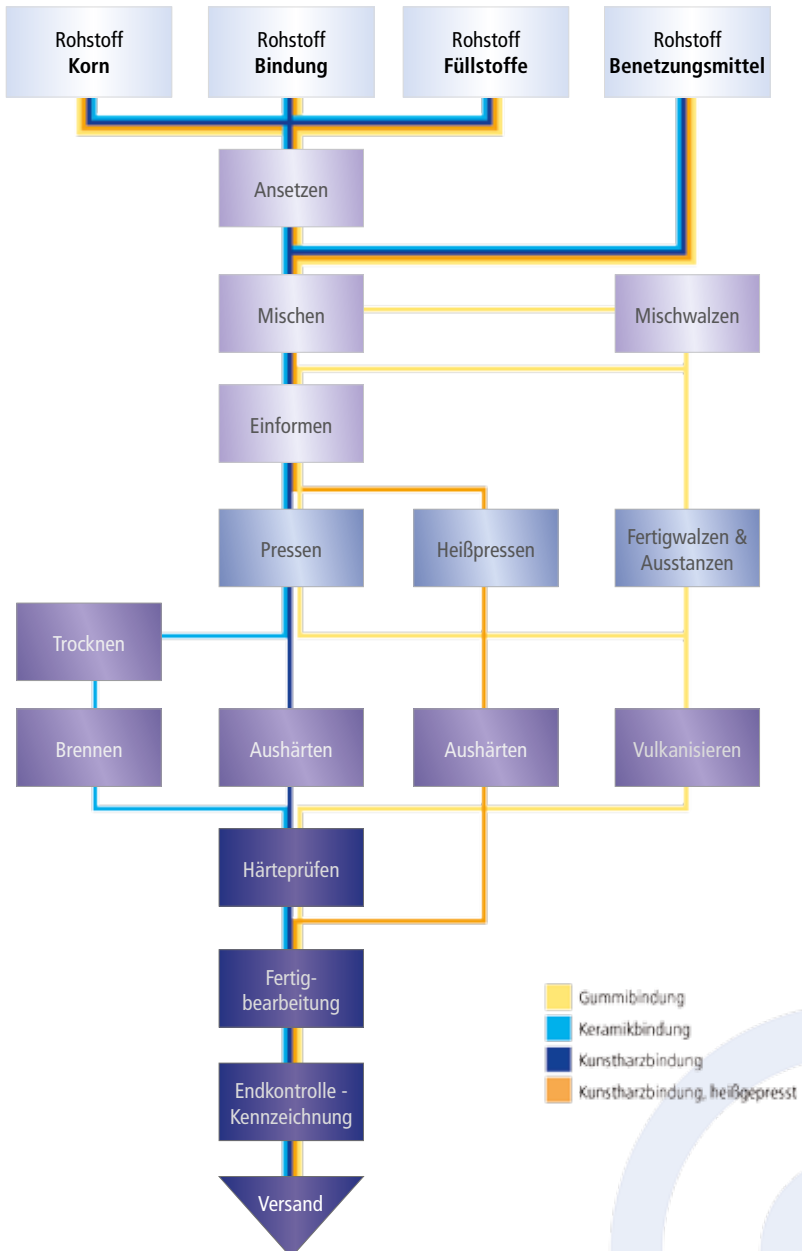
### Mögliche Ursachen:

- Schleifscheibe zu weich

### Lösungsmöglichkeit:

- $v_s$  erhöhen  
(max. zulässige Arbeitsgeschwindigkeit beachten)
- Vorschubgeschwindigkeit und Zustellungen verringern
- Scheibe härter, Struktur (Poren) enger, Körnung feiner wählen

# Schleifkörperfertigung – Der Prozess



# Herstellung von Schleifwerkzeugen

## ■ Ansetzen

Eine wesentliche Voraussetzung für die gleichbleibende Lieferqualität von Schleifkörpern ist die präzise Einhaltung der vorgegebenen Rohstoffmenge beim Ansetzen. Der Einsatz von elektronischen Waagen garantiert die korrekten Abfüllgewichte innerhalb engster Toleranzen. Die in der Rezeptur vorgegebene Bindungsmenge wird systemseitig überwacht und evtl. Abwiegefehler bei der manuellen Rohstoffentnahme werden sofort erkannt. Um unserem hohen Qualitätsanspruch nachzukommen, werden alle Schritte sorgfältig manuell und digital protokolliert.

