

# 2D- und 3D-Beschreibungen von Oberflächen in der Praxis

## MFS / Arbeitsgruppe Aufzüge und Hebezeuge Treffen vom 24.11.2006

**Ingenieur-Bureau  
Oscar Kihm AG**  
Seestrasse 14b  
CH-5432 Neuenhof  
[www.okag.ch](http://www.okag.ch)

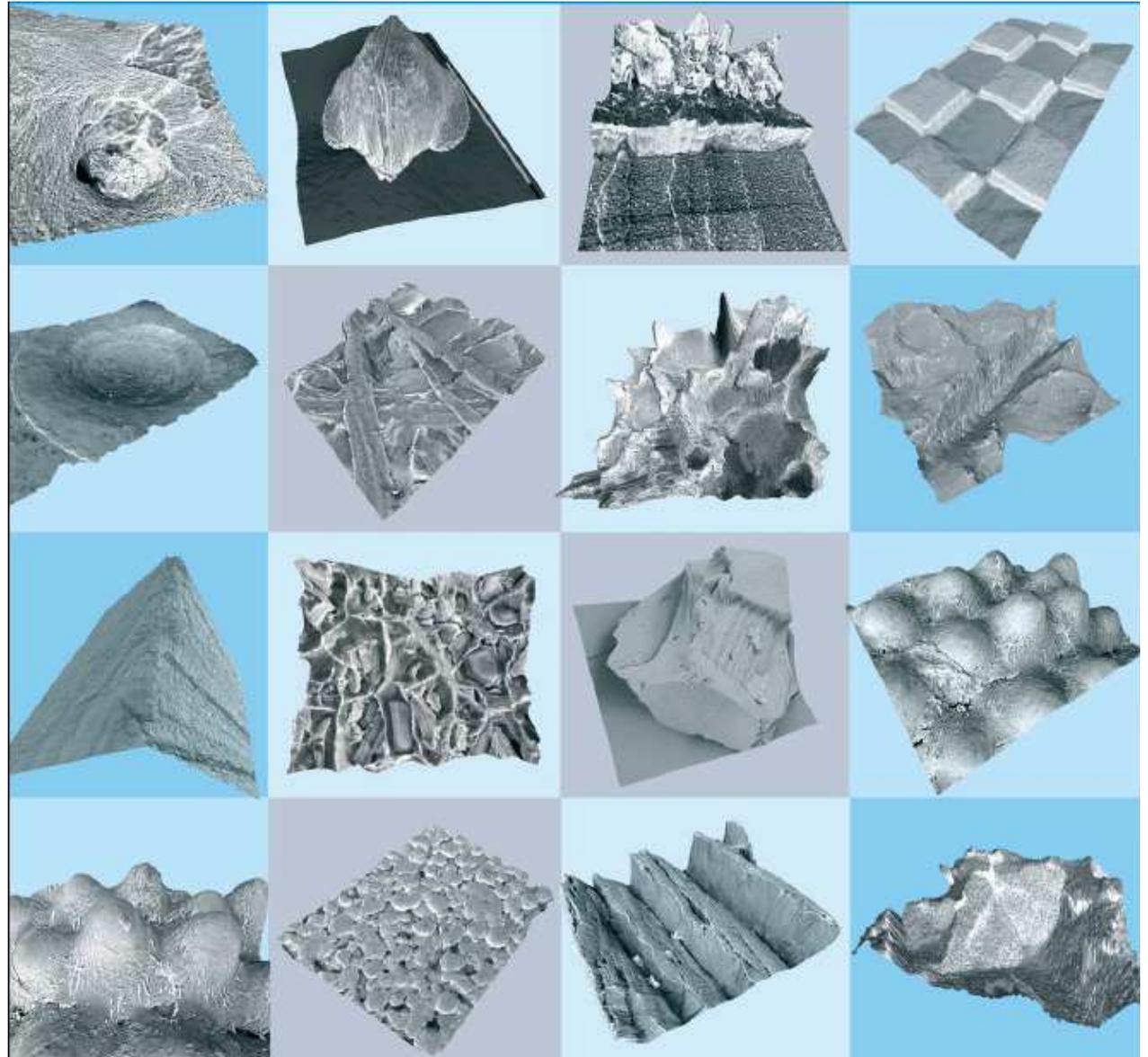
**Beat Meier**  
Dr. sc. techn., dipl. Masch. Ing ETH  
Inhaber Ingenieur-Bureau Oscar Kihm AG, Neuenhof

Neu Produktionsverfahren und Legierung ermöglichen die Herstellung immer neuer Oberflächentopographien mit unterschiedlichsten anisotropen Geometrien und zum Teil stark variablen lokalen Festigkeitseigenschaften .

„Der Fantasie sind heute fast keine Grenzen mehr gesetzt.“

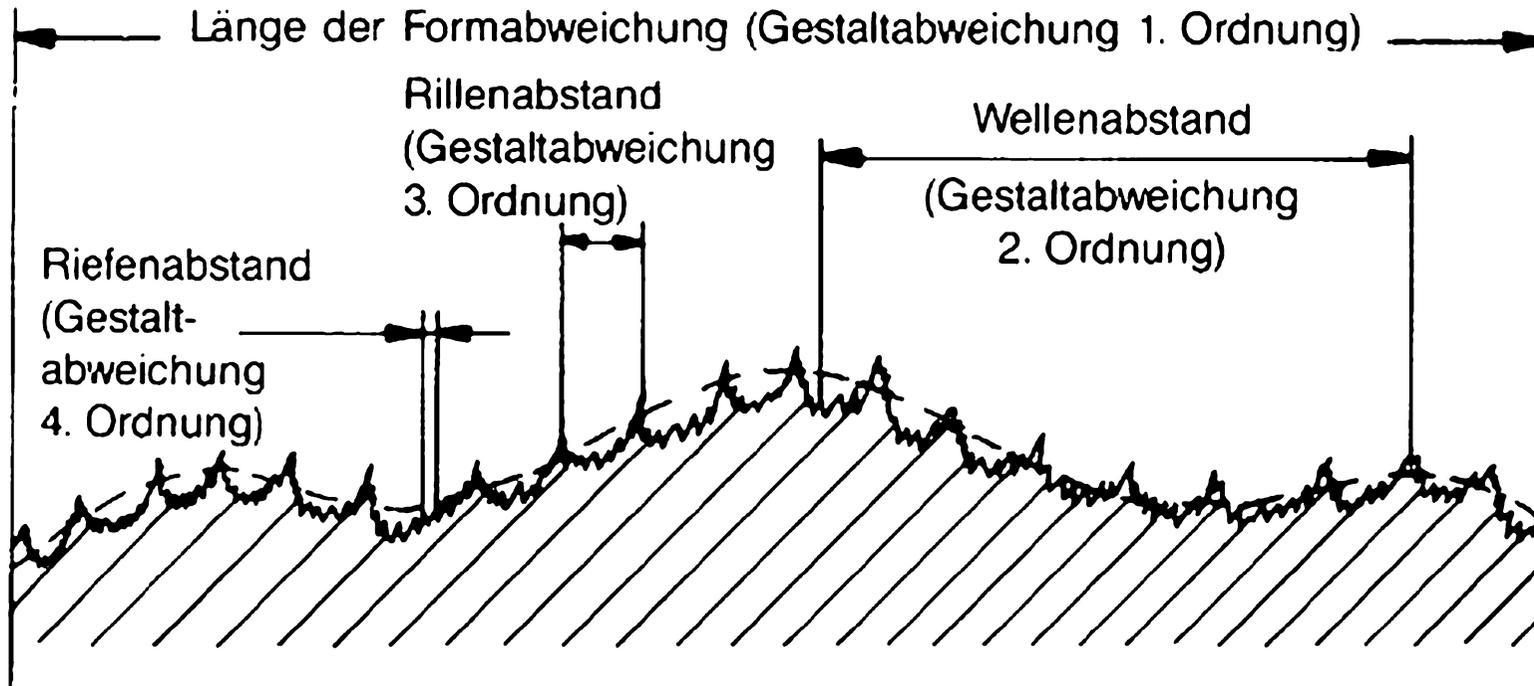
Die Beschreibung der Oberfläche im Hinblick auf die Vergleichbarkeit des Reib- und Verschleissverhaltens und dies über einen längeren Lebenszyklus ist nach wie vor schwierig, nicht normiert und nicht vollständig gelöst.

