

 <p>TECHNISCHE FAKULTÄT DER CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT ZU KIEL</p>	<p>Gemeinsames Grundpraktikum</p>
<p>Oberflächenstrukturen</p>	<p>Versuch Nr.: M402</p>

Ziel: Die Oberflächenqualität verschiedener Bearbeitungsverfahren und ihr Einfluss auf die Veränderung der mechanischen Eigenschaften ist nachzuweisen.

Inhalt

1. Einleitung

2. Grundlagen

- 2.1 Oberflächenrauigkeit**
- 2.2 Statistische Betrachtung der Rauigkeit**
- 2.3 Optische Untersuchungsmethoden**

3. Versuchsdurchführung

- 3.1 Mikrofokus**
- 3.2 Proben**
- 3.3 Versuchsdurchführung**
 - 3.3.1 Probenvorbereitung
 - 3.3.2 Profilvermessung
 - 3.3.3 Bestimmung der Schlagarbeit

4. Versuchsauswertung

- 4.1 Oberflächenbearbeitung**
- 4.2 Einfluss der Oberfläche auf die Bauteileigenschaften**

5. Literatur

1. Einleitung

Die Bedeutung der Oberflächen in der Materialwissenschaft lässt sich von vielen Seiten erschließen, so dass sich keine einheitliche Darstellung geben lässt. Allgemein versteht man unter der Oberfläche sowohl ein mehr oder weniger in die Tiefe reichendes Gebiet der Oberfläche oder eine definierte "dünne" Schicht an der Oberfläche als auch die tatsächliche zweidimensionale Trennfläche.

Dass die Oberfläche oder Phasengrenze Einfluss auf die Eigenschaften eines Werkstücks hat, wird an den elektrischen Eigenschaften sehr offensichtlich. Hochfrequenzströme laufen nur durch eine dünne Oberflächenschicht im Leiter; die Austrittsarbeit und Bandverbiegung an den Grenzflächen bestimmen die Halbleitereigenschaften. Als Erklärung dient die veränderte Randbedingung des periodischen Gitterpotentials an der Oberfläche. Tatsächlich ist auch die Bindungsgeometrie an der Oberfläche verbogen und in der Regel sind die Abstände der ersten Atomlagen an der Oberfläche gegenüber denjenigen im Volumen verkürzt (Oberflächenrelaxation).

Auch chemischer Angriff und Korrosion wirken naturgemäß über die Oberflächen, denen mit speziellen Oberflächenbeschichtungen und Anstrichen begegnet wird. Für eine Haftung von Schutzschichten aller Art ist ein rauher Untergrund meist erwünscht, während für unbeschichtete Werkstoffe eine polierte, glatte Oberfläche vorteilhaft ist. Dies bedeutet eine geringere Angriffsfläche für chemische Korrosion und weniger Haftung für Schmutzteilchen, die elektrochemische Korrosion der Oberfläche fördern können.

Beim Kerbschlagbiegeversuch (M403) wird deutlich, dass die Formgebung an der Oberfläche (Kerbe, Riss) durch Spannungsüberhöhungen und Fließbehinderung Auswirkungen auf die Festigkeit eines Werkstücks hat. Oberflächenhärte und Rauigkeit sind auch wichtige Parameter für Abrieb und Verschleiß eines mechanisch beanspruchten Bauteils. Verschleißbeanspruchte Bauteile (Lager, Fräsköpfe) sind meist mit einer besonderen Oberflächenbehandlungen versehen, z. B. poliert / geringere Fertigungstoleranzen oder Oberflächenhärtungen. In die Oberfläche eingearbeitete Strukturen (periodische Gräben, Stege, definierte Krümmung) zusammen mit sehr geringer Rauigkeit sind Voraussetzungen für optische Bauteile wie Gitter, Spiegel und Linsen.

Bei dem im Versuch genutzten Messprinzip dringt das verwendete IR-Licht von 780 nm nur unwesentlich in die Probe ein und tastet so die Geometrie der Oberfläche ab. Strukturen im μm -Bereich wie Kratzer, Poren und Bearbeitungsspuren lassen sich damit ausmessen. Zur Vereinfachung werden in diesem Versuch die Oberflächen als ungekrümmt betrachtet.

2. Grundlagen

2.1 Oberflächenrauigkeit

Die Oberflächenrauigkeit bezieht sich auf die Höhenabweichungen der tatsächlichen Grenzfläche von der ideal glatten gemittelten Begrenzungsebene. Es gibt keine einheitlichen Messgrößen für die Rauigkeit, da diese stark vom verwendeten Meßsystem und der gestellten Messaufgabe abhängen. Eine im atomaren Maßstab glatte Oberfläche mit wenig Reibungswiderstand für eine darüber strömende Flüssigkeit kann für das Auge eine Welligkeit im Zentimeterabstand aufweisen.

