

Oberflächenbeurteilung

-Rauheitsmessung-

Verfasser: Dipl.-Ing. Pat.-Ing. S. Jung

Spezialisierungsfachversuch und Hauptfachversuch
Universität Stuttgart

1 Einleitung

Die Werkstückoberfläche trennt ein Objekt von seiner Umgebung. Im einfachsten Fall ist das umgebende Medium Luft und die maßgebliche Forderung an die Oberfläche ist, dass diese möglichst kostengünstig ist. In vielen technischen Anwendungen haben Oberflächen bestimmte Funktionen zu erfüllen (vgl. Tabelle 1). In solchen Fällen müssen die Eigenschaften der Oberfläche möglichst genau definiert werden, damit die vorgesehene Funktion optimal erfüllt wird.

Funktion	Geforderte Eigenschaften	Beispiel
Lagerfläche	Geringe Reibung	Pleuellager
Leitfähigkeit	Große Kontaktfläche	Elektrische Schalter
Sichtflächen	Gleichmäßige Lichtreflexion	Lackierte Bleche
Haftfestigkeit	Definierte Mindestrauheit, spezielles Profil	Karosseriebleche
Reibung	Scharfe Spitzen, geringe Auflagefläche	Antriebswalzen
Dichtung	geringer Abrieb, geringe Reibung	Kolbenringe

Tabelle 1, Zusammenhang zwischen Funktion und geforderten Eigenschaften¹

Ein konkretes Beispiel aus der Dichtungstechnik sind Radialwellendichtringe. Zwischen Radialwellendichtring und Welle bildet sich ein dynamischer Spalt, der kleiner 1 μm ist. Somit sind die Werte für Rauheit und Welligkeit der Dichtflächen größer als die Höhe des Spaltes! Um den Radialwellendichtring vor zu starkem Verschleiß beim Einlaufen zu schützen, empfehlen Dichtungshersteller einen Mittenrauwert von $R_a=0,2\text{...}0,8 \mu\text{m}$ (gemittelte Rautiefe $R_z=1\text{...}5 \mu\text{m}$ und maximale Rautiefe $R_{\text{max}} < 6 \mu\text{m}$). Auf der anderen Seite darf die Dichtfläche nicht zu glatt sein, damit sich die charakteristische Rauheitsstruktur an der Dichtkante ausbilden kann.





In diesem Praktikum soll ein Einblick in die Oberflächenmesstechnik gegeben werden. Es werden verschiedene Rauheitsparameter und deren Unterschiede erläutert sowie weitere Kriterien zum Einschätzen von Oberflächen behandelt. Des Weiteren werden taktile und optische Oberflächenmessgeräte, welche am IMA vorhanden sind und mit welchen das Praktikum durchgeführt wird, vorgestellt.

2 Grundlagen der Oberflächenmesstechnik

2.1 Allgemeines

Alle realen Werkstückoberflächen (Istoberflächen) weichen von ihrer idealen Form (Solloberfläche) ab. Diese Unterschiede werden in DIN 4760:1982 in sechs Kategorien (Tabelle 2) unterteilt. Die Gestaltabweichung 5. und 6. Ordnung, welche in Tabelle 2 nicht mehr dargestellt sind, beziehen sich auf Gefügestruktur und Gitteraufbau und sind für Anwendungen im klassischen Maschinenbau nicht relevant. Sie finden Anwendungen in der Materialwissenschaft. Die Istoberfläche wird in Wellen unterschiedlicher Wellenlängen aufgeteilt. Hierbei nimmt die Wellenlänge mit der Ordnung der Gestaltabweichungen ab. Die Grenze, an der die Welligkeit in Rauheit übergeht, wird durch die Grenzwellenlänge λ_c festgelegt. Die Trennung der Profile kann mit einem Gaußfilter, der in DIN EN ISO 11562:1998 genormt ist, erfolgen.

¹ Rauheitsmessung Theorie und Praxis, Raimund Volk, 2005

Gestaltabweichung	Art der Abweichung	Beispiele für die Entstehungsursache
1. Ordnung: Formabweichung 	Geradheits-, Ebenheits-, Rundheits- Abweichungen	<ul style="list-style-type: none"> - Fehler in der Führung der Werkzeugmaschine - Durchbiegung der Maschine oder des Werkstücks - falsche Einspannung des Werkstückes
2. Ordnung: Welligkeit 	Wellen	<ul style="list-style-type: none"> - außermittige Einspannungen - Form der Laufabweichungen eines Fräasers - Schwingungen der Werkzeugmaschine oder des Werkzeuges
3. Ordnung: Rauheit 	Rillen	<ul style="list-style-type: none"> - Form der Werkzeugschneide - Vorschub oder Zustellung des Werkzeuges
4. Ordnung: Rauheit 	Riefen Schuppen Kuppen	<ul style="list-style-type: none"> - Vorgang der Spanbildung (Reißspan, Scherspan, Aufbauschneide)

Gestaltabweichungen 1. bis 4. Ordnung überlagern sich zu der Istoberfläche

Tabelle 2, Gestaltabweichung nach DIN 4760:1982

2.2 Profilfilter

Ein Profilfilter (digitaler Gaußfilter, DIN EN ISO 11562:1998) trennt das ungefilterte Primärprofil (P-Profil) in Rauheit (R-Profil) und Welligkeit (W-Profil) auf. Dabei ist das Rauheitsprofil die Abweichung des Primärprofils von der Welligkeit ($R = P - W$). Die Bezugslinie bzw. Mittellinie im Rauheitsprofil ist die Linie, die den langwelligen Profilanteilen entspricht, die durch den Gaußfilter ermittelt und unterdrückt werden.

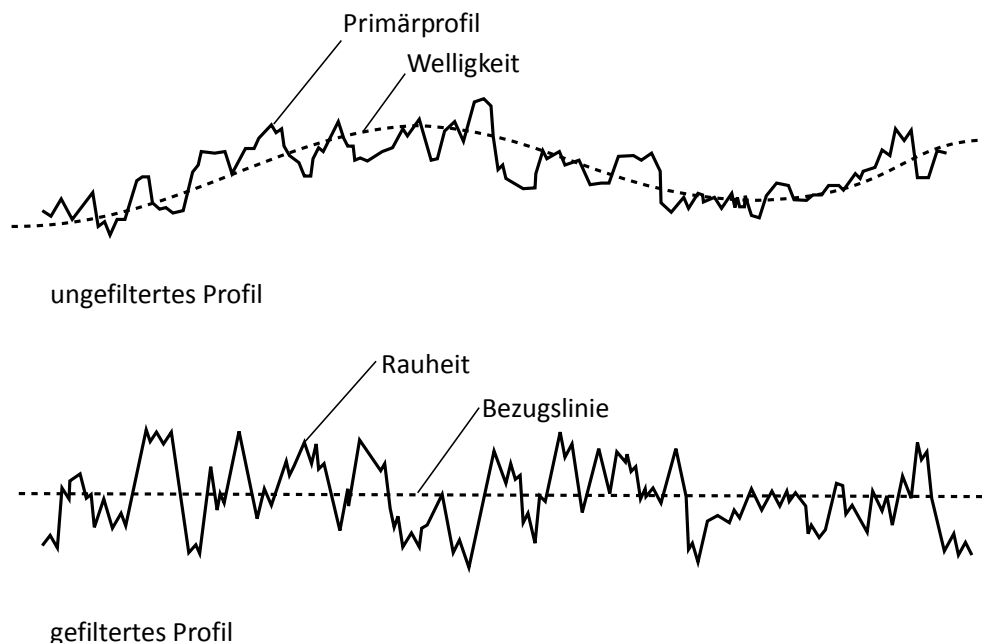


Abbildung 1, ungefilterte und gefilterte Profildarstellung

In der Praxis wurde bis 1990 ausschließlich ein analoger Filter (2RC-Filter, DIN 4772:1979) genutzt. Die Filterung fand mit Hilfe einer Schaltung aus einem Widerstand (R) und einem Kondensator (C) (Hochpassfilterung) statt. Der analoge 2RC-Filter funktioniert bei sinusförmigen Profilen recht gut. Jedoch gibt es nur

wenige Oberflächen mit einem sinusförmigen Profil. Beim 2RC-Filter entstehen bei vielen technischen Oberflächen Einschwingvorgänge, die Phasenverschiebungen und Überschwingungen am gefilterten Profil verursachen.

