



Praktikum „Zahnärztliche Werkstoffkunde“

Mechanische Werkstoffprüfung II (Rautiefenmessung)

Werkstoffgruppe: Legierungen, Kunststoff, Dentalkeramik, Elastomere

1. Einleitung

Nach DIN 4760 ist die wirkliche Oberfläche eines festen Werkstoffes die Oberfläche, die ihn von den umgebenden Medien trennt. Das tatsächliche dreidimensionale Abbild der Oberfläche ist messtechnisch nicht zu erfassen. Man bemüht sich deshalb, eine die wirkliche Oberfläche möglichst gut repräsentierende Istoberfläche zu messen, an der die Oberflächenkenngrößen definiert werden, die eine zahlenmäßige Aussage zur Oberfläche und damit eine objektive Beurteilung ihrer Eignung für die vorgesehene Funktion erlauben. Die visuelle Betrachtung der Oberfläche reicht für die Beurteilung nicht aus, auch wenn Oberflächenvergleichsstücke zu Hilfe genommen werden.

2. Die Erfassung der Ist-Oberfläche

Die dreidimensionale komplizierte Geometrie einer technischen Oberfläche ist messtechnisch in ihrer Gesamtheit nicht darstellbar. Man reduziert die Aufgabe deshalb auf ein zweidimensionales Problem und legt einen Schnitt durch die geometrische Oberfläche. Als geometrische Oberfläche bezeichnet man die Idealform der Oberfläche, die in den technischen Unterlagen angegeben ist. Vorzugsweise wählt man einen senkrechten Schnitt zur geometrischen Oberfläche, der rechtwinklig zur Bearbeitungsrichtung verlaufen soll, wenn durch das Fertigungsverfahren eine solche vorgegeben ist (**Bild 1**). Es sind auch Schnitte schräg zur geometrischen Oberfläche möglich. Diese führen zu einer Profilüberhöhung und machen eine Umrechnung auf die wahre Profilhöhe erforderlich. Parallele Schnitte zur geometrischen Oberfläche führen zur Darstellung der Oberfläche in Form von Höhenschnittlinien. Die weiteren Betrachtungen beschränken sich auf den Senkrechtschnitt.

3. Die Trennung von Gestaltabweichungen und Rauheit

Der senkrechte Profilschnitt liefert zunächst eine Überlagerung aller verschiedenen geometrischen Abweichungen des Istprofils vom geometrischen Profil. Diese werden in DIN 4760 als Gestaltabweichungen 1. bis 6. Ordnung eingeteilt (**Bild 2**).

1. O.: Abweichungen der Makrogeometrie des gesamten Formelementes z.B. Krümmung einer Ebene, Hohlform eines Zylinders. Diese Abweichungen treten vorzugsweise an regelmäßigen geometrischen Formen auf, die in der Zahnmedizin kaum vorkommen.
2. O.: Überwiegend periodische Abweichungen (Wellen) eines Formelementes. Sie treten meist bei der mechanischen Bearbeitung von Oberflächen infolge von Schwingungen oder Resonanzen auf. Es ergibt sich ein bestimmtes Verhältnis von Wellenabstand zu Wellentiefe. Wellen treten im allgemeinen nur bei trennenden Bearbeitungsverfahren mit Vorzugsrichtung und rilligen Oberflächen auf. Da in der Zahnmedizin vorwiegend sog. nichtrillige Umform- und Urformverfahren angewendet werden, ist mit Wellen kaum zu rechnen.
3. O.: Rauheit in Form von Rillen.
4. O.: Rauheit in Form von Riefen, Schuppen und Kuppen
5. O.: Rauheit, Gefügestruktur
6. O.: Gitteraufbau



Bei der Oberflächenprüfung kommt es auf die zahlenmäßige Erfassung der Gestaltabweichungen 3. und 4. Ordnung an. Die Gestaltabweichungen 5. und 6. Ordnung sind mit technischen Oberflächenmessgeräten nicht mehr erfassbar (Elektronenmikroskopie erforderlich).