Der Laserfokus besitzt zwei unabhängige Regelstrukturen zum Nachführen der Linse. Je nach Messbereich und Datenerfassungsrate sind Messwertschwankungen zwischen 3 nm und 18 nm erreichbar (Abbildung 1). Feinere Auflösungen werden von mechanisch arbeitenden Messmitteln erreicht, deren Diamantabtastspitzen $0,1 \mu\text{m}$ Rundungsradius besitzen.

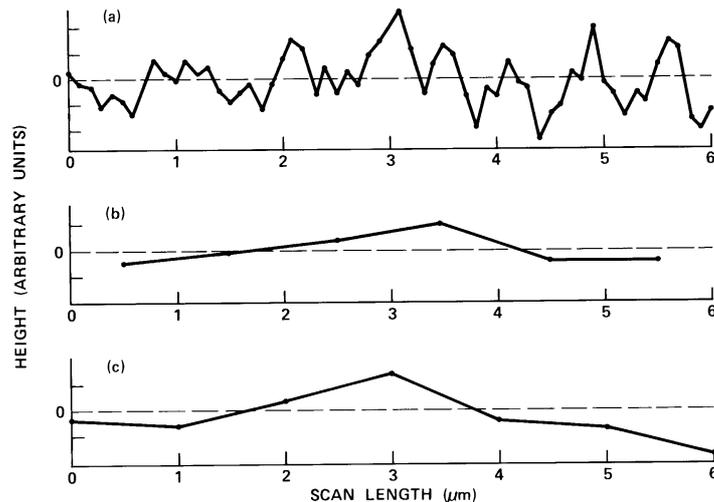


Abbildung 1: Die gemessene Rauigkeit hängt stark von den Messparametern ab:

- (a) Profil mit 0,1 µm Messintervall
- (b) Profil über 1 µm Messintervall und über 1 µm² gemittelt
- (c) Profil mit 1 µm Messintervall, jeder 10. Wert von (a).

Quelle: [2]

Daneben erlauben Verfahren wie die Elektronenmikroskopie (siehe [1]) Auflösungen im atomaren Bereich, die für Oberflächen mechanischer und optischer Werkstücke allerdings nicht benötigt werden.

Bei polierten Oberflächen, die im allgemeinen als glatt angenommen werden, ist die Rauigkeit direkt vergleichbar mit der Korngröße des verwendeten Poliermittels (0,25 - 9 µm) und damit gerade noch vom Mikrofokus auflösbar. Neben Bearbeitungsmarken werden auch Textur von polykristallinem Material, Undulationen (wellenförmiger Abtrag) von chemischen Polituren und feine Granulation (Körnigkeit) von Dünnschichten an der Oberfläche erfasst, wenn deren Strukturen als Abweichung von einer gemittelten Oberfläche darstellbar sind.

2.2 Statistische Betrachtung der Rauigkeit

Die Messwerte lassen sich mit der rms Rauigkeit (root mean square) auswerten, sie ist eine statistische Größe und ist über

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N z_i^2} \quad (1)$$

definiert. Die Variable z_i ist dabei die Höhenabweichung der Messung Nr. i von einer gemittelten Idealfläche (siehe Abbildung 2). Die Ähnlichkeit mit der bekannten Standardabweichung ist natürlich nicht zufällig; die rms Rauigkeit wird oft für die Charakterisierung optischer Oberflächen verwendet.

Für maschinenbearbeitete Oberflächen wird die mittlere Rauigkeit R_a benutzt [3]:

$$R_a = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N |z_i| \quad (2)$$

Sie ergibt für "große Ausreißer" vom Mittelwert (tiefe Löcher, hohe Spitzen) kleinere Rauigkeiten als die rms Rauigkeit. Weitergehende Aussagen sind zu erhalten, wenn die zugehörige Verteilungsfunktion der Höhenmesswerte betrachtet wird, die im Idealfall einer Gaußverteilung

$$g(z) = \frac{A_{\text{norm}}}{\delta\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\left(\frac{z_i}{2\delta}\right)^2\right) \quad (3)$$

folgen. A_{norm} ist eine Größennormierung.