Dies führte zur Einführung eines phasenkorrekten digitalen Gaußfilters (DIN EN ISO 11562:1998). Dieser wurde erstmals 1990 genormt. Bei Verwendung des Gaußfilters werden die Verzeichnungen des Profils in senkrechter Richtung, bedingt durch plötzliche Änderung der Profilhöhe, verringert. Die Phasenverschiebung in waagrechter Richtung entfällt ganz. Zur Bestimmung der mittleren Linie wird mit Hilfe des Gaußfilters an jedem Punkt das gewichtete arithmetische Mittel der Ordinatenhöhen berechnet. Damit Punkte am Beginn und Ende der Messstrecke ebenfalls richtig gewichtet werden können, muss zum Ein- und Ausschwingen des Filters die Taststrecke länger als die Gesamtmessstrecke sein (vgl. Tabelle 3 und Abbildung 4, S. 5). Üblich sind Vor- und Nachlaufstrecken von je der halben Grenzwellenlänge λ_c (vgl. Kap. 2.3).

Bei der Verwendung des phasenkorrekten digitalen Gaußfilters treten im Vergleich zum 2RC-Filter nur vernachlässigbar kleine Änderungen der Rauheitskenngrößen R_{max} , R_z , R_a (vgl. Kap. 2.4) auf. Es können beide Filter parallel verwendet werden. Bei der Messung anderer Rauheitswerte entstehen erhebliche Unterschiede. Deshalb muss derselbe Filter verwendet werden, sollten die Rauheitswerte verglichen werden.

Bei der Ermittlung von Kenngrößen an stark asymmetrischen Profilen liefert auch der phasenkorrekte Filter noch erhebliche Verzeichnungen in senkrechter Richtung. Dieser Effekt tritt vor allem bei plateaugehonten, geläpten, porösen und gesinterten Oberflächen mit tiefen Riefen auf. Speziell hierfür wurde ein Sonderfilter (DIN EN ISO 13565:1998) entwickelt. Mit ihm werden typische Kennwerte für asymmetrische Profile, wie die Abbott-Kurve (vgl. Kap. 2.4) und die Kernrautiefe R_k ermittelt.

2.3 Grenzwellenlängen

Die Grenzwellenlänge λ_c eines Profilfilters ist diejenige Wellenlänge, bei welcher der Filter die Amplitude einer Sinuswelle auf 50 % reduziert. Sie kann somit als Maß für die Grenze zwischen Rauheit und Welligkeit verstanden werden. Die Grenzwellenlänge λ_s definiert den Übergang der Rauheit zu noch kürzeren Wellenlängen und die Grenzwellenlänge λ_f grenzt die Welligkeit gegenüber längeren Wellenlängen ab. Die Grenzwellenlängen sind bei periodischen Profilen nach der mittleren Rillenbreite (R_{sm}) und bei aperiodischen nach dem zu messenden Rauheitswert (R_a oder R_z) zu wählen (vgl. Tabelle 4, S. 15). Die Gesamtmessstrecke (l_n) einer Messung ist immer das 5-fache der Grenzwellenlänge λ_c . Die Taststrecke, sofern nicht anders angegeben, das 6-fache.

Mit abnehmender Grenzwellenlänge nehmen die Amplitude des gefilterten Rauheitsprofils ab und die des Welligkeitsprofils zu. Somit werden bei kürzeren Grenzwellenlängen auch kleinere Rauheitswerte (R_a , R_z) gemessen. Der λ_s - und der λ_f -Profilfilter orientieren sich an der Grenzwellenlänge λ_c und werden deshalb nur selten angegeben.

Grenzwellenlänge λ_c [mm] = Einzelmessstrecke l_r	Kurzwelliger Profil- filter λ_s [μm]	Gesamtmessstrecke l_n [mm] = $5 \times \lambda_c$	Taststrecke l_t [mm] = $6 \times \lambda_c$
0,08	2,5	0,4	0,48
0,25	2,5	1,25	1,5
0,8	2,5	4,0	4,8
2,5	8	12,5	15,0
8,0	25	40,0	48,0

Tabelle 3, Zusammenhang zwischen Grenzwellenlänge, Taststrecke und Messstrecke nach DIN EN ISO 4288:1998 und DIN EN ISO 3274:1998

2.4 Rauheitskenngrößen

Rauheitsparameter werden aus dem gefilterten Profil berechnet. Deswegen ist es wichtig zu wissen, welche Grenzwellenlänge verwendet wurde – insbesondere bei Vergleichsmessungen. Grundsätzlich können die Definitionen auf das Primärprofil, die Welligkeit und die Rauheit angewandt werden. Bezeichnet werden diese Kennwerte, je nach Profil, mit den Großbuchstaben P, W oder R und dem zur Kenngröße gehörenden Index.

Die Profilkenngrößen sind nach DIN EN ISO 4287 an der Einzelmessstrecke definiert und werden daher zunächst an dieser berechnet. Wenn nicht anders angegeben, ergibt sich der Wert einer Profilkenngröße durch Mittelung der Einzelergebnisse von direkt hintereinander liegenden Einzelmessstrecken.

Moderne Oberflächenmessgeräte geben eine große Anzahl verschiedener Oberflächenkennwerte aus, deren Aussagekraft recht unterschiedlich ist. Die folgende Aufstellung gibt eine Übersicht über die Ermittlung und die Aussagekraft der wichtigsten Parameter.

- Der **arithmetische Mittenrauwert R_a** ist das arithmetische Mittel der Beträge der Ordinatenwerte des Rauheitsprofils innerhalb der Einzelmessstrecke l_r . Er stellt die mittlere Abweichung des Profils von der mittleren Linie dar.

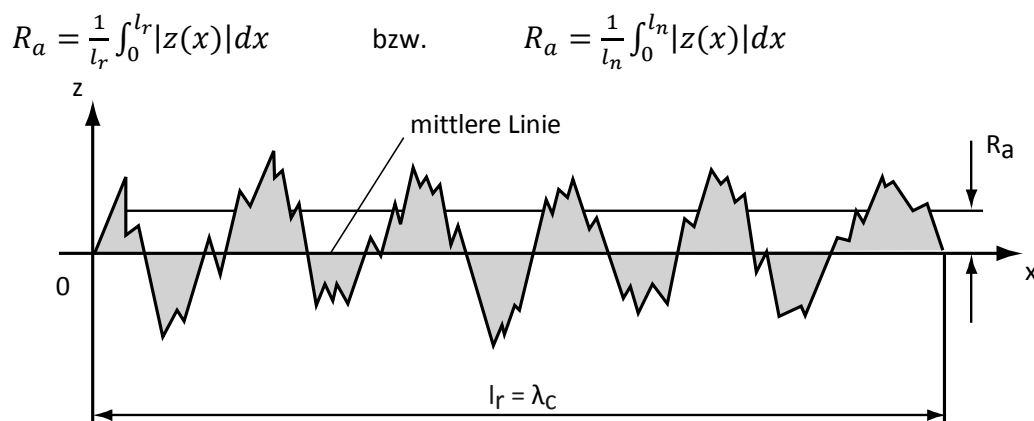


Abbildung 2, Bildung des arithmetischen Mittenrauwert R_a

Der Mittenrauwert kann nicht zwischen Spitzen und Riefen unterscheiden, ebenso wenig kann er verschiedene Profilformen erkennen. Da seine Definition auf einer starken Mittelwertbildung beruht, streuen die Werte nur gering und sind gut reproduzierbar.