Die wichtigste Aufgabe bei der Oberflächenprüfung besteht zunächst darin, die Gestaltabweichungen 1. und 2. Ordnung von denen 3. und 4. Ordnung, der eigentlichen Rauheit, zu trennen. Das geschieht im allgemeinen dadurch, dass man die Amplitudenlänge und -höhe als Frequenz auffasst. Das Oberflächenprüfgerät wandelt die mechanische Schwingung in eine elektrische Schwingung. Mit Hilfe elektrischer Filter, sog. Hochpassfilter wird nur die Rauheit durchgelassen (oder mit Tiefpassfiltern nur die Welligkeit) und zur Auswertung gebracht. Zu beachten ist, dass elektrische Filter eine Filtercharakteristik haben und nicht schlagartig ab einer bestimmten Wellenlänge alle niedrigen Frequenzen wegfiltern und die hohen durchlassen. In EN ISO 4278 sind Angaben über die Abhängigkeit der Amplitudenübertragung von der Grenzwellenlänge des Filters (sogenannter "cut off" - Wert) gemacht.

4. Rauheitsmessgrößen

Grundsätzlich ist zu beachten, dass jedes Oberflächenmaß ein statistisches Maß ist und je nach Klasse des eingesetzten Messgerätes (1 bis 5) mit Streuungen von 5 bis 25 % der wirklichen Rauheitsmessgröße bei gleicher Messstelle und gleicher Messlänge zu rechnen ist.

Allgemein reicht es, mit den senkrechten Profilmaßen Rz oder Rm Risse, Kratzer, Beschädigungen und ähnliche Fehlstellen an der Oberfläche zu begrenzen und mit Ra eine für die Sicherstellung der Funktion notwendige Grundrauheit vorzuschreiben. Bei zwei Oberflächen, deren Werkstücke eine Passung bilden, kann zusätzlich der Materialtraganteil des Profils Rmr (c) von Interesse sein. Er lässt Rückschlüsse darauf zu, wie sich die Tragfähigkeit der Passung in Abhängigkeit von der Vergrößerung des Spiels durch Abtragung verbessert. Der Traganteil ist ein Wagerechtmaß, bei dem das Verhältnis der tragenden Länge des Oberflächenprofils zur gemessenen Länge des Profils bestimmt wird. Abgeleitet vom Traganteil wird oft auch die Materialanteilkurve des Profils (Abbott - Kurve) angegeben. Bei ihr wird die Zunahme des Traganteils in Abhängigkeit von der Schnittlinientiefe c dargestellt. Die Schnittlinientiefe wird auf die maximale Rautiefe oder die gemittelte Rautiefe bezogen und beginnt beim höchsten Punkt des Profils. Die unterschiedlich schnell wachsende Tragfähigkeit in Abhängigkeit von der Art des Profils lässt

Rückschlüsse auf dessen Eignung für die vorgesehene Funktion zu.

Um die Rauheitsmessgrößen zu definieren, geht man von einer Bezugslinie aus, die parallel zum geometrischen Profil liegt. Die Bezugstrecke ist der Teil der Bezugslinie, auf dem Messwerte erfasst werden. Am Anfang der Bezugstrecke (Vorlauf) und am Ende der Bezugstrecke (Nachlauf) werden einige Messwerte weggeschnitten, um erhöhte Unsicherheiten in diesem Bereich zu vermeiden.

Übrig bleibt die Messstrecke, die für die Auswertung herangezogen wird und das Messergebnis liefert. Die Länge und die Richtung der Messstrecke beeinflusst ganz wesentlich das Messergebnis. Je kürzer die Messstrecke, umso größer ist im allgemeinen die Streuung. Wenn die Bearbeitungsrichtung bekannt ist, soll die Messrichtung quer zur Bearbeitungsrichtung liegen. Bei unbekannter oder ungerichteter Bearbeitungsrichtung sollte aus Messungen in mehreren Richtungen der Mittelwert gebildet werden. Alle senkrecht zur Messrichtung erfassten Rauheitsmaße bezeichnet man als Senkrechtmaße, die parallel dazu erfassten Maße als Waagerechtmaße. Von Interesse ist noch die Profilmittellinie, die innerhalb der Messstrecke das Profil so schneidet, dass die Summe der Quadrate der Profilabweichungen (der werkstoffgefüllten Flächen) oberhalb und unterhalb der Linie gleich und ein Minimum ist. Die Mittellinie repräsentiert besser als die Bezugslinie parallel zum geometrischen Körper, die Lage des Profils innerhalb der Messstrecke.