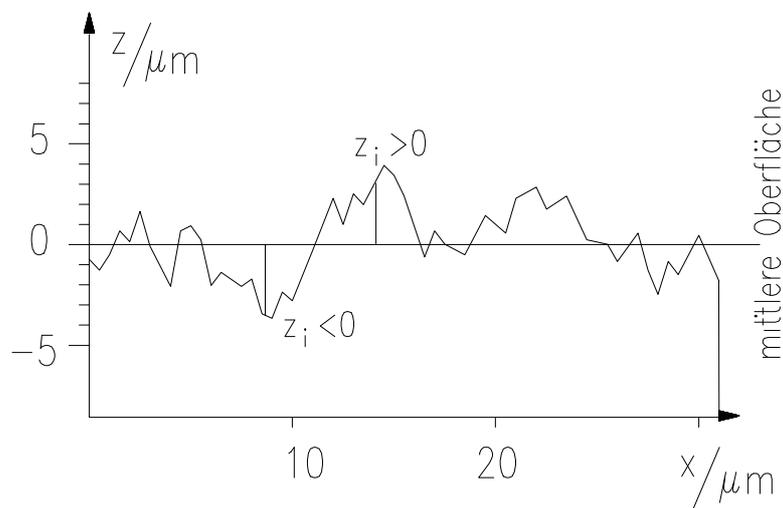


Abbildung 2: Schematische Darstellung einer rauhen Oberfläche

Die mittlere Oberfläche ergibt sich aus

$$\sum_{i=1}^N z_i = 0 \quad (4)$$

über alle Messpunkte i .

Wird das δ^2 der rms Rauigkeit für die Varianz der Gaußverteilung benutzt und werden die Flächen aufeinander normiert (A_{norm}), so lassen sich die Abweichungen voneinander leicht deuten. Anschauliche Beispiele zeigt Abbildung 3. Für ein tieferes Studium sei auf [2] verwiesen.

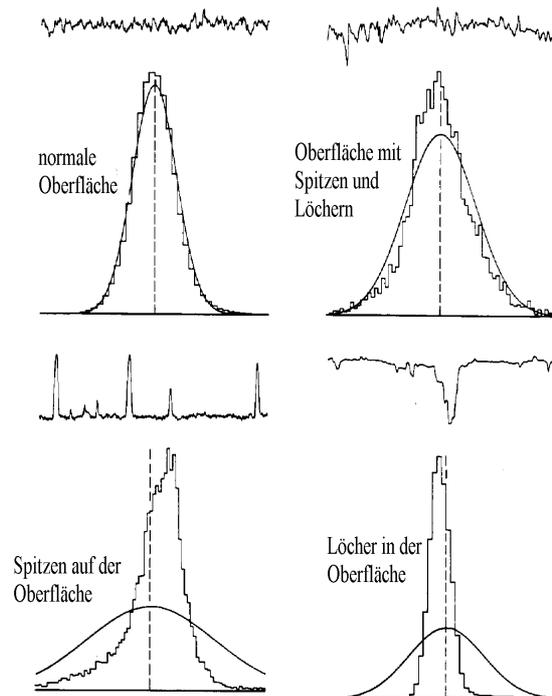


Abbildung 3: Histogramme der Messwerte im Vergleich mit dem zugehörigen Gaußprofil

Das Gaußprofil hat die gleiche Fläche und die gleiche Varianz wie die Messwerte (y-Achse: Anzahl der Messwerte = N , x-Achse: Einheiten der willkürlichen Intervallbreite Δx , Fläche des Messprofils und des Gaußprofils: $N \cdot \Delta x$; aus[2]).

Die spektrale Dichtefunktion ist das Frequenzspektrum der Oberflächenrauigkeit in Einheiten inverser Längen. Sie wird mit Hilfe von Fourier-Transformationen ermittelt. Genauso wie man eine Frequenzanalyse einer beliebigen Geräuschquelle durchführen kann, wird hier versucht, den Verlauf der Rauigkeit eines Oberflächenschnittes durch die Superposition von mehreren Sinuswellen anzupassen, die sich in Frequenz, Amplitude und Phasenverschiebung unterscheiden. Abbildung 4 zeigt dies vereinfacht. Vor allem periodisch wiederkehrende Oberflächenstrukturen lassen sich schnell erkennen (z. B. Sägespuren): Die Spektrale Dichtefunktion hat ein erstes Maximum bei der Grundfrequenz der periodischen Struktur.

Im Extremfall, dass ein Grabengitter auf der Oberfläche für optische Anwendungen vorliegt, ergeben sich scharfe Frequenzmaxima bei der Grundfrequenz und den Oberfrequenzen.

Für die Berechnung mit numerischen Methoden wird oft die FFT (Fast Fourier Transformation) benutzt. Interessierte an FFT-Programmierung seien auf [4] verwiesen.