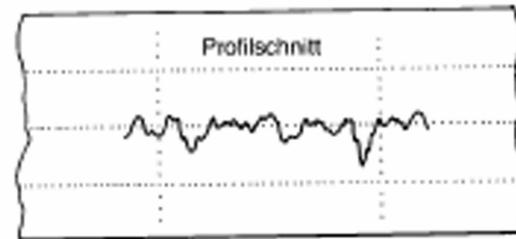
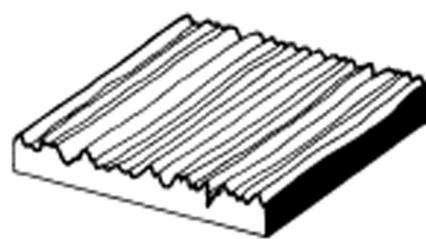
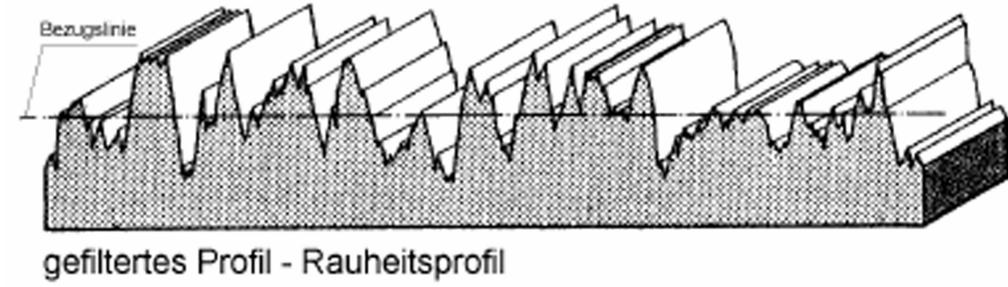
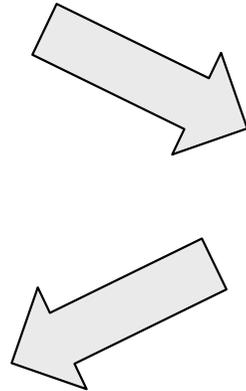
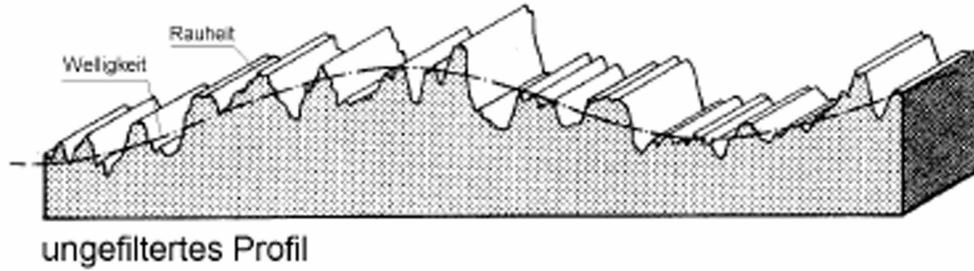
3D-Parameter zur Beschreibung von Oberflächen in der Praxis sind selten.



Gestaltabweichungen	Skizze	Entstehungsursachen
1. Ordnung  Formabweichung		Einspannfehler an der Werkzeugmaschine Führungsfehler Verformungen
2. Ordnung  Welligkeit		Schwingungen Unrundlauf von Spindeln Unwucht bei Drehbewegungen
3. Ordnung  Rauheit		Werkzeugschneidenradius Vorschub
4. Ordnung  Rauheit		Spanbildungsvorgänge Schervorgänge
5. Ordnung  Rauheit		Korngrenzenrißbildung Kristallisationsvorgänge
6. Ordnung  nicht mehr darstellbar		Gitterdefekte: Leerstellen Zwischengitteratome Versetzen

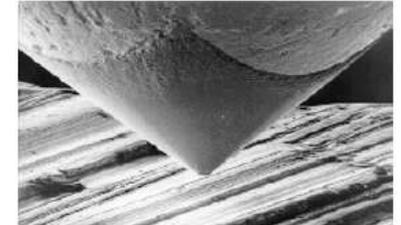
Bei Oberflächen werden Gestaltabweichungen 1. bis 5. Grades unterschieden.



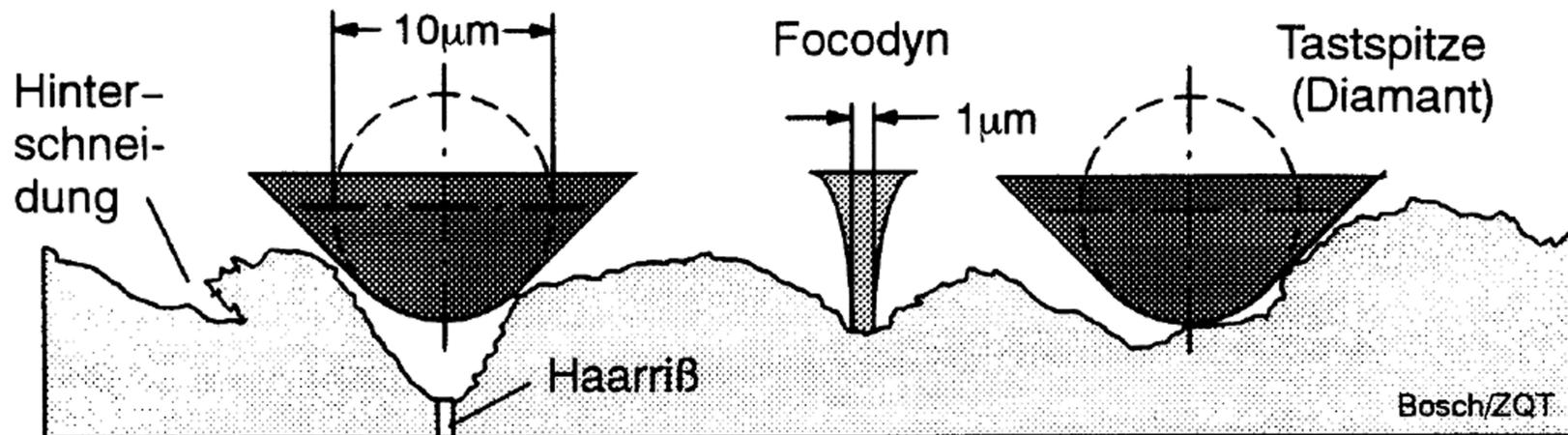


<b>Wahl der Grenzwellenlänge</b>				
<b>DIN EN ISO 4288, ASME B46.1</b>				
Periodische Profile	Aperiodische Profile		Grenzwellenlänge (Cutoff)	Einzel-/Gesamtmeßstrecke
Rillenbreite $RS_m$ (mm)	$R_z$ ( $\mu\text{m}$ )	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	$\lambda_c$ (mm)	$l_r / l_n$ (mm)
> 0,013 bis 0,04	bis 0,1	bis 0,02	0,08	0,08 / 0,4
> 0,04 bis 0,13	> 0,1 bis 0,5	> 0,02 bis 0,1	0,25	0,25 / 1,25
> 0,13 bis 0,4	> 0,5 bis 10	> 0,1 bis 2	0,8	0,8 / 4
> 0,4 bis 1,3	> 10 bis 50	> 2 bis 10	2,5	2,5 / 12,5
> 1,3 bis 4	> 50 bis 200	> 10 bis 80	8	8 / 40

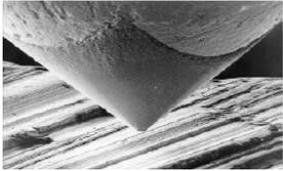
Das Messresultat ist stark vom Messverfahren abhängig. Mechanische Tastverfahren sind genormt. Die optischen Messverfahren erreichen höhere Auflösungen, sind jedoch wegen der Absorption und Streuung des Lichts und der dadurch notwendigen Filterung stark von der Oberflächenrauigkeit und dem Material abhängig.