Definition der größten Höhe des Profil Rz (früher Rmax):

$$Rz = Z_{pmax} + Z_{vmax}$$

Rz ist der Abstand zwischen zwei Parallelen zur mittleren Linie die den höchsten und tiefsten Punkt eines Oberflächenprofils innerhalb der Bezugstrecke berühren (**Bild 3, 4 und 5**).

Diese Oberflächenmessgröße ist sehr von Zufälligkeiten abhängig. Eine einzige Beschädigung kann zur Nichterfüllung der Kriterien führen. Etwas weniger von einer Einzelrille abhängig ist die Beurteilung nach der mittleren Höhe der Profilelemente Rc.



Definition der mittleren Höhe der Profilelemente Rc (früher Rz):

$$Rc = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m z_{ti}$$

m = Zahl der gemessenen Profilelemente

Wenn die Profilhöhen innerhalb der Gesamtmessstrecke gleichmäßig verteilt sind, wird man zwischen Rz und Rc keinen großen Unterschied feststellen. Ist allerdings die größte Rauheit innerhalb einer kurzen Einzelmessstrecke konzentriert und sind in den restlichen Messstrecken nur geringe Rauheiten vorhanden, so kann es zu großen Unterschieden kommen.

Definition des arithmetischen Mittenrauwertes Ra:

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx$$

Arithmetischer Mittelwert der absoluten Beträge der Ordinatenwerte Z(x) des Rauheitsprofils von der Mittellinie innerhalb der Messstrecke l. Ra entspricht der Höhe eines Rechtecks mit der Kantenlänge der Messstrecke l (**Bild 6**).

Ra gibt die allgemeine Rauheit des Profils wieder und „verschluckt“ einzelne große Rautiefen. Für viele Funktionsfälle ist Ra deshalb nur in Verbindung mit der Bestimmung von Rz oder Rm zu gebrauchen.

Definition der Materialanteilkurve des Profils Rmr:

$$Rmr(c) = \frac{Ml(c)}{ln}$$

Rmr ist das Verhältnis der tragenden Länge des Profils parallel zur Mittellinie, bestimmt aus der Summe der Einzeltraglängen l₁ bis l_i, zur Messstrecke ln in der vorgegebenen Schnitthöhe c (**Bild 7 und 8**).

5. Oberflächenmessung

Die Vielzahl der Verfahren zur Oberflächenmessung, die teilweise nur auf eng begrenzte Anwendungsfälle beschränkt bleiben, soll auf das universell einsetzbare Tastschnittverfahren mit induktiven Tastern und auf eine kurze Beschreibung des zunehmend in Anwendung kommenden Laser-Autofocusverfahrens beschränkt werden.

Das Prinzip eines induktiven Oberflächen-Tastschnittgerätes ist in **Bild 11** dargestellt. Ein Taster wird von einem Vorschubgerät mit einer definierten Geschwindigkeit (v = 0.1 bis 5 mm/s) über die wirkliche Oberfläche gezogen. Der Taster besteht aus Führung und Tastnadel, die die Induktivität eines induktiven Gebers in einer elektrischen Brückenschaltung verändert.

Die Führung der Tastnadel kann als möglichst idealgeometrische Fremdführung (Freitastsystem) ausgebildet sein. Dann ist es erforderlich, sie sehr gut parallel zur Werkstückoberfläche auszurichten. Da das meist schwierig und zeitraubend ist, werden auch bewegliche (pendelnde) Fremdführungen eingesetzt, die an zwei Punkten auf der Oberfläche aufliegen und sich dabei selbst nach der Oberfläche ausrichten können. Der Einsatz solcher (meist teurer) Tastsysteme ist nur dann sinnvoll, wenn man die Gestaltabweichungen 1. und 2. Ordnung vollständig bei der Abtastung miterfassen will (**Bild 10 a und b**).

Einfacher sind halbstarre Pendeltastsysteme mit zwei Kufen und halbstarre Einkufentastsysteme (**Bild 10c und d**) zu handhaben.