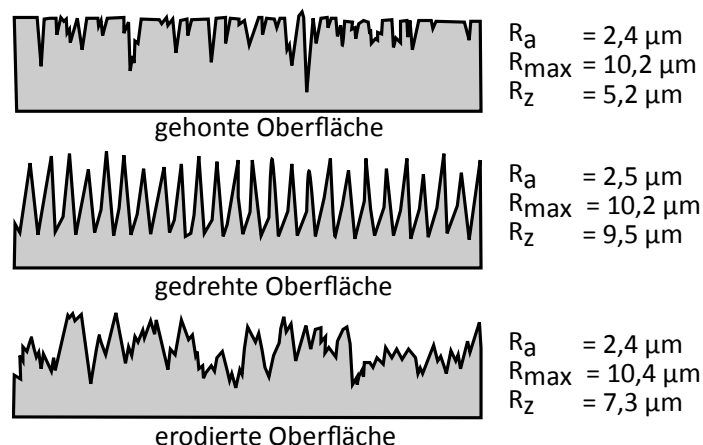


Abbildung 3, Unterschiedliche Profile mit gleichem Mittenrauwert R_a

- Der **quadratische Mittenrauwert** R_q ist der quadratische Mittelwert der Profilabweichung. R_q ist ähnlich definiert wie R_a , reagiert aber empfindlicher auf einzelne Spitzen und Riefen.

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} z^2(x) dx} \quad \text{bzw.} \quad R_q = \sqrt{\frac{1}{l_n} \int_0^{l_n} z^2(x) dx}$$

- Die **gemittelte Rautiefe** R_z ist die Summe aus der Höhe der größten Profilspitze und der Tiefe des größten Profiltals innerhalb einer Einzelmessstrecke l_r . Üblicherweise ergibt sich R_z aus Mittelung der Ergebnisse von 5 Einzelmessstrecken. Insgesamt reagiert R_z empfindlicher auf die Veränderung von Oberflächenstrukturen als R_a .

$$R_z = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 R_z(i)$$

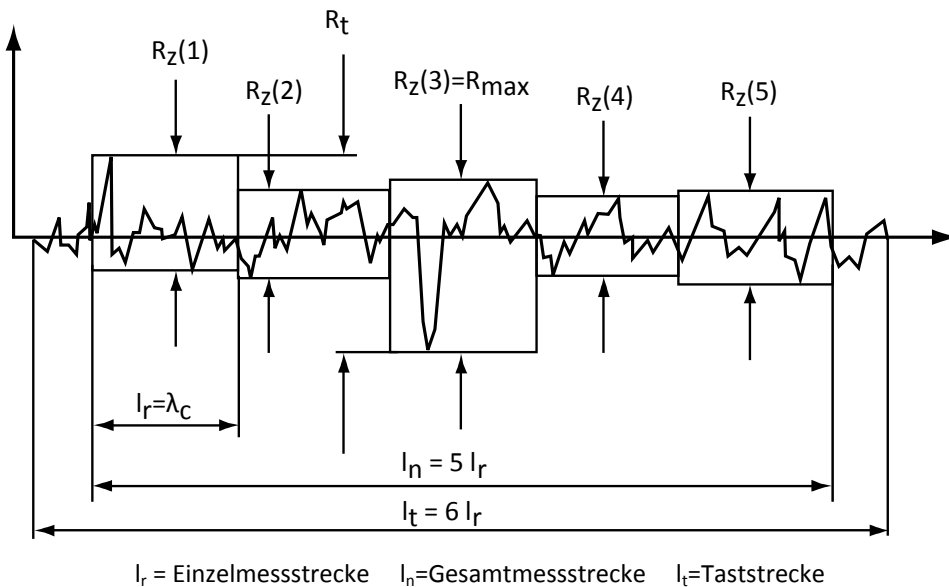


Abbildung 4, Definition der Rautiefe R_z , der maximalen Einzelrautiefe R_{\max} und der Rautiefe R_t

- Die **maximale Einzelrautiefe** R_{\max} ist die größte Einzelrautiefe R_z .
- Die **Rautiefe** R_t ist die vertikale Differenz der tiefsten Riefe und der höchsten Spitze innerhalb der Gesamtmessstrecke.

Die bis jetzt beschriebenen Parameter charakterisieren ein Profil nur „vertikal“. Sie lassen keine Unterscheidung von Profilen mit vielen Spitzen von Profilen mit vielen Riefen zu. Beispielsweise besitzt ein Profil mit vielen Spitzen die gleichen R_a und R_z -Werte wie ein Profil mit Riefen gleicher Tiefe (vgl. Abbildung 3). Die folgenden Rauheitsparameter helfen bei der „horizontalen“ Charakterisierung eines Profils.

- Die Definition der **mittleren Glättungstiefe R_p** ist nahezu identisch mit der gemittelten Rautiefe. Das gefilterte Profil wird in 5 gleiche Stecken, die der Grenzwellenlänge entsprechen, unterteilt. Im Gegensatz zur Bestimmung von R_z wird hier in jedem Segment der Abstand von der Mittellinie bis zur höchsten Spitze (p_i) entnommen. Die gemittelte Glättungstiefe R_p ist das arithmetische Mittel dieser 5 Werte.

$$R_p = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 p_i$$

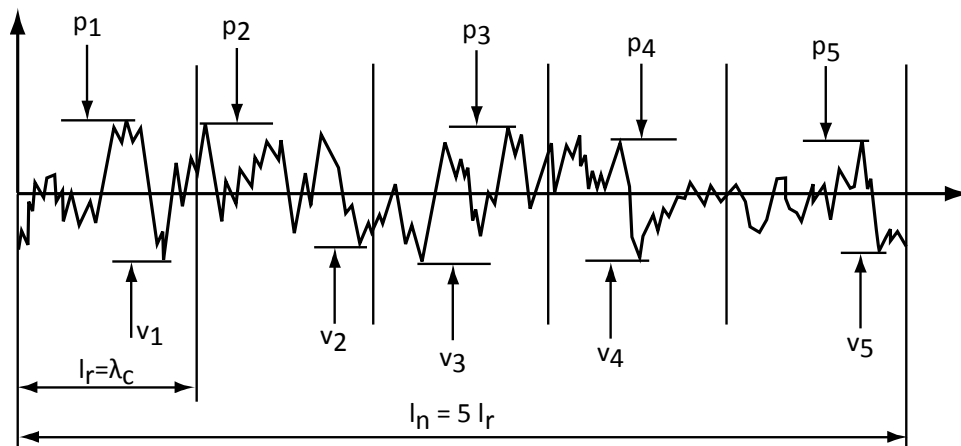


Abbildung 5, Ableitung der mittleren Glättungstiefe R_p und der mittleren Riefentiefe R_v

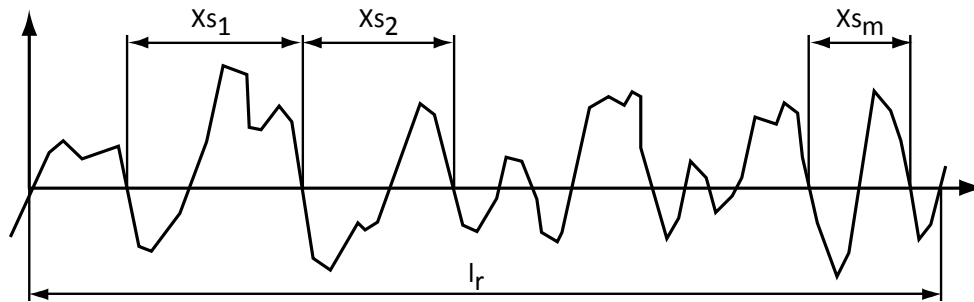
- Die **mittlere Riefentiefe R_v** wird analog zu R_p gebildet. Anstatt den Spitzenhöhen p_i werden die Riefentiefen v_i verwendet.

$$R_v = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 v_i$$

R_p bzw. R_v wird verwendet, wenn eine bestimmte Profilform verlangt wird. Bei Lagerflächen dienen Riefen beispielsweise als Schmierstofftaschen. Spitzen sind wiederum nicht erwünscht, da sie die Reibung und den Verschleiß erhöhen würden. Bei Pressverbänden wird ebenfalls häufig mit der mittleren Glättungstiefe R_p gearbeitet, da Pressverbände eine möglichst große Berührungsfläche benötigen. R_p alleine, liefert aber noch keine Aussage über die Profilform. Erst das Verhältnis R_p/R_z kann Profilformen unterscheiden.