Diamantspitze des Tasters (Spitzenradius 5  $\mu\text{m}$ )

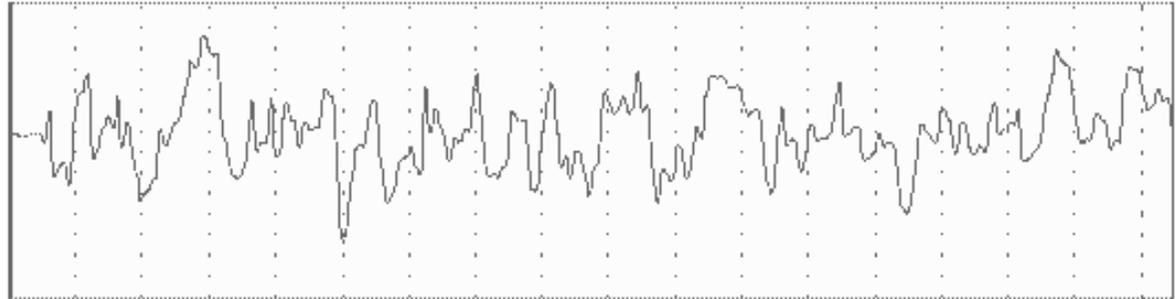


Rauheitsklassen	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12
Mittenrauwert Ra ( $\mu\text{m}$ )	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50

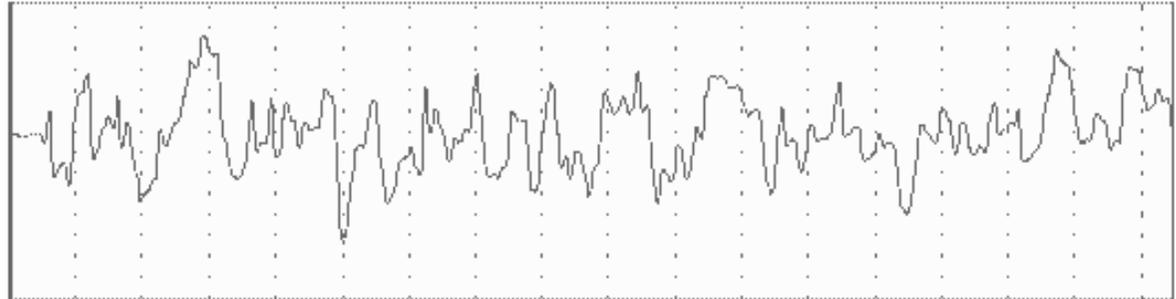


Diamantspitze des  
Tasters (Spitzenradius  
5  $\mu\text{m}$ )

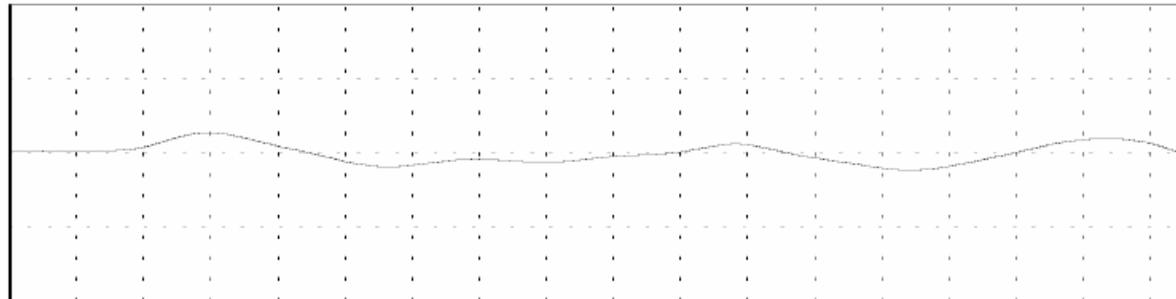
Profil ungefiltert



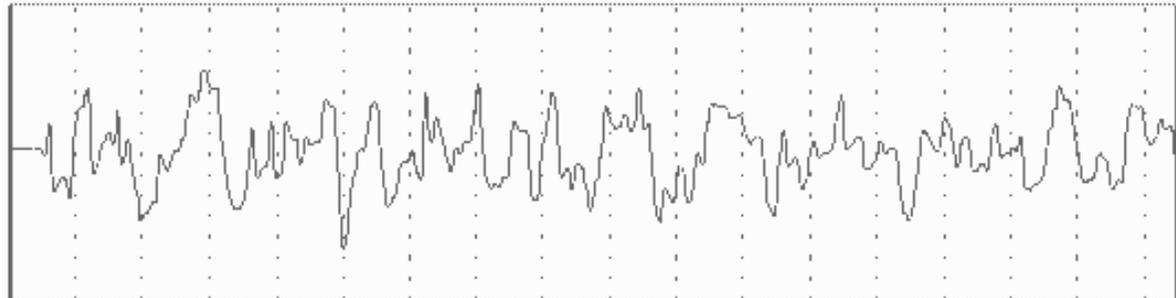
Profil gefiltert



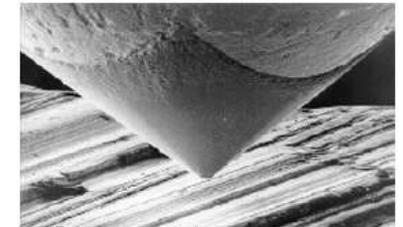
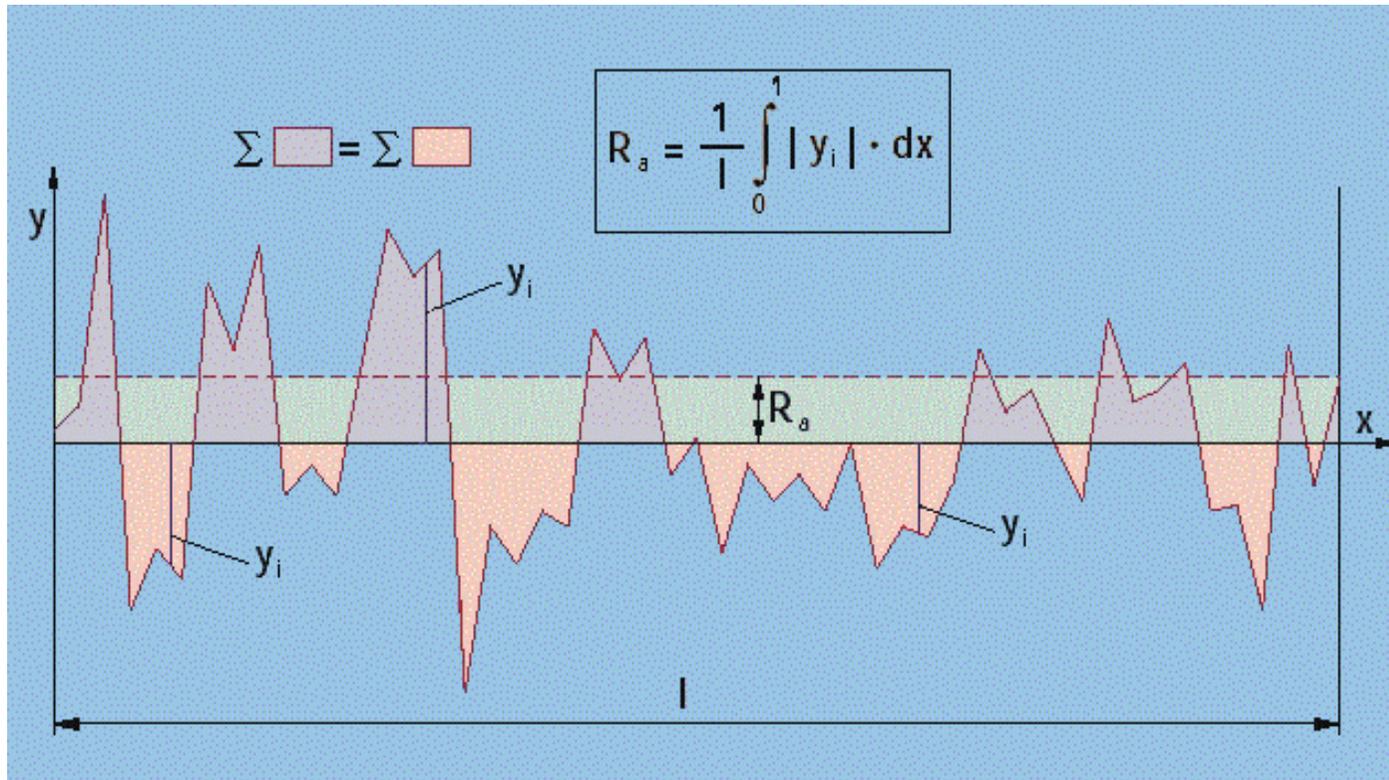
Welligkeit