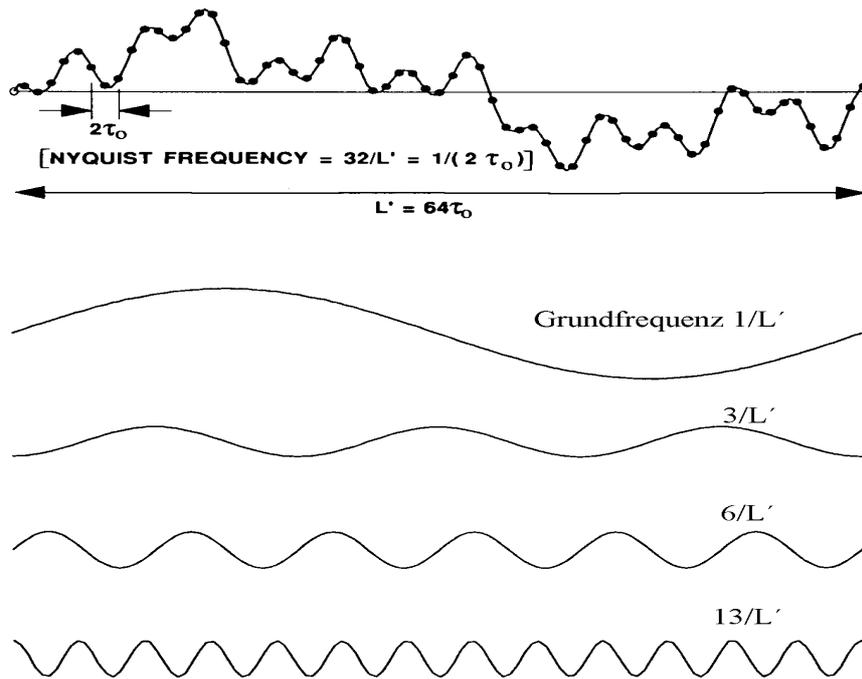


Abbildung 4.1.: Spektrale Dichtefunktion an einem einfachen Beispiel. Das gemessene Oberflächenprofil lässt sich durch die Überlagerung von vier Sinuswellen darstellen [2]

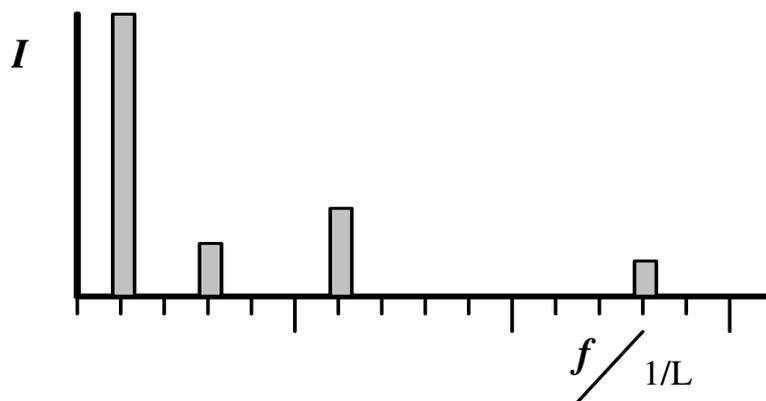


Abbildung 4.2.: Die Spektrale Dichtefunktion ist dann die Darstellung der ermittelten Schwingungsfrequenzen und der zugehörigen Amplituden in einem (Balken)Diagramm

2.3 Optische Untersuchungsmethoden

Eine einfache Erfassung der Rauigkeit ist durch die Auswertung von Streulichtmessungen zu erhalten. Ein Maß für die Rauigkeit im optischen Bereich ist die TIS (total integrated scattering). Eine raue Oberfläche hat eine höhere diffuse Reflexion in beliebige Richtungen als eine glatte, die nur in die Hauptrichtung reflektiert.

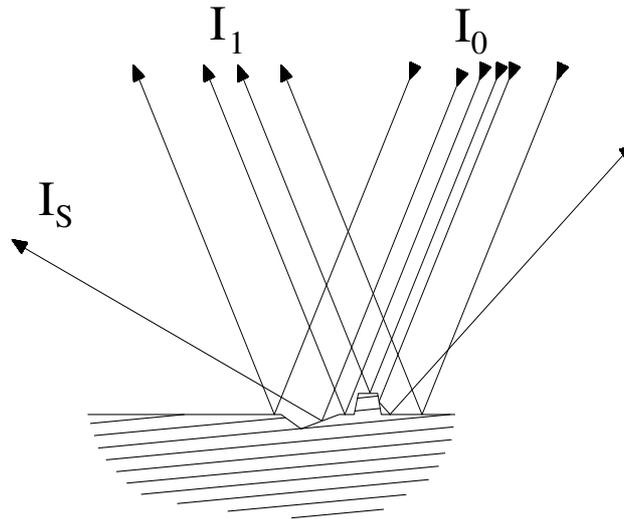


Abbildung 5: Schematische Darstellung der TIS

TIS wird oft mit Laserlicht durchgeführt. Dabei trifft der Primärstrahl I_0 auf die Oberfläche und die Hauptreflexion I_1 entspricht der Reflexion an der gemittelten idealen Oberfläche. Abweichungen von der idealen Oberfläche machen sich durch Streulicht in alle Raumwinkel bemerkbar. Die TIS ist das Verhältnis der Intensitäten I_1 zu I_s . I_s wird dabei meist mit einem halbkugeligen Detektor aufgefangen, der für den Primärstrahl und den Spekularstrahl ausgeschnitten ist.