Diese Tastsysteme stützen sich mit zwei oder einer Kufe auf der Oberfläche selbst ab. Der Kufenradius wird relativ groß gewählt (bis 250 mm). Trotzdem übt die Kufe eine gewisse Filterwirkung auf die Gestaltabweichungen 1. und 2. Ordnung aus. Der äußerst geringe Einfluss auf die Erfassung der Rauheit kann vernachlässigt werden.

Die Tastnadel bewegt den Eisenkern in den zur Brücke geschalteten Spulen.



Name:

Praktikumsgruppe:

Dadurch wird eine hohe Empfindlichkeit erreicht, die aber durch einen Widerstandsstufenschalter der Messaufgabe angepasst werden kann. Durch elektronische Nachverstärkung werden Übersetzungen bis 1:100 000 erreicht. Für die Überprüfung der Übersetzung benötigt man ein beglaubigtes Normal mit Rillen bekannter Tiefe. Für die Überprüfung der Oberflächenmessgrößen, die aus Integralwerten berechnet werden, ist ein Frequenzgeber erforderlich, der eine sehr stabile, definierte Sinuswelle liefert, die eine Rauheit simuliert. Die Geräteanzeige wird dann mit den für die Sinuswelle bekannten Oberflächenmessgrößen verglichen.

Die Tastnadel des Tastsystems besteht aus einem 60°- oder 90° Diamantkegel mit einem Spitzenradius zwischen 2 und 10 μm . Bei Rautiefen unterhalb des Tastnadelradius kann es zu größeren Unterschieden zwischen dem wirklichen und dem messtechnisch erfassbaren Profil kommen. Wenn man aufgezeichnete Oberflächenprofile sieht, könnte man leicht der Meinung sein, dass man diese Profile mit einer solchen Tastnadel nie abtasten könne, weil die Profilflanken zu steil seien. Das ist aber ein Irrtum. Durch die starke Vergrößerung in y- Richtung gegenüber der sehr geringen Vergrößerung in x- Richtung entsteht eine große Profilüberhöhung. Das Oberflächenprofil, das auf dem Profilschrieb wie eine bizarre Alpenlandschaft aussieht, würde bei einer 1 : 1 - Aufzeichnung in y- und x- Richtung wie eine ganz sanfte Hügellandschaft aussehen.

Die weitere Verarbeitung der vom induktiven Taster aufgenommenen und verstärkten Signale zeigt **Bild 11**. Das Signal wird im nachgeschalteten Rechner verarbeitet. Entsprechend der Vorgabe wird dann Makro- und Mikrogeometrie durch gewählte Filter getrennt. Dann kann je nach Ausbaustufe des Oberflächenmessgerätes eine mehr oder weniger große Zahl von Oberflächenmessgrößen berechnet und digital angezeigt werden. Die meisten Oberflächenprüfgeräte verfügen auch über einen Profilschreiber der es erlaubt, das Profil des Oberflächenschnittes optisch darzustellen.

Einige Nachteile der mechanischen berührenden Abtastung werden bei der optischen Abtastung der Oberfläche vermieden. Das Prinzip der optischen Abtastung (**Bild 9**) beruht darauf, dass der Brennpunkt eines Laserstrahls auf der Oberfläche scharf abgebildet wird. Der Brennfleckdurchmesser beträgt 1 bis 2 μm . Ändert sich beim Hindurchziehen der Oberfläche unter dem Laserstrahl der Weg des Lichtes gegenüber einem durch einen Strahlenteiler zu einer Referenzdiode abgeleiteten Lichtstrahl, so regelt das Messsystem den Brennpunkt vorzeichenrichtig gegenüber der Ausgangslage stetig auf größte Schärfe des Brennpunktes nach. Die Regelbewegung, die dem Profilschnitt durch die Oberfläche entspricht, wird registriert. Damit wird das Prinzip auf eine kontinuierliche eindimensionale Längenmessung zurückgeführt.