- Die **mittlere Rillenbreite RS_m** ist der arithmetische Mittelwert der Breiten der Profilelemente des Rauheitsprofils innerhalb einer Einzelmessstrecke l_r . Hierbei ist ein Profilelement eine Profilerhebung mit einer benachbarten Vertiefung. Üblicherweise ergibt sich RS_m aus Mittelung der Ergebnisse von 5 Einzelmessstrecken. Sie wird bei periodischen Profilen zur Auswahl der Grenzwellenlänge des Filters herangezogen.

$$RS_m = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 X_{S_i}$$


 Abbildung 6, Definition der mittleren Rillenbreite R_{sm}

Um die vertikale Materialverteilung einer Oberfläche zu charakterisieren, wird die **Abbott-Kurve**, auch **Materialanteilkurve** genannt, verwendet.

- Der **Materialanteil $Rmr(c)$** gibt an, welchen Anteil die summierten, im Material verlaufenden Streckenabschnitte relativ zur Gesamtmessstrecke einnehmen (vgl. Abbildung 7). Die Größe bezieht sich immer auf eine Tiefe c .

$$Rmr(c) = \frac{100}{l_n} \sum_{i=1}^n MI_i(c) = \frac{MI(c)}{l_n} \quad [\%]$$

Die Abbott-Kurve (vgl. Abbildung 7) wird gebildet, indem man den Materialanteil über die Höhe des Profils aufträgt. Hierzu wird das Profil in einer entsprechenden Höhe geschnitten und die materialschneidenden Stecken l_i werden aufaddiert und ins Verhältnis zur Gesamtmessstrecke l_n gesetzt. Aufgrund der starken Abhängigkeit der Kurve zur höchsten Spannungsspitze (0%-Linie) wird in der Praxis häufig eine Nulllinienverschiebung von typischerweise 5 % angewandt. Diese Bezugslinie wird bevorzugt, da einzelne Spitzen schon kurz nach dem Zusammenbau bzw. Betriebsbeginn abgetragen sind und somit kaum Bedeutung haben. Eine Nulllinienverschiebung muss angegeben werden, da sonst gravierende Unterschiede der Messwerte zu erwarten sind.

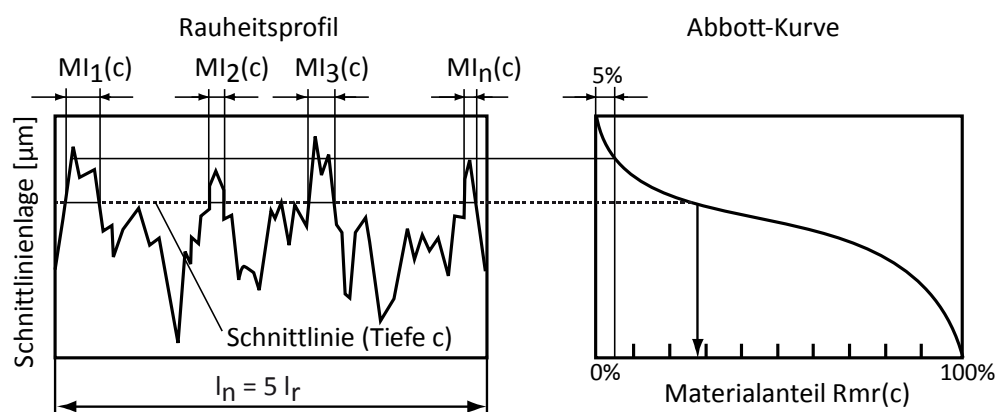


Abbildung 7, Zusammenhang zwischen Rauheitsprofil und Abbott-Kurve

Aus der Abbott-Kurve lassen sich verschiedene Kennwerte ermitteln. Hierzu wird die Abbott-Kurve aus dem gefilterten Profil (Verwendung des Phasenkorrekten Sonderfilter nach DIN EN ISO 13565:1998) ermittelt. Eine Sekante mit einer Länge von 40% der Länge der x-Achse wird an der Kurve verschoben bis sie die geringste Neigung hat und an beide Schaubildränder verlängert (vgl. Abbildung 8).

Die folgenden Kennwerte werden nur berechnet, wenn die Abbott-Kurve einen S-förmigen Verlauf hat und nur einen Wendepunkt aufweist. Dies ist bei geläpften und gehonten Oberflächen meistens und bei geschliffenen Oberflächen häufig der Fall.

- Die **Kernrautiefe R_k** ist die Tiefe des Rauheitskernprofils.
- Der **kleinste Materialanteil M_{r1}** ist die Länge (in %) einer Parallelen zur x-Achse vom Schnittpunkt Sekante/Abszisse (bei 0%) bis zum Schnittpunkt mit der Abbott-Kurve.
- Der **größte Materialanteil M_{r2}** ist die Länge (in %) einer Parallelen zur x-Achse vom Schnittpunkt Sekante/Abszisse (bei 100%) bis zum Schnittpunkt mit der Abbott-Kurve
- Die **reduzierte Spitzenhöhe R_{pk}** ist die Höhe des mit den Kuppenflächen (Fläche A in Abbildung 8) flächengleichen Dreiecks mit der Basislänge M_{r1} .
- Zur Bestimmung der **reduzierten Riefentiefe R_{vk}** wird ein zu den Talflächen flächengleiches Dreieck mit der Basislänge $100\% - M_{r2}$ erzeugt. Die Höhe entspricht R_{vk} .

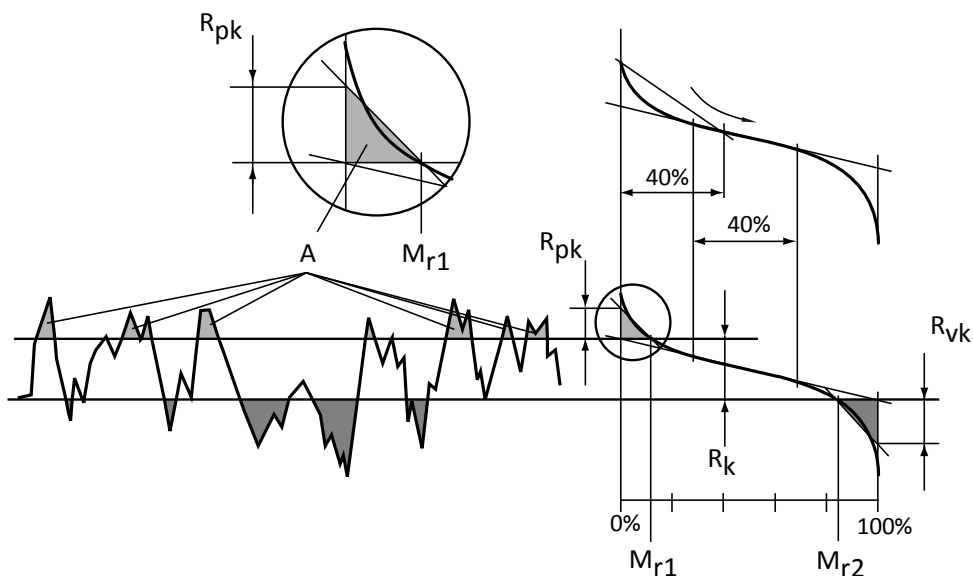


Abbildung 8, Ableitung der Parameter R_k , R_{pk} , R_{vk} , M_{r1} und M_{r2}

Die Parameter R_k , R_{pk} und R_{vk} ermöglichen die getrennte Beurteilung von Kernbereich, Spitzenbereich und Riefenbereich. In den meisten Fällen werden niedrige R_{pk} -Werte und größere R_{vk} -Werte angestrebt. Dies beschreibt eine plateauartige Oberfläche mit tiefen Riefen, wie sie etwa der Motorenbau verlangt. Aus dem R_{vk} -Wert kann direkt das Ölhaltevolumen bestimmt werden.