Die TIS ist definiert als:

$$\text{TIS} = \frac{I_1}{I_s} \cong \left(\frac{4\pi\delta}{\lambda} \right)^2, \quad (5)$$

wobei δ wieder die rms Rauigkeit ist und λ die Wellenlänge des verwendeten Lichts.

Der empfindlichste Detektor ist jedoch das menschliche Auge, weshalb die Interferenzkontrast-Mikroskopie (DIC - Differential Interference Contrast oder Normanski Mikroskop) gut geeignet ist, um Oberflächenstrukturen zu untersuchen. Diese "Messwerte" lassen sich nicht im Computer weiterverarbeiten; so dass diese Mikroskopie für automatisierte Messwernerfassungen ungeeignet ist. Für Einzeluntersuchungen und einen schnellen Überblick liefert das Interferenzkontrast-Mikroskop eine gute Auflösung und die schnelle Zuordnung eines Oberflächenfehlers mittels des Abbildes. Eine schematische Darstellung für den Aufbau eines solchen Mikroskops zeigt Abbildung 6.

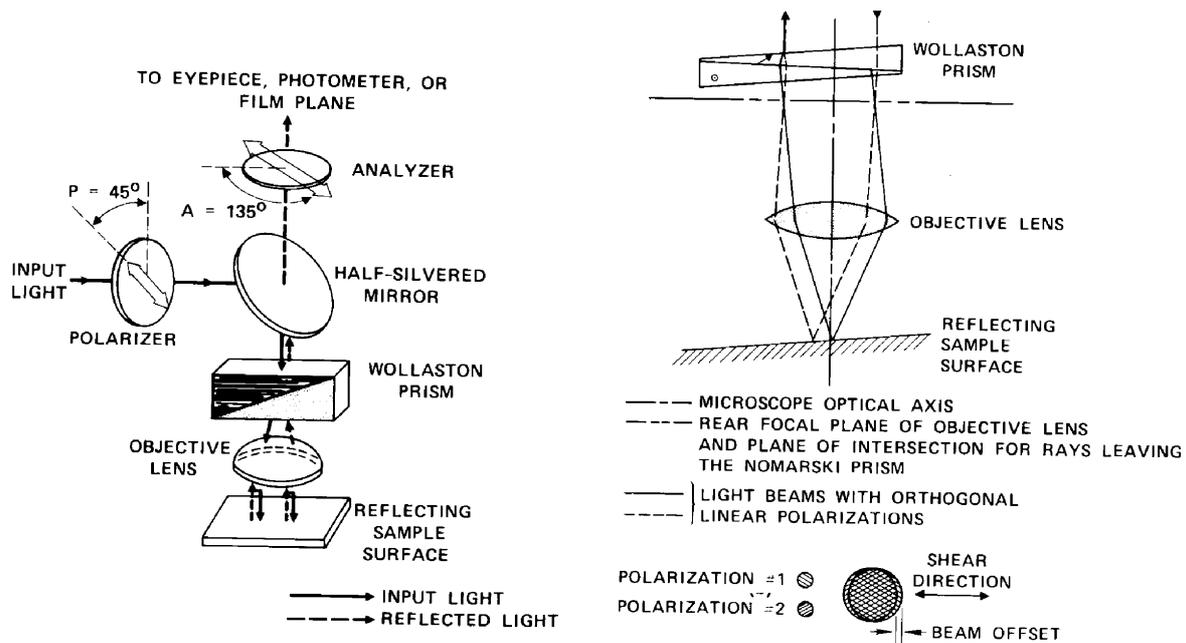


Abbildung 6: Prinzipskizze eines Interferenzkontrast-Mikroskops (aus [2])

Das Licht von der Beleuchtungseinheit passiert einen Polarisator und danach ein Wollaston-Prisma. Dieses spaltet den Strahl in zwei versetzte, zueinander rechtwinklig polarisierte Teilstrahlen auf. Das Mikroskopobjektiv fokussiert beide Strahlen in zwei leicht gegeneinander verschobene Spots auf der Oberfläche im Abstand von ca. $1\mu\text{m}$. Kleine Defekte (bzw. Höhenunterschiede zwischen den Spots) auf der Oberfläche verursachen eine kleine Phasenverschiebung zwischen den Strahlen.