## ■ Mischen

Nur durch eine sorgfältige Mischung der einzelnen Rohstoffkomponenten kann eine optimale Homogenität der Schleifkörper sichergestellt werden. Erfahrenes Personal, modernste Mischanlagen und ständige Kontrolle gewährleisten die Gleichmäßigkeit der Produkte.

## ■ Einformen

So wie die qualitative Homogenität des Schleifkörpers vom Mischen abhängt, ist das sorgfältige Einformen der fertigen Mischung ausschlaggebend für die gleichmäßigen Struktur- und Aufbau des Schleifkörpers. Spezielle Zufuhreinrichtungen für das Füllgut, digital gesteuerte Verteiler sowie moderne Wiege- und Messeinrichtungen an den Pressen garantieren exaktes, gleichmäßiges Einformen und damit hohe Genauigkeit der Schleifkörper.

Gerade beim heutigen Hochgeschwindigkeitsschleifen mit



Umfangsgeschwindigkeiten bis zu 150 m/s (umgerechnet 540 km/h) ist der Einsatz von unwuchtfreien Schleifscheiben im Rahmen der international gültigen Liefertoleranzen unverzichtbar.

## ■ **Pressen**

Die Rohformgebung der Schleifkörper in Keramik- und Kunstharzbindung erfolgt vorzugsweise durch volumetrisches, weggesteuertes Pressen. Hierbei spielt die gleichmäßige Verdichtung über die gesamte Schleifscheibenhöhe und -fläche eine wesentliche Rolle. Voraussetzung dafür sind präzise arbeitende Pressen, sowie hochgenaues Formwerkzeug. Eine gleichmäßige Massenverteilung in der Pressform ist natürlich unabdingbar, da hier Unregelmäßigkeiten zu einer unterschiedlichen Verdichtung des Presslings führen würden. Naxos-Diskus setzt für große und breite Schleifscheiben schwere Pressen mit Drücken bis 25.000 kN ein, die wechselweise von 2 bis 3 Einform-Arbeitstischen beschickt werden. Kleinere bis mittlere Schleifscheiben werden auf modernen Rundtischpressen mit mehreren Arbeitsstationen eingeformt und gepresst. Auch hier unterstützt unser digitales Netzwerk durch Prüfmaßnahmen direkt an der Presse die Produktion einwandfreier und arbeitssicherer Produkte.

## ■ **Heißpressen**

Für die Produktion von hochverdichteten Schleifscheiben setzt Naxos-Diskus Etagenheißpressen ein. Bei Temperaturen zwischen 140 und 180 °C werden die Scheiben unter hohem Druck soweit verdichtet, dass nahezu porenfreie Schleifkörper entstehen, die auch den sehr hohen mechanischen Beanspruchungen beim Einsatz in den Adjustagen der Stahlwerke widerstehen. Die stetig steigenden Anforderungen der Stahl-

dustrie erfordern einen sehr hohen Forschungs- und Entwicklungsaufwand sowie erhebliche Investitionen in Produktions- und Prüfanlagen.

### ■ **Walzen, Ausstanzen und Pressen (GU-Bindung)**

Bei Schleifscheiben in gummigebundener Ausführung erfolgt das Fertigmischen durch einen Walzvorgang. Ein homogenes Walzgut (Fell) wird dadurch gebildet, dass Korn und Bindung wiederholt durch eine Mischwalze geführt werden. Das vom Walzwerk kommende Fell wird auf Kalandermalzen zu der für die jeweiligen Schleifscheiben notwendige Enddicke ausgewalzt. In der folgenden Arbeitsoperation werden aus diesem Fell die Scheibenrohlinge in den geforderten Maßen ausgestanzt. Die breiteren gummigebundenen Körper, insbesondere Regelscheiben, welche die Werkstückführung beim Centerless-Schleifen übernehmen, werden je nach Breite, aus mehreren Scheibenrohlingen gepresst