Der Vorteil der berührungslosen Abtastung wird dadurch relativiert, dass das Verfahren von den Reflexionseigenschaften des Werkstoffs abhängig ist und sich bei unterschiedlicher Reflexion trotz gleicher wirklicher Rautiefe unterschiedliche gemessene Rautiefen ergeben. Ein weiterer Vorteil des Systems ist aber die praktisch masselose Übertragung des Laserstrahls, was die Eigenfrequenz des Systems verbessert und höhere Antastgeschwindigkeiten zulässt. Die optische Oberflächenprüfung nach dem Autofocusverfahren konnte sich gegenüber den weit verbreiteten mechanische Tastschnittverfahren bisher jedoch noch nicht generell durchsetzen.



6. Durchführung der Praktikumsaufgabe

Aufgabe:

Bestimmung von Rz, Rc und Ra (jeweils 8 Messwerte) an unterschiedlich bearbeiteten Proben verschiedener, in der Zahnmedizin angewendeter Werkstoffe.

Gerät: Hommeltester T 6000 mit Taster TK 100

Werkstoffe der Proben:

Legierung, vorpoliert und hochglanzpoliert.
Prothesenkunststoff, vorpoliert und hochglanzpoliert.
Compositematerial, vorpoliert und hochglanzpoliert

Messbedingungen:

Messlänge, -stelle und -richtung sowie Vergrößerung werden vor dem Versuch festgelegt

Durchführung der Versuche entsprechend Protokoll

Literatur:

TU Dresden, Studienbriefe Fertigungsmesstechnik und Qualitätssicherung,
Prof. Dr.-Ing. H. Weise und Dr.-Ing. R. Schröter

2. Studienbrief: Messgeräte der Fertigungsmesstechnik, 1995

3. Studienbrief, Teil 2: Spezielle Messaufgaben: Form, Lage, Oberfläche, 1999

DIN-Taschenbuch Nr. 11 - Längenmesstechnik: Grundnormen über
Oberflächenmesstechnik (Gültig ist die jeweils letzte
Ausgabe der Norm)

DIN 4760 Gestaltabweichungen, Begriffe, Ordnungssystem.

DIN -EN ISO 4287 Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren

DIN -EN 3174 (Ersatz für DIN 4772) Elektrische Tastschnittgeräte
zur Messung der Oberflächenrauheit nach dem Tastschnittverfahren.

DIN -EN 11562 (Ersatz für DIN 4777) Oberflächenmesstechnik zur
Anwendung in elektrischen Tastschnittgeräten,
phasenkorrekte Filter.

DIN -EN 12179 Oberflächenbeschaffenheit, Tastschnittverfahren,
Kalibrierung von Tastschnittgeräten.

Wir bedanken uns bei Dr. von Stockhausen für die fachlich versierte Hilfe bei der
Erstellung des Manuskriptes.

Anhang:

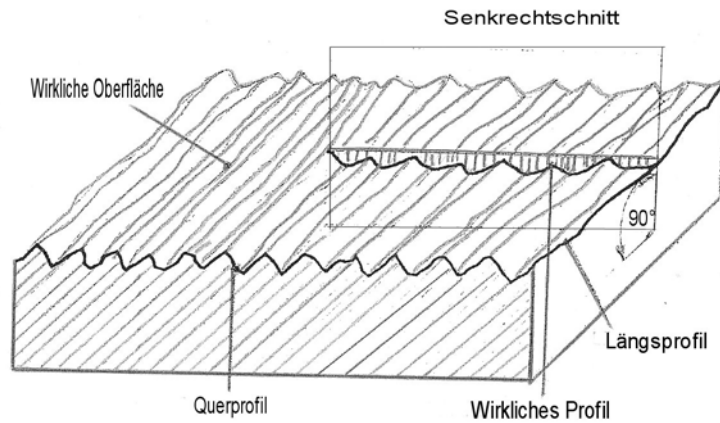


Bild 1: Zweidimensionaler Profilschnitt

1. Ordnung: Formabweichungen



2. Ordnung: Welligkeit



3. Ordnung: Rauheit



4. Ordnung: Rauheit



5. Ordnung: Rauheit

Anmerkung: nicht mehr in einfacher Weise bildlich darstellbar

6. Ordnung:

Anmerkung: nicht mehr in einfacher Weise bildlich darstellbar



Beispiel: Gestaltabweichung aller Ordnungen überlagern sich in der Regel zu der Ist-Oberfläche