Rauhigkeit



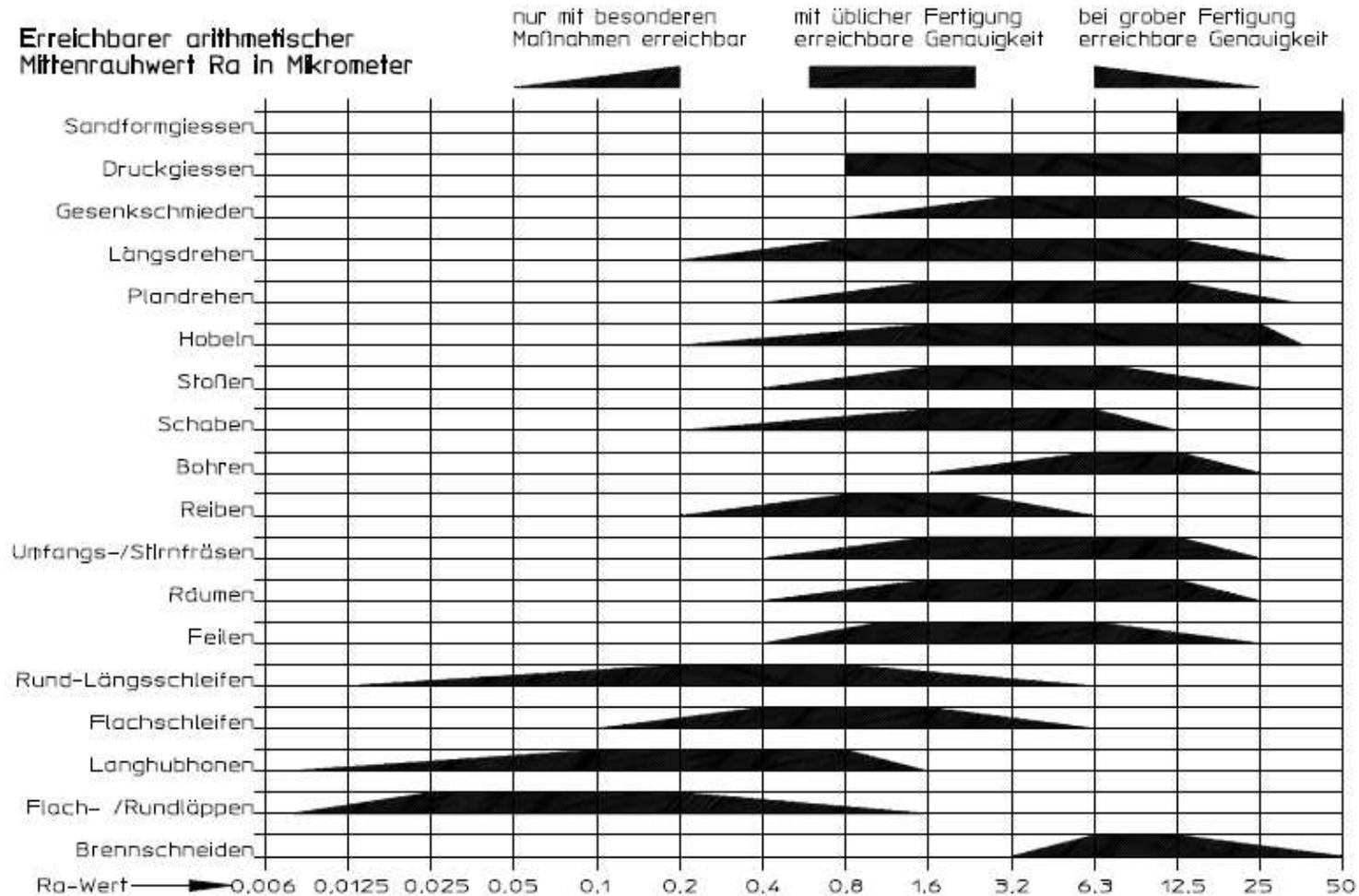
Der **Mittenrauwert Ra** ist der arithmetische Mittelwert der absoluten Beträge der Abstände  $y_i$  des Ist-Profiles vom mittleren Profil.



Diamantspitze des Tasters (Spitzenradius 5  $\mu\text{m}$ )

Rauheitsklassen	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12
Mittenrauwert Ra ( $\mu\text{m}$ )	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50

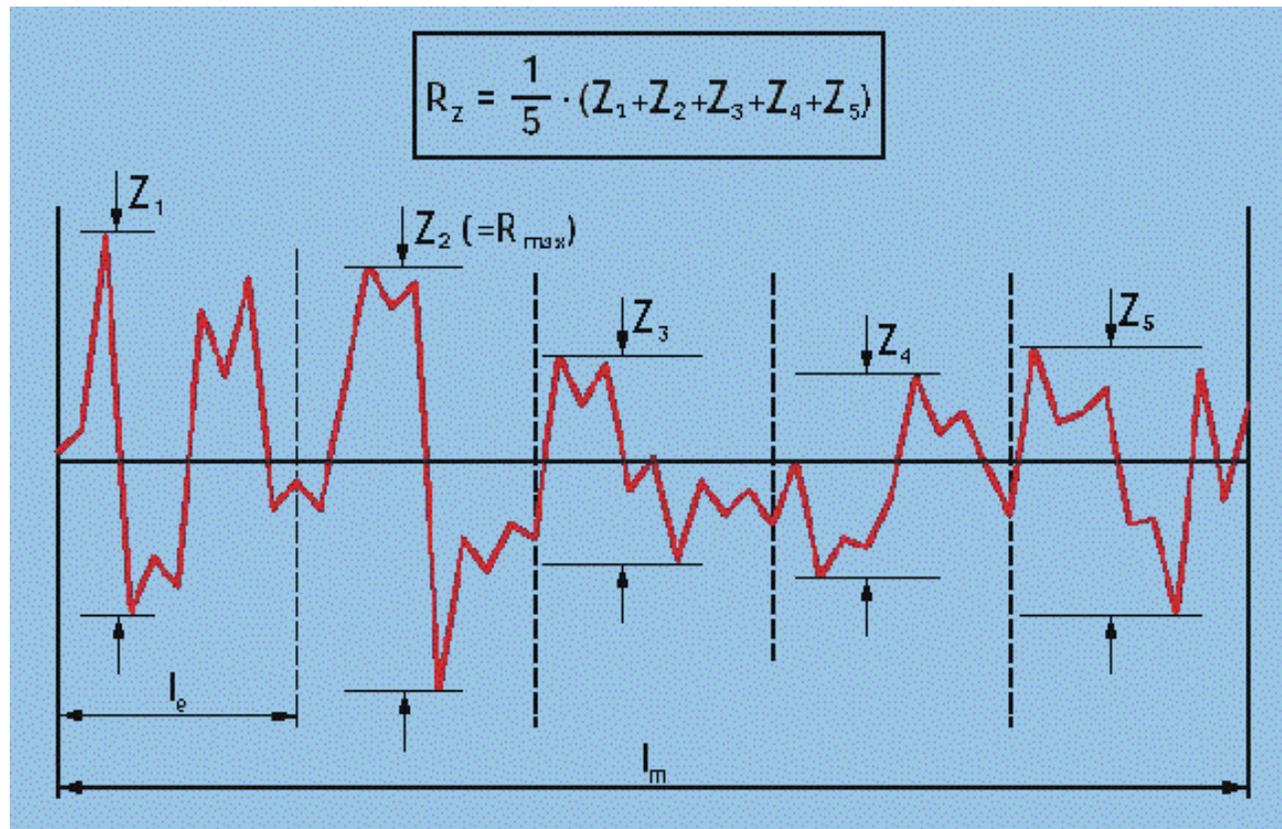
Erreichbaren Rautiefen nach Fertigungsverfahren (Zahlenwerte in  $\mu\text{m}$ )