Die reflektierten Strahlen passieren wieder das Objektiv und das Wollaston-Prisma und interferieren miteinander in der Bildebene. Dabei führen die Phasenunterschiede bei der Überlagerung der Teilstrahlen zu Amplitudenunterschieden. Zu jedem spezifischen Phasenunterschied lässt sich eine Farbe oder Helligkeit zuordnen. Durch die Verwendung eines Polarisationsanalysators lässt sich die Hintergrundfarbe ausblenden; nur die Höhenstörungen sind mit ihrem Phasenunterschied sichtbar (oder Bereiche der Oberfläche mit anderen Optischen Konstanten).

Auch der Mikrofokus ist ein optisches Messverfahren. Hier wird ein fokussierter Laserstrahl zur Abtastung der Oberfläche eingesetzt. Er wird mit einer Linse auf die Oberfläche fokussiert, die reflektierten Strahlen laufen auf dem gleichen optischen Weg zurück und werden mit einem halbdurchlässigen Spiegel ausgekoppelt. Eine Vielsegmentphotodiode kontrolliert den ausgekoppelten Strahldurchmesser. Liegt der Fokus nicht auf der Oberfläche, so ergibt sich eine Strahlaufweitung, die der Regelkreis für den Abstand Linse - Oberfläche nachfährt. Der Regelparameter für den Linsenabstand ist damit gleichzeitig die Messgröße für die Oberflächenkontur. Bei schwach reflektierenden Oberflächen oder bei konkaver Geometrie findet die Regelung keinen Fokus (Abbildung 7).

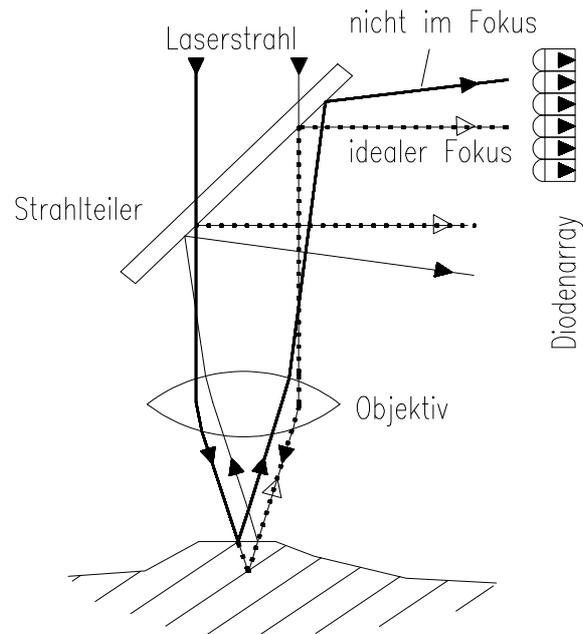


Abbildung 7: Prinzipskizze des Mikrofokus

Eine detailliertere Darstellung des Messprinzips ist am Messplatz ausgehängt.

3. Versuchsdurchführung

3.1 Mikrofokus

Zunächst ist nach dem Einschalten der Geräte in der Reihenfolge Computer, Bildschirm, Drucker und Sensorsteuerung die erste Probe auf den Messtisch zu legen und der Sensorkopf durch Grobverstellung am Handrad vorsichtig in den ungefähren Messabstand zu bringen. Wird er erreicht, wechselt die kleine LED am Messkopf von rot nach grün.

Der Mikrofokus wird vollständig über einen Computer gesteuert. Nach Starten des Programms **ubm** erscheint das Übersichtsmenü. Bei Fragen zum Programm lässt sich jederzeit über die Funktionstaste <F1> eine Hilfsanleitung zur Programmsteuerung einblenden.

Das Messsystem ist für die gestellte Aufgabe in folgender Reihenfolge vorzubereiten:

- Einstellungen: Sensor mit Mikrometerschraube am Messkopf auf Null stellen
Tischeinstellung auf Null
- Messen: Messmodus: Linienscan über 5 mm bei 300 Punkten/mm
Messprotokoll ausfüllen
Tisch: Messrichtung vorwärts
Messwerte: Profil, $\pm 500 \mu\text{m}$

Die Positionierung der Probe auf dem Tisch muss so erfolgen, dass die Messung senkrecht zum Profil erfolgt, nach dem Justieren sollte sie nicht mehr auf dem Tisch bewegt werden. Um ein Wiederauffinden der einzelnen Messungen zu ermöglichen, ist folgende Kennzeichnung einzuhalten:

- Gruppennummer mit angehängter Werkstoffbezeichnung, z. B. M3Al1
- Bearbeitungsschritte der Messwerte sind durch angehängte Buchstaben kenntlich zu machen, z.B. a-ausgerichtet, m-gemittelt.
- Abspeicherung unter d:\Praktikum\Versuch\Gruppennummer

Es ist darauf zu achten, dass Originaldaten nicht überschrieben werden.