### ■ **Trocknen und Brennen**

Nach einem Trocknungsprozess, bei dem der größte Teil des Benetzungsmittels verdunstet, wird der keramisch gebundene Schleifkörper in einem kontinuierlich oder periodisch arbeitenden Ofen gebrannt. Die Schmelzeigenschaften der Bindungen sind auf die Schleifwerkzeuge und deren Brenntemperatur abgestimmt. Diese Temperatur liegt im allgemeinen zwischen 900 und 1300°C. Die Öfen sind mit Öl, Strom oder Erdgas beheizt. Hierbei achten wir darauf, möglich energiesparend zu arbeiten um Rohstoffressourcen zu schonen und umweltbewusst zu produzieren. Der kontinuierlich arbeitende Tunnelofen besteht aus je einer Aufheizzone, Brennzone und Abkühlzone. Diese Zonen sind unterschiedlich lang und die Temperaturübergänge sind fließend. Die Temperatur in den

einzelnen Zonen ist stets gleichbleibend. Um kostenintensive Aufwärmphasen zu vermeiden, betreiben wir unseren Tunnelofen im Dauerbetrieb. Dies ermöglicht uns, jederzeit einer erhöhten Nachfrage an Schleifwerkzeugen nachzukommen. Das Brenngut, d. h. die Schleifkörper, werden mit konstanter Geschwindigkeit durch den Ofen gefahren.

In periodisch arbeitenden Öfen (Hauben-, Herdwagen- oder Kammeröfen) kann man sehr komplexe Brennkurven anwenden. Hier können die unterschiedlichsten Brennbedingungen für die entsprechenden Scheibentypen in Abhängigkeit von Scheibengröße und Zusammensetzung angewendet werden. Während des Brennprozesses schmilzt bzw. sintert die keramische Bindung, dabei entstehen die bereits erwähnten glasartigen bzw. porzellanähnlichen Bindungsbrücken.

### ■ **Aushärten**

Zum Aushärten von kunstharzgebundenen Schleifkörpern dienen elektrisch beheizte Kammeröfen mit Heißluftumwälzung. Das Temperaturprogramm wird über Regler gesteuert und über Temperaturschreiber kontrolliert. Hier arbeiten zwei von einander unabhängige Systeme um bei Störfällen Qualitätsschwankungen auszuschließen. Die Aushärtetemperaturen liegen je nach Scheibenart und Bindungstyp zwischen 160 und 200 °C und die Dauer des Härteprozesses beträgt zwischen 10 und 60 Stunden.

### ■ **Vulkanisieren**

Kautschukgebundene Schleifkörper werden in elektrisch oder mit Dampf beheizten Druckkesseln (Autoklaven) bei Temperaturen bis ca. 160 °C und geringem Druck vulkanisiert. Während der Vulkanisation wird die weiche, plastische Schleifkörpermasse mit Hilfe von Schwefel und Vulkanisations-

hilfsmitteln in Hartgummi überführt. Vulkanisationszeit und Temperaturhöhe sind für die Eigenschaften dieser speziellen Schleifkörper mitbestimmend.

## ■ **Fertigbearbeitung**

Einige Schleifkörpertypen (wie z. B. Segmente) erhalten bereits beim Formen ihre endgültige geometrische Form.

Der größte Teil jedoch wird mit Bearbeitungsaufmaß geformt, da die geforderte Präzision der Schleifwerkzeuge häufig nur durch Zerspanen der Aufmaße in einer gezielten Fertigbearbeitung erreicht werden kann. Dafür steht heute eine Vielzahl an modernsten und leistungsfähigen Maschinen zur Verfügung. Sehr enge Toleranzen und Gleichmäßigkeit der Schleifkörperdurchmesser werden auf unseren CNC-gesteuerten Maschinen problemlos eingehalten.

Auch hier investieren wir regelmäßig in Fortbildungen und neue Maschinen, um permanent mit neuen Produkten und Dienstleistungen unsere Marktposition zu verbessern. Die integrierte Drehwerkzeug-Verschleiß-Kompensation garantiert ein Höchstmaß an geometrischer Genauigkeit und Reproduktionssicherheit. Gegebenenfalls passen wir auch unseren Maschinenpark den Anforderungen unserer Kunden bzw. deren Aufträgen an.