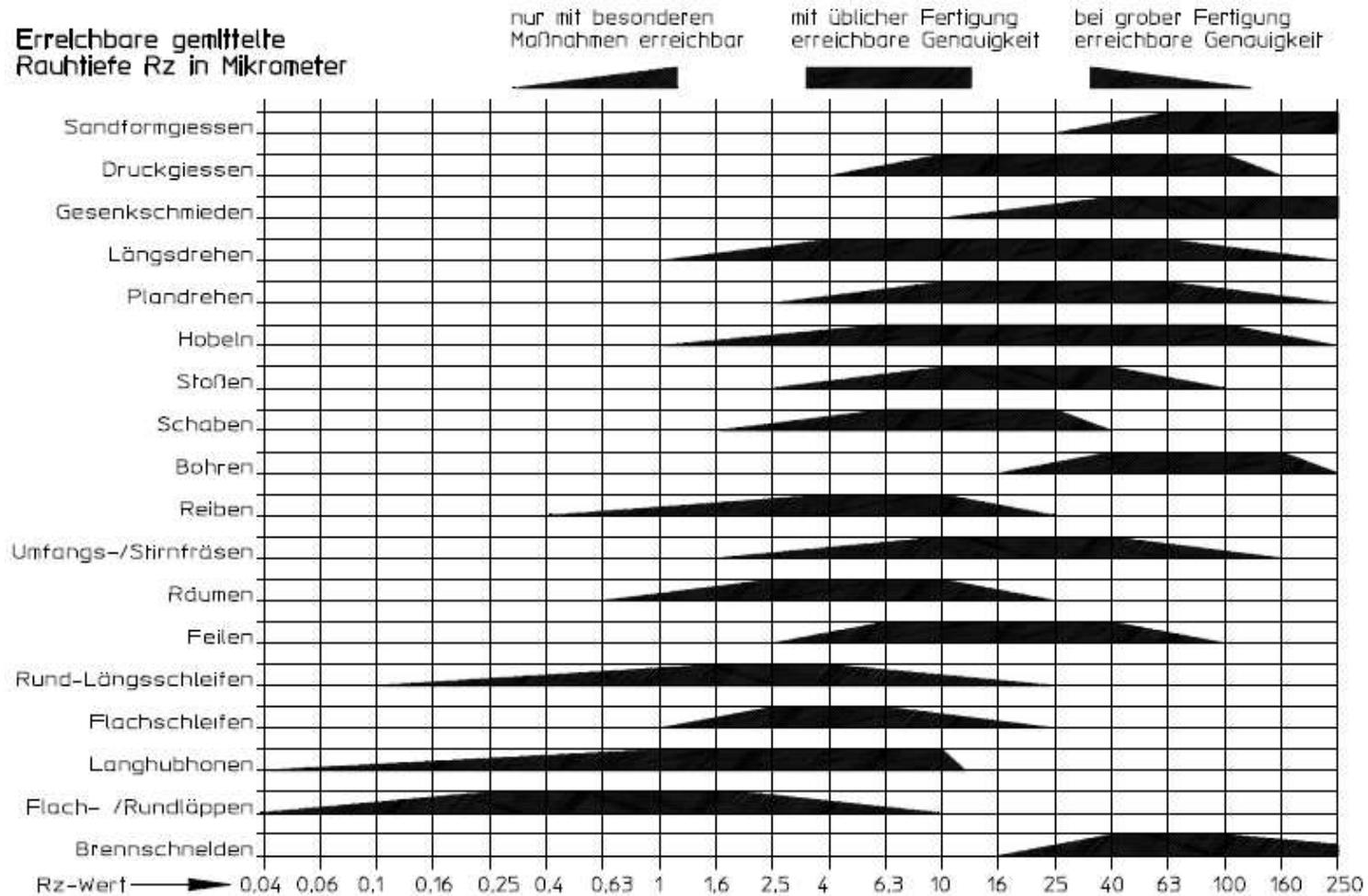
**Einzelrautiefe Zi** : Abstand zweier Parallelen zur mittleren Linie, die innerhalb einer Einzelmessstrecke le das gemessene Istprofil am höchsten und am tiefsten Punkt berühren.

Die **gemittelte Rautiefe Rz** ist das arithmetische Mittel aus den Einzelrautiefen Zi von fünf äquidistanten aneinandergrenzenden Einzelmessstrecken le.

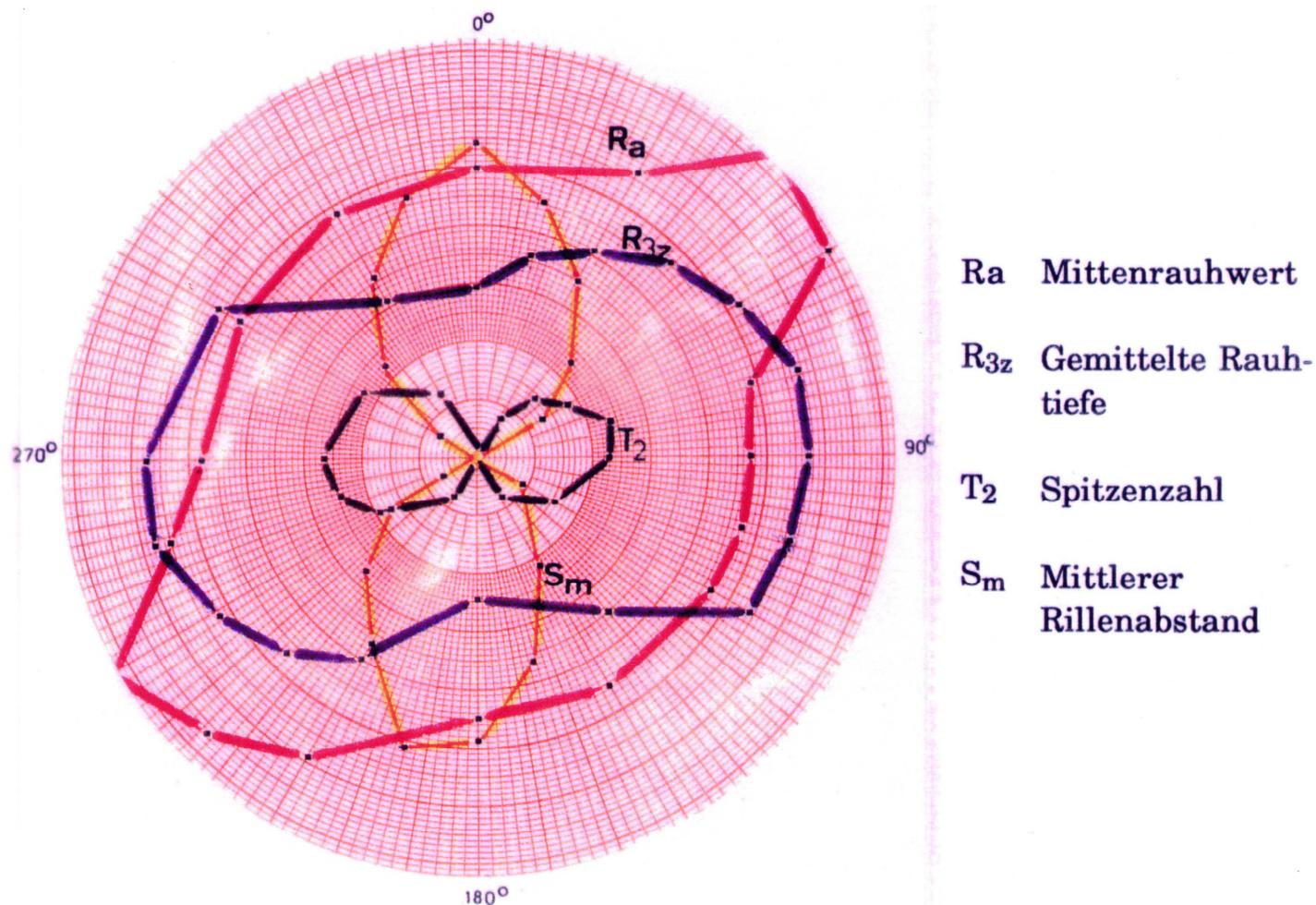
Die **maximale Rautiefe Rmax** ist der größte Wert der fünf Einzelrautiefen Z1 bis Z5.



Erreichbaren Rautiefen nach Fertigungsverfahren (Zahlenwerte in  $\mu\text{m}$ )

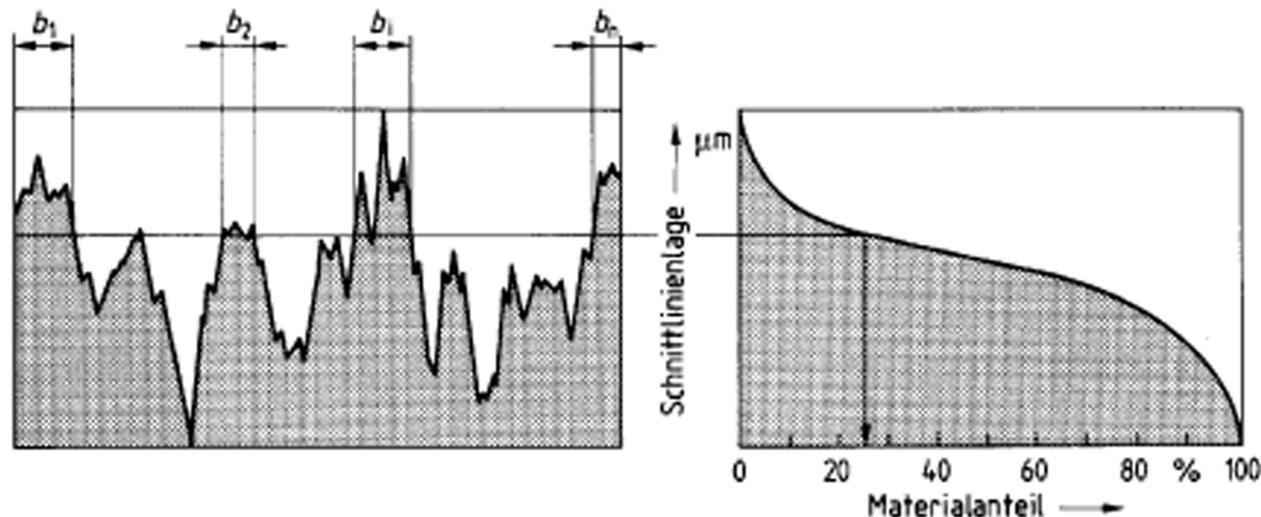


Die Eigenschaften von Oberflächen hängen sowohl von der Walzrichtung als auch der Messrichtung ab.  
Darum gilt: „Bei stark anisotropen Oberflächen kann jeder gewünschte Rauigkeitswert gemessen werden ...“



Die mechanischen Eigenschaften wie auch die Verschleisseigenschaften von Oberflächen sind u.a. abhängig vom Flächentraganteil.