Bild 2: Ordnungssystem für Gestaltabweichungen nach DIN 4760

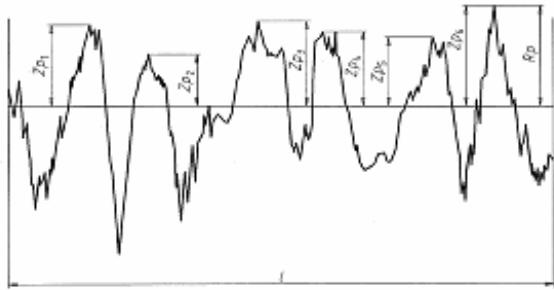


Bild 3: Höhe der größten Profilspitze

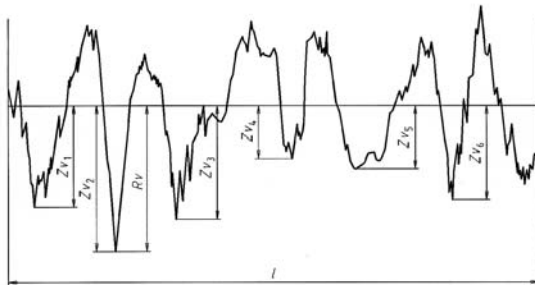


Bild 4: Tiefe des größten Profiltales

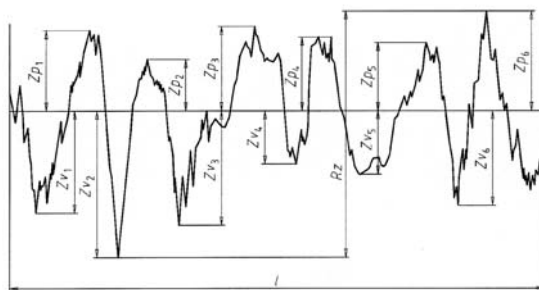


Bild 5: Größte Höhe des Profils

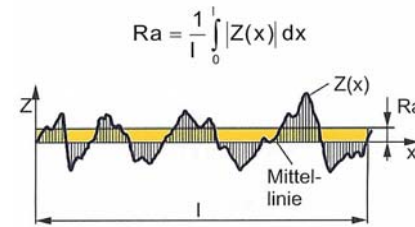


Bild 6: Bestimmung von Ra (arithmetischer Mittenrauwert)