Abbildung 9 zeigt unterschiedliche Rauheitsprofile und die dazugehörigen Abbott-Kurven. Werden bestimmte Oberflächenstrukturen gewünscht, werden diese meist mit einer Abbott-Kurve oder ihrer Parameter definiert. Ein weiteres Beispiel für die Charakterisierung von Oberflächen mit Hilfe der Parameter der Abbott-Kurve ist in Abbildung 10 dargestellt

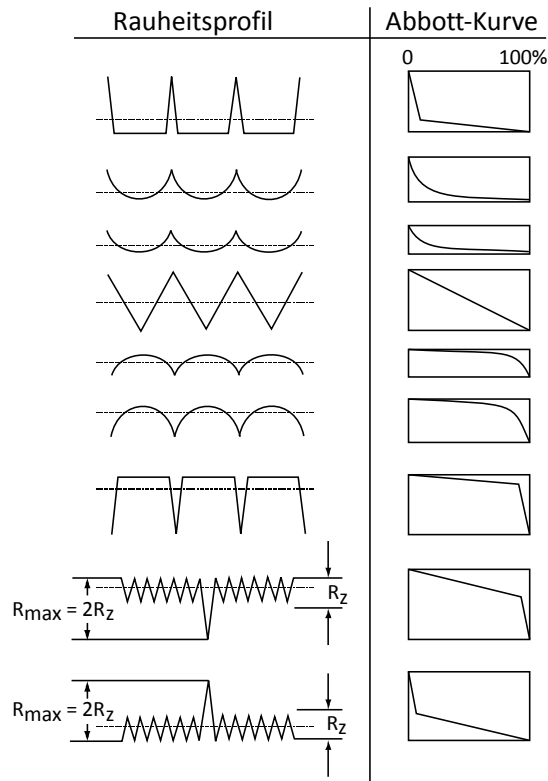


Abbildung 9, unterschiedliche Rauheitsprofile und deren Abbott-Kurven

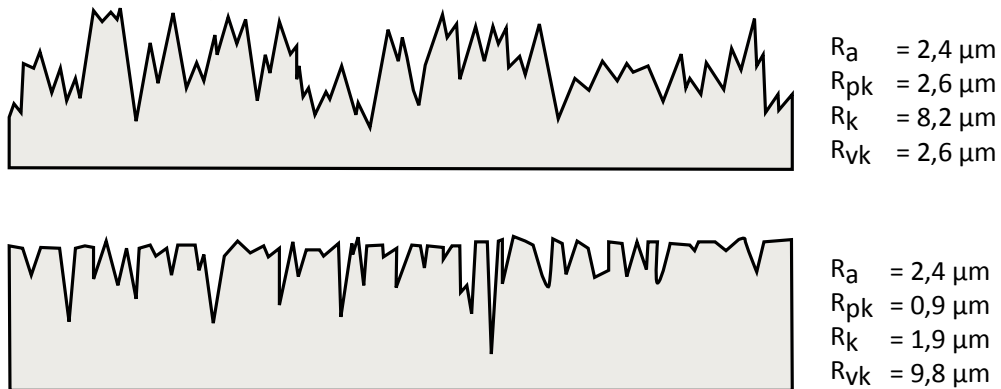


Abbildung 10, Vergleich der Parameter R_k , R_{pk} , R_{vk} bei Profilen mit gleichen R_a -Werten

2.5 Wichtige Oberflächenkennwerte aus dem Primär- und Welligkeitsprofil

- Die Wellentiefe W_t zeigt die maximale Tiefe des gefilterten Profils nachdem die Rauheit ausgefiltert wurde.

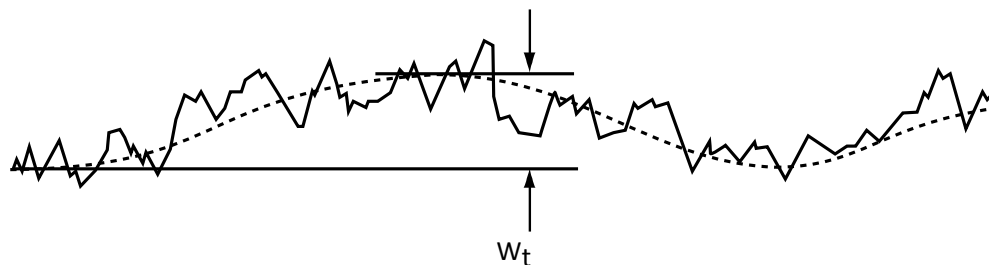


Abbildung 11, Ableitung der Wellentiefer W_t

- Die **Profiltiefe P_t** ist der Abstand zweier paralleler Linien, die das ungefilterte Oberflächenprofil einschließen. Die Linien haben die Form des idealen Profils (z.B. Gerade, Kreis).

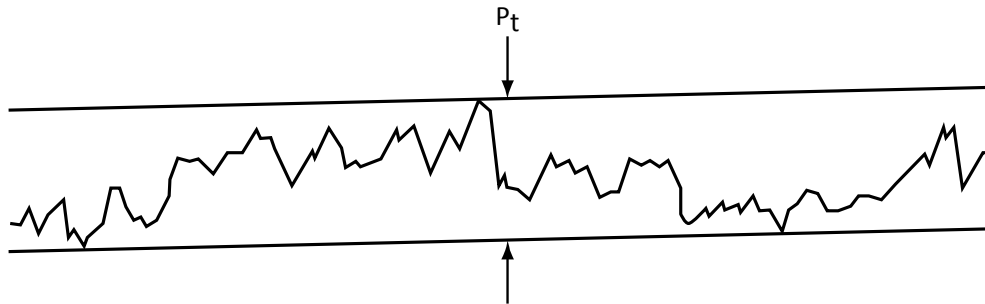


Abbildung 12, Ableitung der Profiltiefe P_t

3 Oberflächenmessgeräte

Um Oberflächenkennwerte zu bestimmen werden taktile und optische Messgeräte eingesetzt. Bei taktilen Geräten wird die Oberfläche mit einer Diamantspitze abgefahren. Im Gegensatz dazu arbeiten optische Messgeräte berührungslos. In den meisten Fällen können optische Messgeräte eine Oberfläche wesentlich besser auflösen. Zudem werden die Amplituden nicht durch die Geometrie der Tastspitze beeinflusst (vgl. Abbildung 13). Aufgrund dieser Effekte können sich Messergebnisse, die an verschiedenen Geräten aufgenommen wurden, unterscheiden.

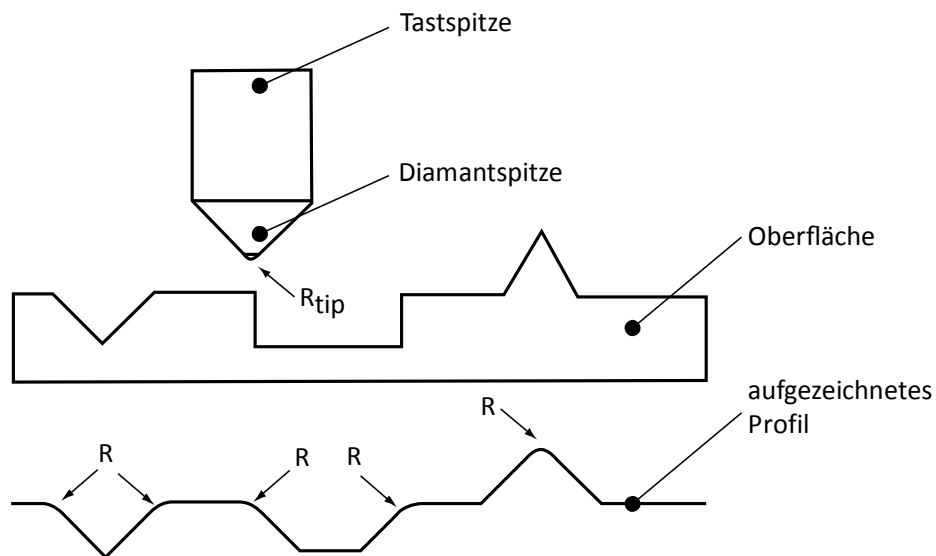


Abbildung 13, Vergleich von Ist-Profil und aufgezeichnetem Profil beim Tastschnittverfahren

Bei vielen Messgeräten besteht die Möglichkeit, Oberflächenkennwerte über eine Fläche zu ermitteln. Hierfür existieren Parameter deren Definition den Linienparametern entsprechen, jedoch um eine Dimension erweitert wurden. Diese sind nur teilweise genormt und werden in diesem Praktikum nicht näher behandelt.