Der Traganteil der Oberfläche kann sich im Gebrauch einerseits über plastische Verformung durch Schlagbeanspruchung oder Vibrationen, Verschleissabtrag, chemische Veränderungen (z.B. Oxidation), etc. ändern oder mittels Zwischenstoffen (z.B. speziellen Schmierstoff zum Einlaufen von Motoren) gezielt verändert und den Anforderungen im Betrieb angepasst werden.



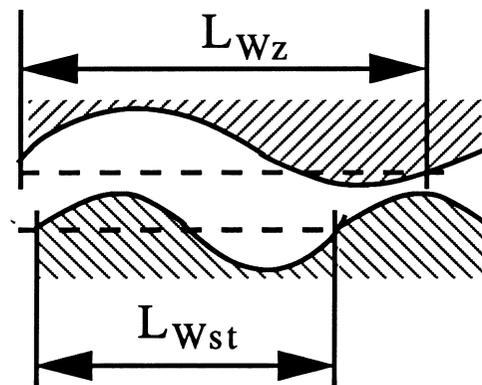
Die Eigenschaften von Oberflächenpaarungen sind u.a. stark abhängig von der Welligkeit der Werkzeug- und Werkstückoberflächen zueinander.

Ist das Wellenlängenverhältnis  $\lambda_\alpha$  von Werkzeug und Werkstück  $\sim 1$ , so tritt meist Verschleiss auf, der wiederum das  $\lambda_\alpha$  verändert.

Die weichere Oberfläche kann einerseits geglättet, als abrasive Teile in die Zwischenschicht eingebracht oder in Form von Werkstoffübertrag auf die härtere Oberfläche aufgetragen werden.

In günstigen Fall entsteht eine Schmierwirkung (Zink, etc.), im ungünstigen Fall abrasiver Verschleiss über Oxidpartikel (Eisenoxid, etc.) im Schmierstoff.

## Wellenlängenverhältnis $\lambda_\alpha$ in Bewegungsrichtung



$$\lambda_\alpha = \frac{L_{Wst}}{L_{Wz}}$$

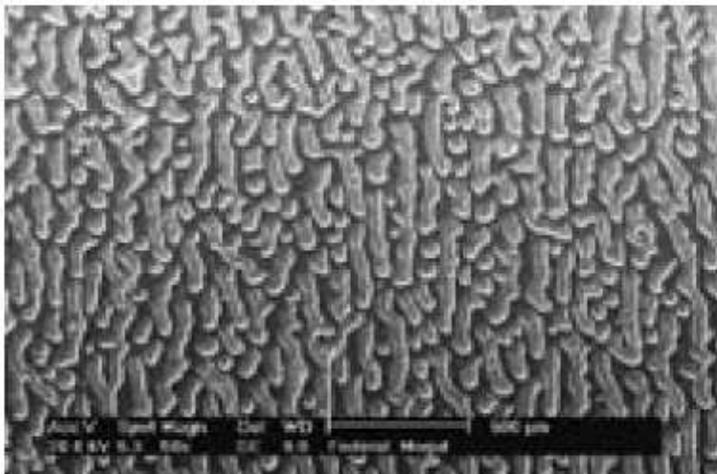
L : Wellenlänge  
Wz : Werkzeug  
Wst : Werkstück

Oberflächenstrukturen können heute durch elektrochemische Beschichtungsverfahren gezielt hergestellt werden.

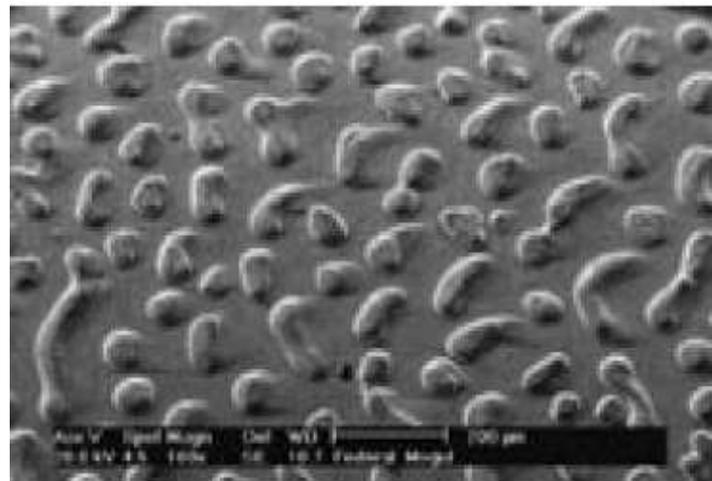
Mit der **Gestaltung der Oberflächetopographie** können so z.B.

- minimale Gleiteigenschaften, Wärmeleitfähigkeit, Haftfähigkeit von Verunreinigungen, etc.
  - maximale Hafteigenschaften, Flächentraganteile, Verschleissresistenz, etc.
- erreicht werden.

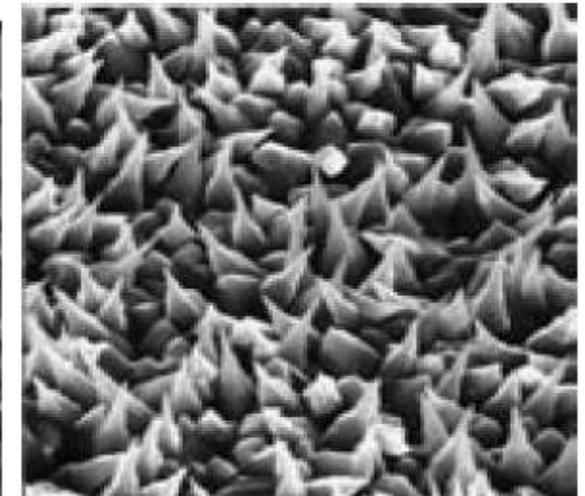
Neben der Rauigkeit und der Geometrie müssen jedoch auch die Werkstoffeigenschaften der Grenzschicht sowie des Grundwerkstoffes auf die gewünschten Anforderungen abgestimmt werden.