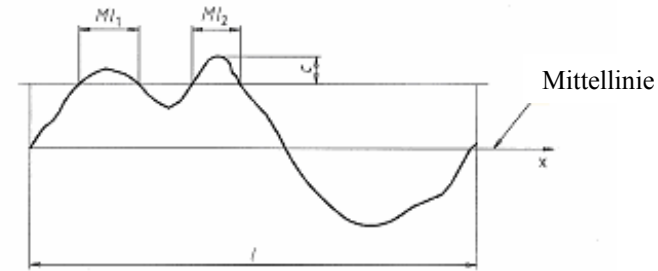


Bild 7: Materiallänge

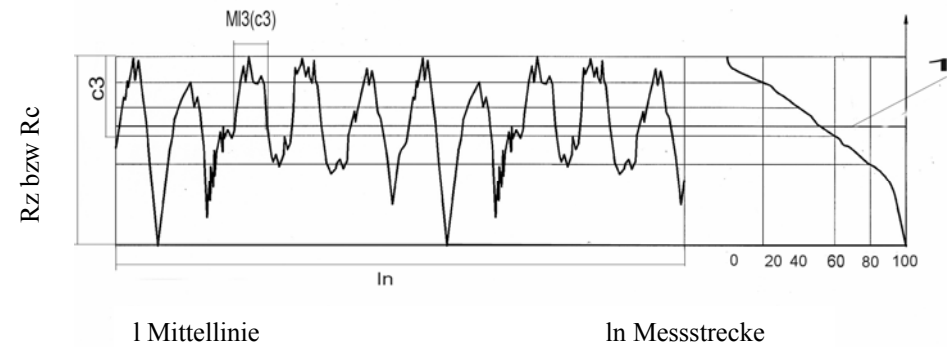


Bild 8: Materialanteilkurve

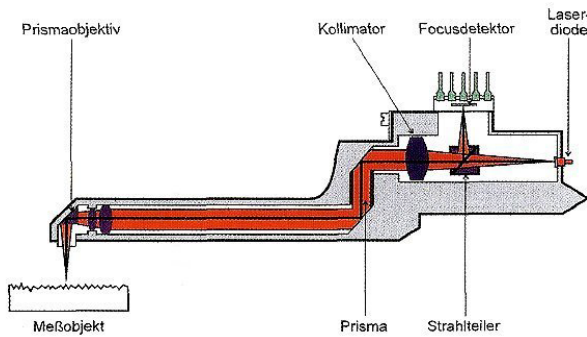
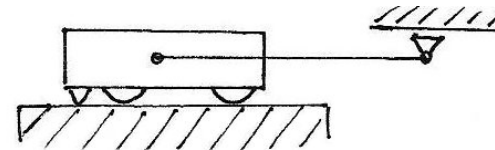
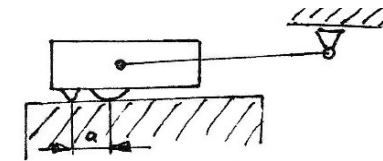


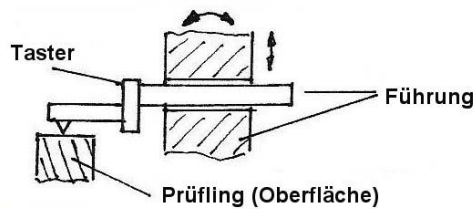
Bild 9: Schematischer Aufbau des optischen Mikrotasters FOCODYN



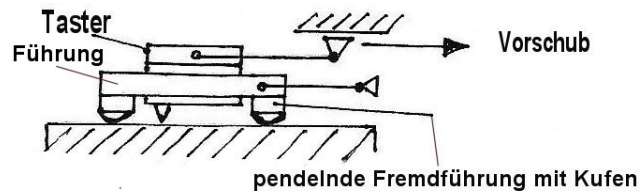
c) Pendeltastsystem als halbstarres System



d) Halbstarres Tastsystem mit einer Kufe



a) Tastsystem mit Fremdführung



b) Pendeltastsystem mit Fremdführung

Bild 10a-d: Pendeltastsysteme

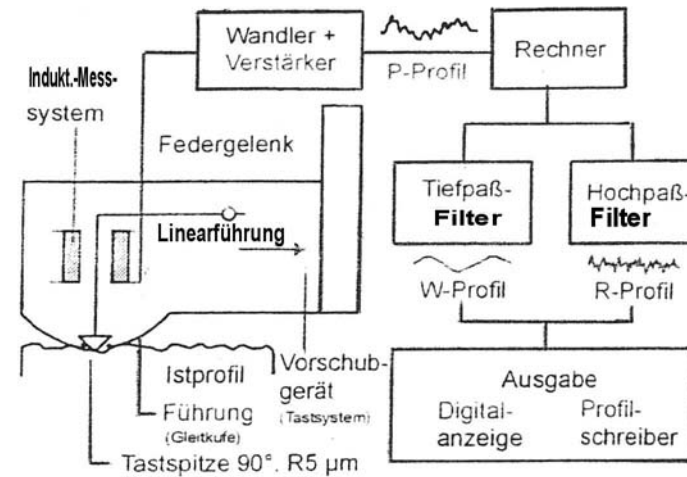


Bild 11: Aufbau eines Tastschnittgerätes

Name:

Praktikumsgruppe:

Stand 26.04.04



	Arithmetischer Mittenrauwert Ra		Größte Höhe der Profilelemente Rz		Mittlere Höhe des Profils Rc	
	vorpoliert	Hochglanz	vorpoliert	Hochglanz	vorpoliert	Hochglanz
Legierung						
Messung						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
Mittelwert x						
±s						
Kunststoff						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
Mittelwert x						
±s						
Composite						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
Mittelwert x						
±s						



3. Auswertung und Schlußfolgerungen

4. Fehlerbetrachtung