3.1 Tastschnittverfahren

Am häufigsten wird in der Industrie ein Perthometer eingesetzt. Dieses Gerät arbeitet nach dem Tastschnittverfahren und enthält meistens einen induktiven Wandler. Dabei fährt ein Taster mit Diamantspitze senkrecht zur Rillenrichtung über die Oberfläche des Werkstücks und der senkrechte Hub der Tastspitze wird in ein elektrisches Signal umgesetzt. Die Messsignale des Primärprofils werden heutzutage direkt mit Hilfe eines digital/analog Wandlers in ein Auswertegerät, zumeist ein Computer, eingelesen. Dort erfolgen durch digitale Filterung die Bestimmung des Welligkeit- und des Rauheitsprofils sowie die Berechnung der Kenngrößen.

Ein Oberflächenprüfgerät, welches nach dem Tastschnittverfahren arbeitet, kann in die drei Komponenten Taster, Vorschubapparate und Auswertegerät mit Anzeige und Dokumentation aufgeteilt werden.

3.1.1 Taster

Der Taster wandelt die Vertikalbewegung der Tastspitze in ein elektrisches Signal um. Er besteht aus einer hochpräzise gelagerten Tastspitze und einem Wandler. Zudem kann er durch eine Gleitkufe ergänzt werden. Für die große Vielfalt an den zu messenden Geometrien, wie etwa Flächen, Wellen, Bohrungen, Evolventen, etc., existiert eine breite Vielfalt an verschiedenen Tasterformen. Grundsätzlich wird zwischen Einkufentastern, Zweikufentastern und Bezugsebenentastern unterschieden.

Taster mit Gleitkufen kommen vor allem in Handgeräten zum Einsatz. Die Gleitkufe folgt der Welligkeit. Sie wirkt als Hochpassfilter und lässt die makroskopische Form des Profils unberücksichtigt. Gleitkufentaster geben keine exakten Angaben über Form und Welligkeit, müssen aber nicht ausgerichtet werden und sind unempfindlich gegen Schwingungen. Solche Taster kommen vor allem im Werkstattbereich zum Einsatz. Das Bezugsebenentastsystem misst gegen eine Referenzfläche und liefert somit eine weitestgehend unverfälschte Abbildung des P-Profiles.



Abbildung 14, Taster mit und ohne Gleitkufe

Als Tastspitze werden Diamantkegel mit einer abgerundeten Spitze verwendet. Nennwerte für die Tastspitze sind der Spitzenradius mit $r_{\text{tip}} = 2 \mu\text{m}$, $5 \mu\text{m}$ oder $10 \mu\text{m}$ sowie der Öffnungswinkel des Kegels mit 60° bzw. 90° (DIN EN ISO 3274:1998). Die Geometrie der Tastspitze wirkt sich auf das Messergebnis (vgl. Abbildung 13) aus. Dieser Einfluss ist vor allem bei sehr kleinen und steilen Strukturen groß. Er kann durch die Verwendung einer Messspitze mit kleinerem Spitzenradius reduziert werden. Steilere Flanken können mit einem kleineren Öffnungswinkel detaillierter wiedergegeben werden.

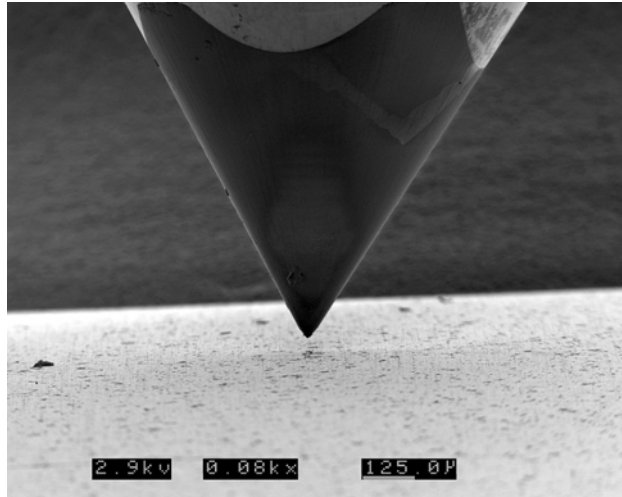


Abbildung 15, Aufnahme einer Tastspitze mit einem Rasterelektronenmikroskop

3.1.2 Vorschubapparate

Der Vorschubapparat führt den Taster kontinuierlich und mit konstanter Geschwindigkeit über die Oberfläche. Teilweise wird auch das Werkstück unter dem feststehenden Taster hindurchbewegt. Man unterscheidet zwischen Vorschubapparaten mit und ohne Bezugsebene sowie Rotationsvorschubapparaten.

Die meisten Messgeräte besitzen einen Vorschubapparat mit eingebauter Bezugsebene. Sie erlauben den Einsatz von Tastern mit und ohne Gleitkufe. Vorschubapparate ohne Bezugsebene gestatten ausschließlich den Einsatz von Gleitkufentastern. Nur Vorschubapparate mit eingebauter Bezugsebene in Verbindung mit einem Taster ohne Gleitkufe gestatten das exakte Erfassen von Form, Welligkeit und Rauheit. Die Genauigkeit der Formmessung hängt in erster Linie von der Genauigkeit der Bezugsebene ab.

Ein Rotationsvorschubapparat dreht eine zylinderförmige Probe unter dem feststehenden Taster hindurch. Rundlauffehler des Werkstückes lassen sich durch den Einsatz von Gleitkufentastern eliminieren.

3.2 Optische Messgeräte

Berührungslose Messverfahren finden ihre Anwendung an Oberflächen, die weich sind und/oder von der Tastspitze beschädigt werden könnten. Des Weiteren sind optische Messgeräte schneller als taktile Messgeräte.

Es gibt die unterschiedlichsten Sensoren zur berührungslosen Messung von Rauheitskennwerten. Hier wird nur auf den Gebräuchlichsten - den Weißlichtsensor - eingegangen. Daneben finden, um nur einige zu nennen, noch optische Autofokus-Sensoren, Nahfeldakustik-Taster, Interferenz-Mikroskope, Rasterelektronenmikroskope und Streulichtmessgeräte in der Rauheitsmessung Anwendung.

3.2.1 Weißlichtsensor

Ein Weißlichtsensor fokussiert weißes Licht mithilfe eines Linsensystems aus geringem Abstand auf die Oberfläche. Es wird ein Objektiv verwendet, welches den blauen Farbanteil stärker fokussiert als den Roten. Das Licht wird von der Oberfläche zurück auf das Objektiv geworfen, dort aufgefangen und durch eine Blende auf ein Spektrometer projiziert. Nur wenn das Licht genau auf die Blende fokussiert ist (konfokal), kann Licht die Blende passieren. Je nach Abstand der Oberfläche zum Sensor wird ein anderer Farbanteil auf die Blende fokussiert. Das restliche Licht wird von der Blende gestoppt. Das Spektrometer analysiert die Intensitäten für jede Farbe des zurückgeworfenen Lichts (vgl. Abbildung 16). Aus der Lage

des Maximums im Farbspektrum lässt sich der Abstand vom Objektiv zur Oberfläche berechnen und somit die Topografie darstellen.