Die Bearbeitung der Messwerte darf nicht zu deren Verfälschung führen. Sinnvoll ist ein Ausrichten zur Korrektur eines schrägen Untergrundes oder eine einfache Glättung, um Tendenzen hervorzuheben.

3.2 Proben

- 4 Aluminiumproben
- 3 Stahlproben
- 1 Siliziumprobe

3.3 Versuchsdurchführung

3.3.1 Probenvorbereitung

- Aluminium
Die 4 Schnittflächen sind wie folgt vorbereitet:
 1. Sägeschnitt
 2. Sägeschnitt poliert mit Körnung 1200
 3. Sägeschnitt geschliffen mit Körnung 220
 4. Sägeschnitt geschliffen, poliert in den Stufen 220, 500, 800, 1200
- Stahl
 5. Sägeschnitt
 6. Oberfläche gefräst
- Silizium
 7. Wafer vom Einkristall mit einer Innenlochsäge als Scheibe getrennt, geschliffen und poliert.

3.3.2 Profilvermessung

- An allen Proben wird die Profilerfassung über eine Messstrecke von 5 mm mit 300 Messpunkten / mm durchgeführt.
- Vor jeder Messung ist der Laser zu fokussieren.
- Die Bearbeitung der Messwerte soll die Tendenz des Kurvenverlaufes hervorheben und kann durch

- * Anzeige - Maximumskalierung
 - * Bearbeiten - Ausrichten mit Maximumskalierung
- Filter: Mittelung < 30 Punkte

erfolgen.

Die gewählte Bearbeitung ist für alle Messungen beizubehalten.

- An allen bearbeiteten Profilkurven sind tabellarisch zu erfassen (Messwerte, Bereich):
Maximum
Minimum
- Für jedes Profil ist die Tragkurve aufzurufen, die Messwerte sind tabellarisch zu erfassen.
- Aus den möglichen Rauhwerten (Anlage 1) sind 3 auszuwählen und tabellarisch zu erfassen.
- Die Amplitudenverteilung ist unter Tragkurve aufzurufen und getrennt abzuspeichern.

Beim Ausdruck der Kurven sollten immer 2 oder 4 vergleichbare Kurven auf einem Blatt dargestellt werden.

3.3.3 Bestimmung der Schlagarbeit

Die Stahlproben sind, nachdem das Oberflächenprofil aufgenommen wurde, getrennt nach Oberflächengüte mit einem 300 Joule-Pendel zu zerschlagen (siehe M403). Die dabei verbrauchte Schlagarbeit ist tabellarisch zu erfassen.

4. Versuchsauswertung

4.1 Oberflächenbearbeitung

Zum Vergleich der verschieden bearbeiteten Oberflächen sind die tabellarisch dargestellten Einzelwerte

- Schwankungsbreite der Messung,
- Tragkurvenanteil bei $0\ \mu\text{m}$, freier Raum, überstehendes Material,
- Rauhwerte

und die Darstellungen von Profil und Amplitudenverteilung zu werten.

Es sind Schritte für eine optimale Oberflächenbearbeitung anzugeben und zu begründen, Ursachen für das Oberflächenprofil des polierten Wafers sind zu nennen.

4.2 Einfluss der Oberfläche auf die Bauteileigenschaften

Unter Berücksichtigung von Oberflächenmesswerten, Tragkurve und Schlagarbeit sind zu begründen:

- Einfluss der Oberflächengüte auf die mechanischen Eigenschaften eines Bauteiles bei wechselnder oder schwingender Belastung.
- Einfluss der Oberflächengüte auf den Verschleiß.

5. Literatur

- [1] Bennet, L. Mattson: *Introduction to Surface Roughness and Scattering*; Optical Society of America, 1989
- [2] *Fachkunde Metall*; Verlag Europa; Lehrmittel 47. Auflage
- [3] Press, B. Flannery, S. Teukolsky und W. Vetterling,; *Numerical Recipes in Pascal*; Cambridge University Press Verlag

Anlage 1

Rauhwerte - Kenngrößen

- D** - Dichte (Riefenzahl) nach **DIN 4762/1E, ISO/DIS 4287/1**
Entspricht der Zahl der Profilspitzen (Riefen), die innerhalb der Auswertelänge wechselnd über- bzw. unterschritten wird.
- K** - Kurtosis der Amplitudenverteilung **DIN 4762/1E**