## ■ **Endkontrolle**

Um die von den Kunden erwartete Qualität und Arbeitssicherheit von Schleifkörpern zu gewährleisten, ist größter Wert auf eine zuverlässige Endkontrolle zu legen. Vornehmlich werden folgende Prüfungen durchgeführt: Maßkontrolle, Unwuchtkontrolle, Härteprüfung, Rissprüfung durch Klangprüfung, Festigkeitsprüfung durch Probelauf sowie Material und Strukturprü-

fung. Diese Kontrollgänge stellen sicher, dass wir die Auflagen der „DIN EN 12413“ für Schleifwerkzeuge und „DIN EN 13236“ für Schleifwerkzeuge mit Diamant oder Bornitrid hinsichtlich Fertigungsrichtlinien und Unfallverhütungsvorschriften erfüllen. Eigene hausinterne Prüfvorgaben gehen dabei in vielen Fällen über die offiziell gültigen Vorschriften hinaus. Die Einhaltung der Vorgaben wird durch den Einsatz modernster Kontrollanlagen gewährleistet.

### ■ **Kennzeichnung**

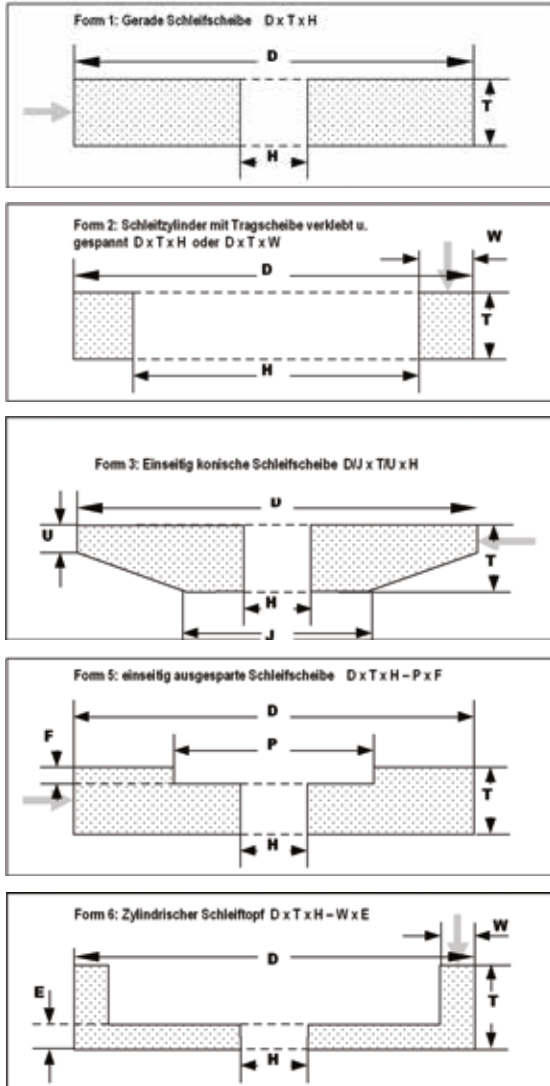
Bevor die Schleifkörper zum Versand gelangen, müssen sie entsprechend der Vorschriften gekennzeichnet werden. Zur Kennzeichnung wird zusätzlich ein Etikett mit allen relevanten Daten des Schleifkörpers beigefügt.

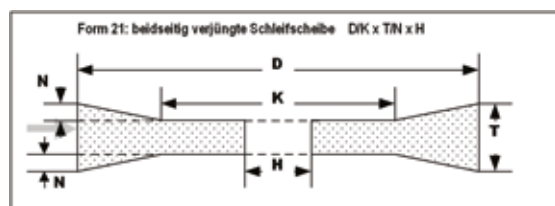
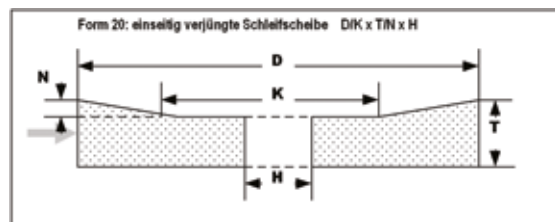
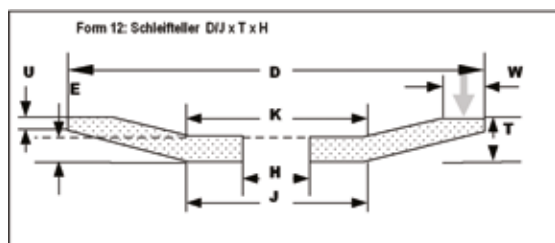
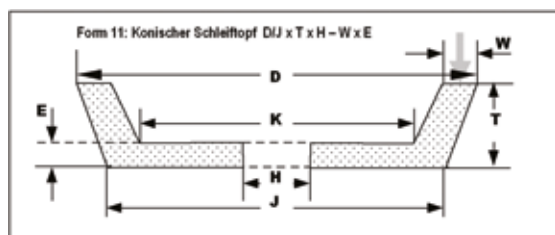
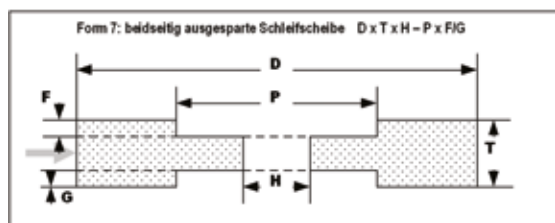
### ■ **Versand**