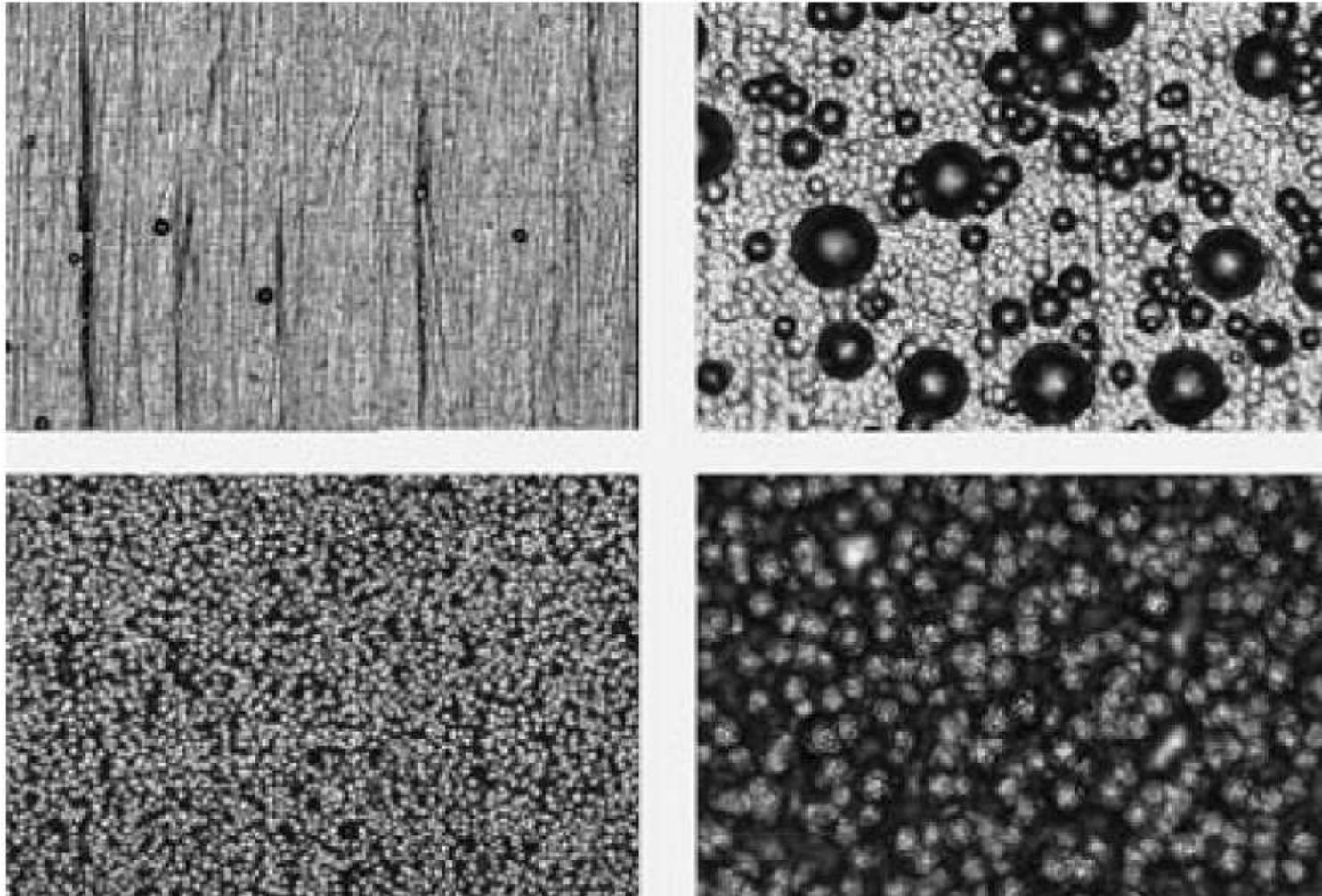
Strukturierte Chromschicht (50fach)



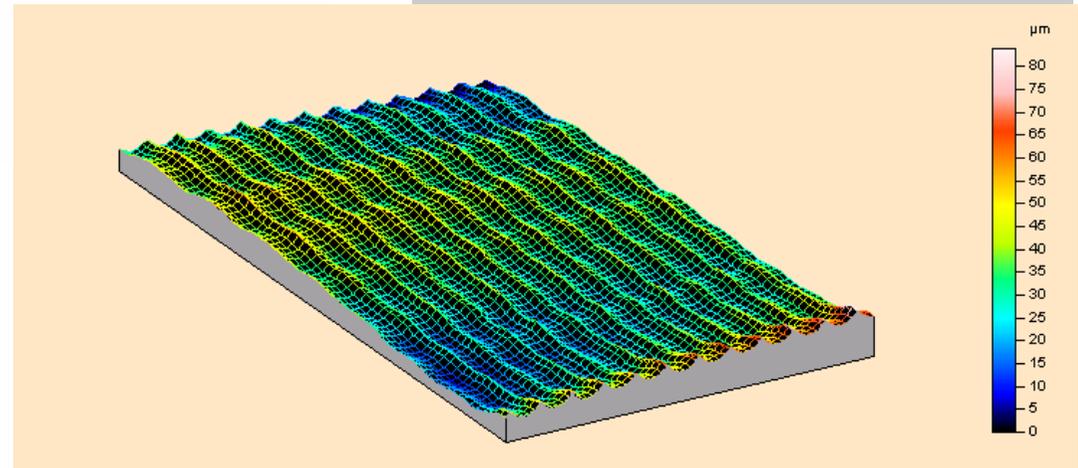
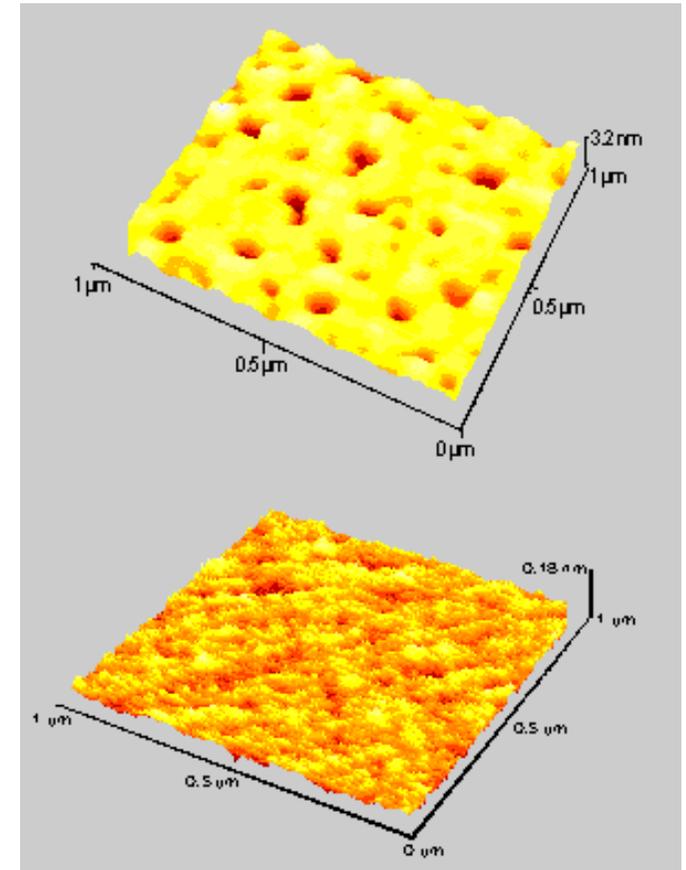
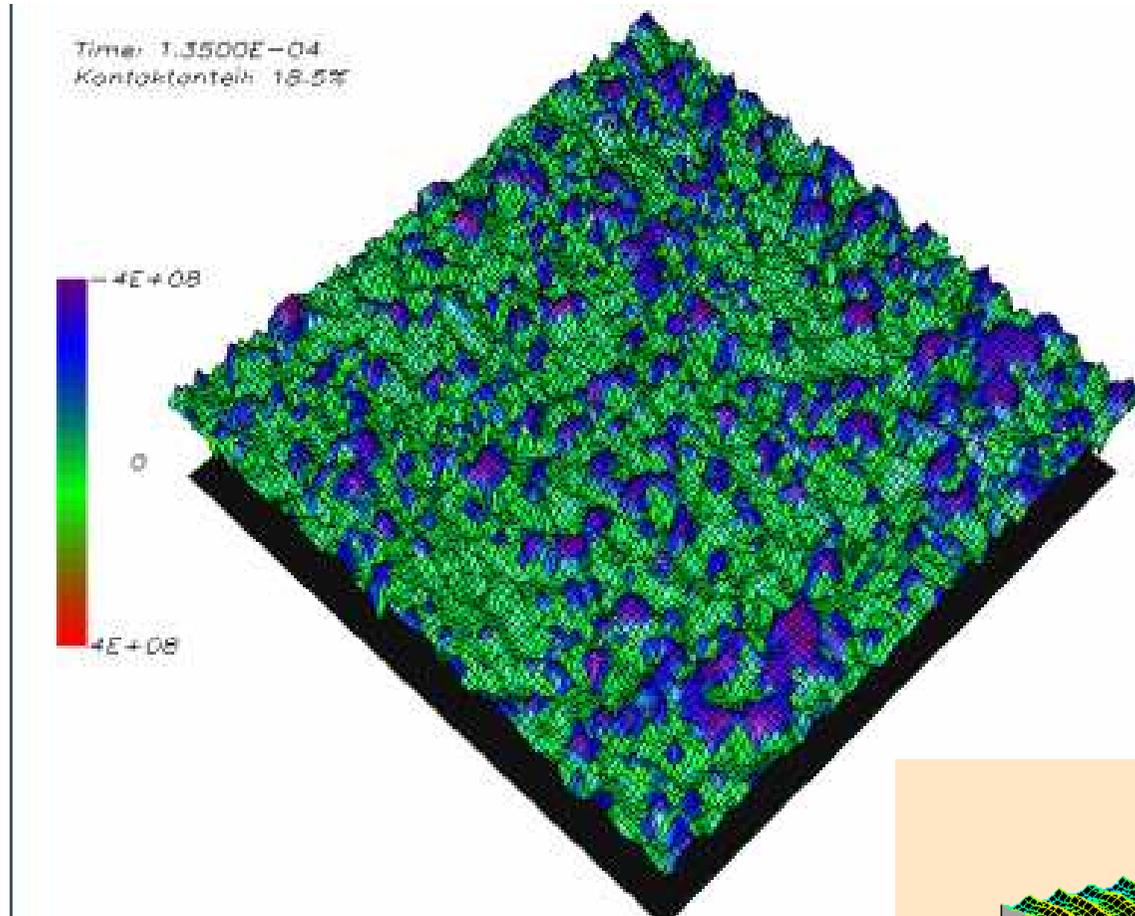
Strukturierte Chromschicht (100fach)