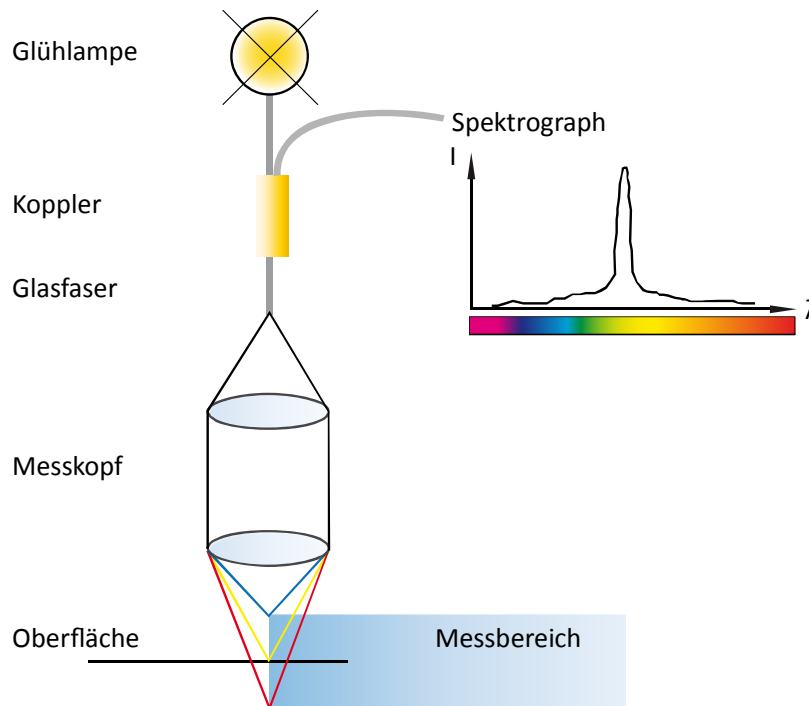


Abbildung 16, Messprinzip eines Weißlichtsensors

3.3 Messgeräte am IMA

Am IMA stehen drei Oberflächenmessgeräte zur Verfügung. Der Hommel T8000 ist ein taktiles Messgerät, welches nach dem Tastschnittverfahren arbeitet. Daneben kommen zwei optische Oberflächenmessgeräte zu Anwendung: Das FRT MicroProf welches mit einem Weißlichtsensor arbeitet und das Keyence VK-9700, das Oberflächen mithilfe von zwei Lichtquellen erfasst.

Das Keyence VK-9700 ermittelt mit einer kurzwelligen Laserlichtquelle den genauen Abstand zur Oberfläche. Mit Hilfe dieser Höheninformationen lässt sich das von einer Weißlichtquelle kommende, langwellige, weiße Licht exakt fokussieren und es können 3-dimensionale Aufnahmen in Echtfarbe der Oberfläche gemacht werden, die über die verschiedenen Höhen scharf sind.

3.3.1 Hommel Tester T8000 RC

Der Hommel Tester T8000 RC ist ein Messgerät, das sowohl Rauheits- als auch Konturmessungen ermöglicht. Je nach Messaufgabe wird der passende Rauheits- oder Konturentaster eingesetzt. Er unterstützt Taster mit und ohne Gleitkufe. Somit besitzt er eine Bezugsebene, deren maximale Vorschublänge bei dieser Ausführung 60 mm beträgt. Der Hommel besitzt einen voll justierbaren Tisch, ein Rotationsvorschubgerät sowie einen in xy-Richtung automatisch verfahrbaren Tisch, um Topografiemessungen durchzuführen und 3D-Kenngrößen zu ermitteln. Außerdem ist es möglich, den Drall einer Welle zu bestimmen. Alle Einstellungen sowie die Steuerung des Messgeräts werden am Computer vorgenommen.

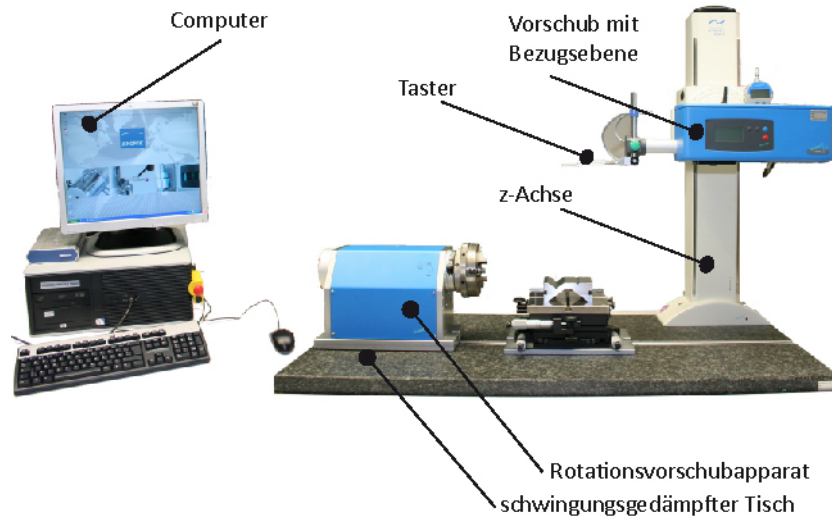


Abbildung 17, Hommel Tester T8000 RC am IMA

3.3.2 FRT MicroProf

Das FRT MicroProf ist ein optisches Oberflächenmessgerät, welches mit einem Weißlichtsensor arbeitet. Proben können auf einem verfahrbaren Tisch oder in einen Rotationsvorschubapparat gespannt werden. Der Weißlichtsensor ist vertikal.

Die Messungen werden über einen Computer gesteuert und sind weitestgehend automatisiert. Mit dem FRT können auch Topografiemessungen durchgeführt werden, um 3D-Rauheitskennwerte zu ermitteln. Allerdings sind die Messzeiten für Flächenmessungen sehr groß, da im Gegensatz zu einer einzelnen Linie eine ganze Fläche abgefahren werden muss.

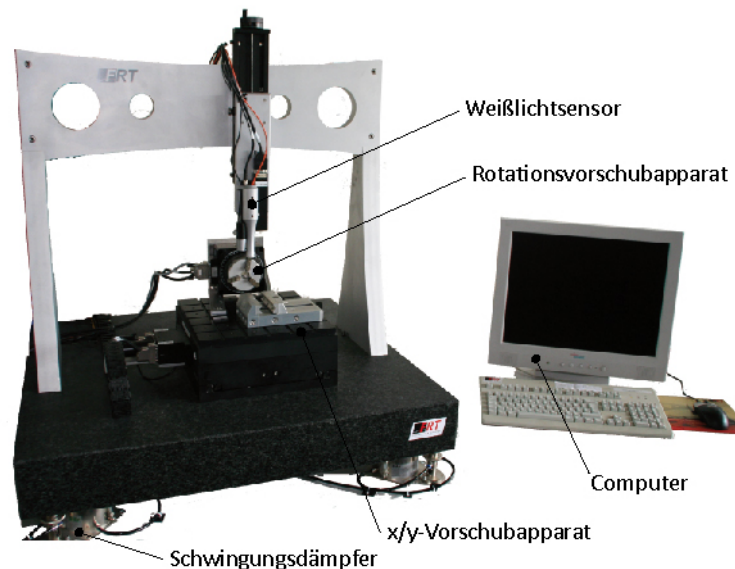


Abbildung 18, FRT MicroProf am IMA

Oberflächenmessgeräte, vor allem diejenigen, die wie das FRT gegen eine Bezugsebene messen, reagieren sehr empfindlich auf Schwingungen. Deshalb ist das FRT zur Schwingungsunterdrückung auf aktiven Dämpfern gelagert.

4 Versuchsdurchführung

4.1 Messen von Oberflächenkennwerten

In diesem Praktikum werden eine gedrehte, eine gehonte und eine einstichgeschliffene Wellenhülse mit den Oberflächenmessgeräten FRT und Hommel analysiert. Anhand der Messungen sollen Unterschiede der verschiedenen Oberflächen und Messgeräte sowie die Verwendung der verschiedenen Rauheitskenngrößen veranschaulicht und diskutiert werden.

Die Erfassung und Berechnung von Oberflächenparametern ist heute weitestgehend automatisiert. Dennoch sind bei einer Oberflächenmessung einige Dinge zu beachten. Im Folgenden werden diese am Beispiel des Tastschnittverfahrens erläutert.