Eine oftmals unterschätzte Aufgabenstellung ist der Versand zum Kunden. Um einen reibungslosen Versand in fast alle Länder der Welt zu gewährleisten, arbeiten wir mit vielen Transportunternehmen zusammen, die wir je nach Anforderung auswählen. Internationale Bestimmungen und Anforderungen an Verpackung oder Abwicklung der Formalitäten stellen für unser gut geschultes Personal kein Hindernis da.

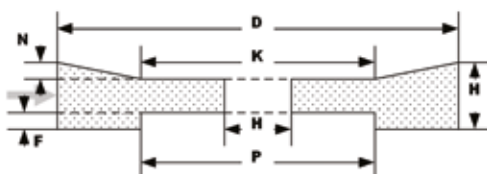
**Gleichgültig wie hoch Ihre Anforderung an uns ist, versuchen wir dieser nachzukommen und die Erwartungen zu übertreffen.**

# Grundformen einer Schleifscheibe

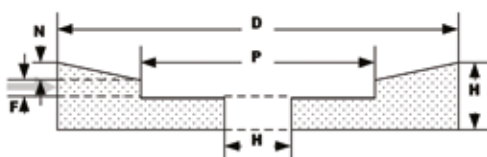




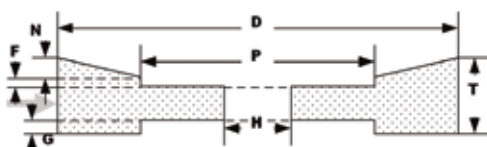
Form 22: einseitig verjüngte und gegenüber ausgesparte  
Schleifscheibe  $D \times K \times TN \times H - P \times F$



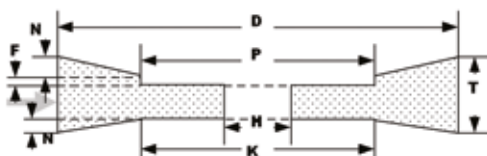
Form 23: einseitig verjüngte und ausgesparte Schleifscheibe  
 $D \times TN \times H - P \times F$



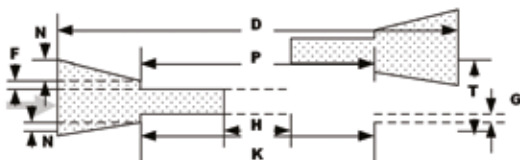
Form 24: beidseitig ausgesparte  
und einseitig verjüngte Schleifscheibe  $D \times TN \times H - P \times FIG$



Form 25: zweiseitig verjüngte und einseitig ausgesparte  
Schleifscheibe  $D \times K \times TN \times H - P \times F$



Form 26: zweiseitig verjüngte und zweiseitig ausgesparte  
Schleifscheibe  $D \times TN \times H - P \times FIG$











**NAXOS-DISKUS SCHLEIFMITTELWERKE GMBH**

Werner-von-Siemens-Straße 1 | 35510 Butzbach

Phone +49 (0) 60 33 / 899-0 | Fax +49 (0) 60 33 / 899-300

info@naxos-diskus.de | vertrieb@naxos-diskus.de

[www.naxos-diskus.de](http://www.naxos-diskus.de)