Mittels Pulsabscheidung  
strukturierte Kupferschicht

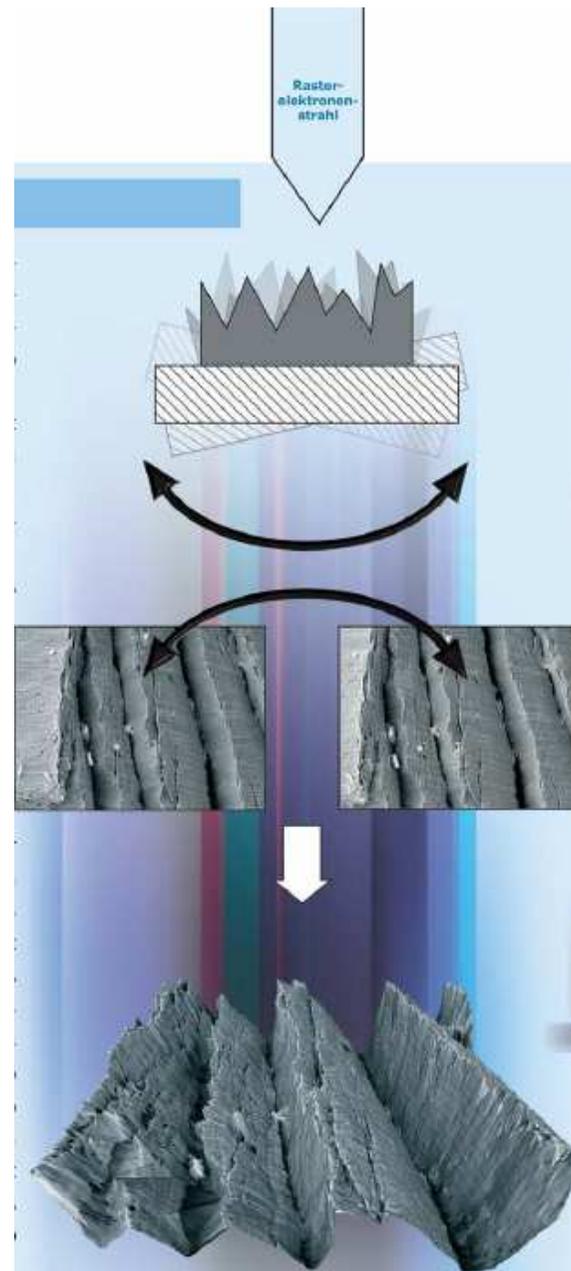


Lichtmikroskopischen Oberflächenaufnahmen : Strukturierte Topochrom-Oberflächen in unterschiedlichen Ausführungen.



Durch Überlagerung mehrerer Messungen können, zur plastischeren Darstellung der Oberflächen, Stereobilder erzeugt werden.

Diese Darstellung hilft, sich die Oberflächen bildlich vorstellen zu können. Da die verfahren nicht genormt sind, ist jedoch ein quantifizierbarer Vergleich unterschiedlicher Oberflächen nicht möglich.

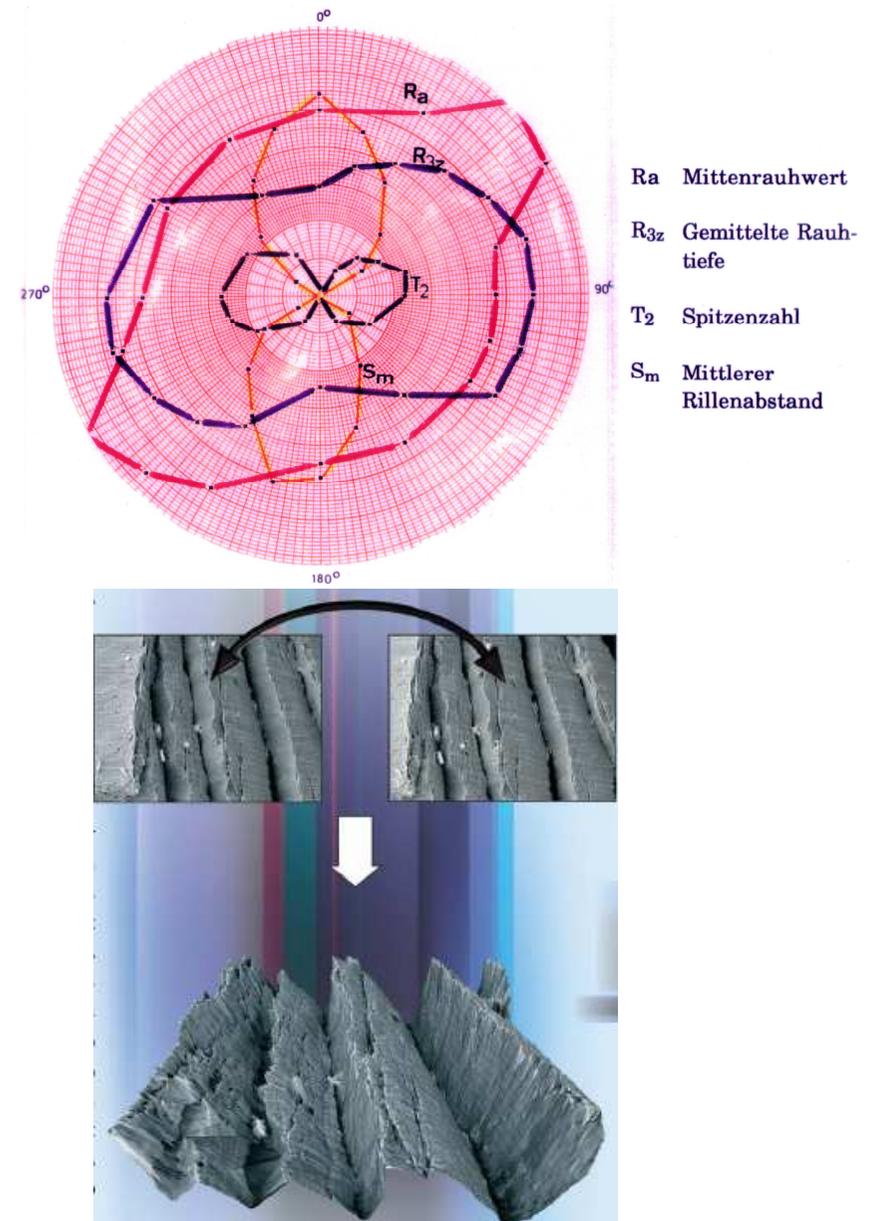


Die Beurteilung von Oberflächen auf Basis eines einzelnen Kennwerts ist nicht möglich.

Durch die geeignete Kombination von

- verschiedenen Oberflächen-Kennwerten unter
  - Berücksichtigung der Oberflächen-Anisotropie
- können Oberflächen verglichen und beurteilt werden.

Sind zudem die Eigenschaften des Werkstoffs und der Grenzschichten bekannt, so können oft Rückschlüsse auf das Reib- und Verschleissverhalten sowie die Anfälligkeit auf verschiedene Korrosionsarten (Tribokorrosion, Kontaktkorrosion, Lochfraßkorrosion, Flächen-Korrosion, Spaltkorrosion, Erosionskorrosion, etc.) gezogen werden zu.





**Ingenieur-Bureau  
Oscar Kihm AG**  
Seestrasse 14b  
CH-5432 Neuenhof  
[www.okag.ch](http://www.okag.ch)

## **Beat Meier**

Dr. sc. techn., dipl. Masch. Ing ETH  
Ingenieur-Bureau Oscar Kihm AG, Neuenhof