$$K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i^4 / R_q^4 \quad (6)$$

- Lo** - Gestreckte Profillänge nach **DIN 4762/1E, ISO/DIS 4287/1**
Ist gleich der Länge des Weges, den die Tastnadel auf der Oberfläche zurückgelegt hat.
- Lr** - Profillängenverhältnis nach **DIN 4762/1E, ISO/DIS 4287/1**
Ergibt sich aus dem Verhältnis des Weges, den die Tastnadel auf der Oberfläche zurückgelegt hat, zur Bezugsstrecke.
- Mean** - Arithmetisches Mittel der Messwerte.
- Mr1** - Kenngröße aus der Materialanteilkurve nach **DIN 4776**
Entspricht dem kleinsten Materialtraganteil des Rauheitskernprofils.
- Mr2** - Kenngröße aus der Materialanteilkurve nach **DIN 4776**
Entspricht dem größten Materialtraganteil des Rauheitsprofils.
- Pt** - Profiltiefe nach **DIN 4771**
Ist gleich dem Abstand der Parallelen, die das ungefilterte Profil innerhalb der Messstrecke kleinstmöglich einschließt, wobei der Abstand senkrecht zur Vorschubrichtung gemessen wird.
- Ra** - Mittelrauhwert nach **DIN 4768, ISO/DIS 4287/1**
Entspricht dem arithmetischen Mittel der Absolutbeträge aller Abweichungen des Rauheitsprofils von der Mittellinie innerhalb der Messstrecke.

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |z_i| \quad (7)$$

- Rk** - Kernrauhentiefe **DIN 4776**
Ist ein Kernwert aus der Materialanteilkurve
- Rmax** - Maximale Einzelrauhentiefe nach **DIN 4768**
Wird die Messstrecke in fünf gleiche Einzelmessstrecken unterteilt mit den Einzelrauhiefen $R_{t1} \dots R_{t5}$, so ist R_{max} gleich dem Maximum der Einzelrauhiefen.
- Rp** - Glättungstiefe nach **DIN 4762/1E**
Entspricht dem Maximum der Profilspitzen innerhalb des Auswertebereiches.
- Rpm** - Gemittelte Glättungstiefe nach **DIN 4762/1E**
Entspricht dem arithmetischen Mittel der fünf Einzelglättungstiefen.
- Rpk** - Reduzierte Spitzenhöhe nach **DIN 4776**
Entspricht der doppelten mittleren Höhe der abgeschnittenen Spitzen.

- Rq** - Mittelrauhwert nach **DIN 4768, ISO/DIS 4287/1**
Wird berechnet aus der 2. Wurzel aus dem quadratischen Mittel aller Abweichungen des Rauhtiefenprofils von der Mittellinie innerhalb der Messstrecke (Rms-Wert).

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i^2} \quad (8)$$

- Rt** - Maximale Rauhtiefe nach **DIN 4762/1E**
Entspricht dem senkrechten Abstand zwischen höchstem und tiefstem Punkt des Rauheitsprofils R innerhalb der Messstrecke.
- Rvk** - Reduzierte Riefentiefe nach **DIN 4776**
Kenngröße aus der Materialanteilkurve.
- RzDIN** - Gemittelte Rauhtiefe nach **DIN 4768/1**
Entspricht dem arithmetischen Mittel der fünf Einzelrauhtiefen
- RzISO** - Zehnpunktehöhe nach **DIN4762/1E, ISO/DIS 4287/1**
Entspricht der Summe der arithmetischen Mittel gebildet aus den fünf höchsten Profilerhöhungen und den fünf Absolutbeträgen der fünf kleinsten Tiefen.
- R3z** - Grundrauhtiefe; Daimler Benz-Werknorm N31007 (1983)
Entspricht dem arithmetischen Mittel aus fünf Einzelrauhtiefen R3z1...R3z5, wobei die Einzelrautiefen definiert sind als Differenz zwischen 3-höchster- Profilsitzen und 3-tiefstem- Profiltal.
- R3zm** - Maximale Rauhtiefe
Entspricht der maximalen der bei der Bestimmung von R3z vorkommenden Einzelrauhtiefe.
- S** - Normierte Riefenzahl nach **DIN 4762/1E, ISO/DIS 4287/1**
Anzahl der Spitzen / Riefen, die innerhalb der Auswertelänge wechseln, bezogen auf 10 mm.
- Sk** - Schiefe der Amplitudenverteilung nach **DIN 4762/1E, ISO/DIS 4287/1**
Gestattet Rückschlüsse auf den Traganteil der Oberfläche: je kleiner (negativer) Sk ist, desto größer ist der Traganteil.
- Sm** - Mittlerer Rillenabstand nach **DIN 4762/1E, ISO/DIS 4287/1**
Entspricht dem mittleren Abstand der Profilerhebungen (Rillen) innerhalb der Messstrecke.
- s-ST** - Standardabweichung der Steigung innerhalb des Auswertebereiches
- Wt** - Wellentiefe nach **DIN 4774**
Entspricht dem senkrechten Abstand zwischen höchstem und tiefstem Punkt des Welligkeitsprofils innerhalb der Gesamtmessstrecke.