1. Oberfläche säubern

Es muss darauf geachtet werden, dass die Oberfläche frei von Schmutz, Partikeln, Ölen und Fetten ist. Gegebenenfalls ist sie mit einem Lösungsmittel zu reinigen.

2. Taststrecke/Grenzwellenlänge einstellen

Die Grenzwellenlänge und somit auch die genormte Taststrecke wird nach Tabelle 3 (S. 3) und Tabelle 4 ausgewählt. Einziges Kriterium hierfür ist die Angabe der Rauheit aus der Konstruktionszeichnung. Ist kein Rauheitswert bekannt, ist der Wellenfilter mit $\lambda_c = 0,8\text{mm}$ empfehlenswert, da sich in dieser Klasse die meisten Rauheitswerte befinden. Es ist zu beachten, dass sich bei einer Änderung der Grenzwellenlänge auch der Rauheitswert verändert. Aus der Norm lässt sich ebenfalls der Tastspitzenradius r_{tip} entnehmen.

Meistens werden über die Wahl der Grenzwellenlänge bzw. der Taststrecke alle Parameter normgerecht voreingestellt. Bei computergesteuerten Oberflächenmessgeräten lassen sich oft Taststrecke und Grenzwellenlänge unabhängig voneinander einstellen. So können auch Messaufgaben getätigt werden, bei denen die genormte Taststrecke nicht verwendbar ist. Sind aus besonderen Gründen andere Zuordnungen der Grenzwellenlänge notwendig, so sind diese beim Rauheitswert anzugeben (z.B. $R_a = 0,5\mu\text{m}$ bei $\lambda_c = 0,8\text{mm}$). Die Grenzwellenlängen und die Einzelmessstrecken sind in jedem Fall gleich lang. Des Weiteren muss die minimale Taststrecke das Zweifache der Grenzwellenlänge λ_c betragen.

Bei aperiodischen Profilen (Schleifen, Umfangfräsen, Stirnfräsen ohne Sturz, Reiben, Umformen, usw.)		Bei periodischen Profilen (Drehen, Hobeln, usw.)	Cut-off Wellenfilter	Tast- spitzenra- dius	Digitalisierung sabstand
R_a [μm]	R_z [μm]	RS_m [mm]	λ_c [mm]	r_{tip} [μm]	Δx [μm]
0,02	0,1	>0,013 bis 0,04	0,08	2	0,5
>0,02 bis 0,1	>0,1 bis 0,5	>0,04 bis 0,13	0,25	2	0,5
>0,1 bis 2	>0,5 bis 10	>0,13 bis 0,4	0,8	2 od. 5*	0,5
>2 bis 10	>10 bis 50	>0,4 bis 1,3	2,5	5	1,5
>10	>50	>1,3 bis 4	8	10	5

Beim Messen von R_{max} richtet sich die Grenzwellenlänge nach R_z

*Bei $R_z \leq 2 \mu\text{m}$ ist $r_{\text{tip}} = 2 \mu\text{m}$ und bei $R_z > 2 \mu\text{m}$ ist $r_{\text{tip}} = 5 \mu\text{m}$

Tabelle 4, Auswahl von Filter, Tastspitzenradius und Digitalisierungsabstand nach DIN EN ISO 4288:1998 und DIN EN ISO 3274:1998

3. Formabweichung eliminieren

Bei Verwendung von Tastern mit Bezugsebene müssen nach der Messung zuerst die Formabweichungen eliminiert werden. Das bedeutet, dass beim Vermessen wie beispielsweise einer Kugel ein Kreis vom Profil abgezogen werden muss. Gleitkufentaster entfernen Formabweichungen während der Messung durch die Gleitkufe. Ist die gemessene Oberfläche eben, kann direkt mit dem Ausrichten des Profils begonnen werden.

4. Profil ausrichten

Bei Messgeräten mit Bezugsebene kann es vorkommen, dass die Bezugsebene nicht exakt ausgerichtet ist. Dies bedeutet eine Schräglage des Profils, welche nicht einer Gestaltabweichung zuzurechnen ist. Zur Messung der Geradheit und der Welligkeit wird in diesem Fall eine Ausgleichsgerade durch das Profil gelegt, die nach dem Verfahren der kleinsten Fehlerquadrate ermittelt wird. Zur Bestimmung der Rauheitswerte wird die mittlere Linie, welche mit dem Gaußfilter (vgl. Kap. 2.2) bestimmt wird, verwendet.

4.2 Auswertung

Im Anschluss an die Messungen sollen folgende Fragen diskutiert werden. Die Ergebnisse sind schriftlich festzuhalten.

- Wie ändern sich die Rauheitswerte wenn man einen anderen Filter bzw. eine andere Grenzwellenlänge λ_c wählt?
- Weshalb lassen sich mit Gleitkufentastern nur Rauheitswerte messen (und keine P, W-Werte)?
- Welche Vorteile haben die Abbott-Kurve und ihre Kenngrößen im Vergleich zu R_a , R_z oder R_{max} ?
- Gibt es Abweichungen zwischen den Ergebnissen der Messungen an Hommel und FRT und wenn ja weshalb?
- Weshalb weichen die Messergebnisse von FRT und Hommel bei der gehonten Welle stark voneinander ab?
- Wie groß ist die Streuung bei mehreren Messungen auf einer Wellenoberfläche?
- Was ist charakteristisch bei den Traganteilen von gehonten, geschliffenen und gedrehten Oberflächen?
- Wie kann ein asymmetrisches Flankenprofil bei gedrehten Wellen erklärt werden?

5 Normen zur Oberflächenmesstechnik

Bezeichnung	Norm	ersetzte Normen
Gestaltabweichungen	DIN 4760:1982	
2RC-Filter	DIN 4772:1979	
Phasenkorrekte Filter	DIN EN ISO 11562:1998	DIN 4777
Sonderfilter für plateauartige funktionsrelevante Oberflächen (Abbott-Kurve)	DIN EN ISO 13565:1998	DIN 4776
Arithmetischer Mittenrauwert R_a	DIN EN ISO 4287:2010	DIN 4768
Quadratischer Mittenrauwert R_q	DIN EN ISO 4287:2010	DIN 4762
Rautiefe R_z	DIN EN ISO 4287:2010	DIN 4768
Maximale Einzelrautiefe R_{max}	DIN EN ISO 4287:2010	DIN 4768
Rautiefe R_t	DIN EN ISO 4287:2010	
Mittlere Glättungstiefe R_p	DIN EN ISO 4287:2010	
Mittlere Riefentiefe R_v	DIN EN ISO 4287:2010	
Mittlere Rillenbreite R_{Sm}	DIN EN ISO 4287:2010	
Abbott-Kurve	DIN EN ISO 4287:2010	
Materialanteil R_{mr}	DIN EN ISO 4287:2010	
Kernrautiefe R_k	DIN EN ISO 13565:1998	DIN 4776
Materialanteil 1 M_{r1}	DIN EN ISO 13565:1998	DIN 4776
Materialanteil 2 M_{r2}	DIN EN ISO 13565:1998	DIN 4776
Reduzierte Spitzenhöhe R_{pk}	DIN EN ISO 13565:1998	DIN 4776
Reduzierte Riefentiefe R_{vk}	DIN EN ISO 13565:1998	DIN 4776
Wellentiefe W_t	DIN EN ISO 4287:2010	
Profiltiefe P_t	DIN EN ISO 4287:2010	
Tastschnittverfahren (Messbedingungen, Filter,...)	DIN EN ISO 4288:1998	DIN 4775
	DIN EN ISO 3274:1998	DIN 4772

Tabelle 5, Normen zur Oberflächenmesstechnik

6 Quellen/Literatur

- [1] Volk, Raimund (2005): *Rauheitsmessung Theorie und Praxis*, DIN Deutsches Institut für Normung e.V.; München, Beuth Verlag GmbH
- [2] Sorg, Horst (1995): *Praxis der Rauheitsmessung und Oberflächenbeurteilung*, München, Carl Hanser Verlag
- [3] Hommelwerke GmbH (1993): *Rauheitsmessung Theorie und Praxis*, VS-Schwenningen