

DIN 32567-3

ICS 39.020

**Fertigungsmittel für Mikrosysteme –
Ermittlung von Materialeinflüssen auf die optische und taktile
dimensionelle Messtechnik –
Teil 3: Ableitung von Korrekturwerten für taktile Messgeräte**

Production equipment for microsystems –

Determination of the influence of materials on the optical and tactile dimensional metrology –

Part 3: Derivation of correction values for tactile measuring devices

Équipements de production pour systèmes microtechniques –

Détermination de l'influence des matériaux sur la métrologie dimensionnelle optique et tactile –

Partie 3: Dérivation des valeurs de correction pour les appareils de mesure tactiles

Gesamtumfang 28 Seiten

DIN-Normenausschuss Feinmechanik und Optik (NAFuO)

Inhalt

Seite

Vorwort	3
Einleitung.....	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Messbedingungen	5
5 Topografische Schichtdickenmessung mit Tastschnittgeräten.....	6
6 Einflussfaktoren bei taktilen Oberflächenmessverfahren	7
6.1 Allgemeines	7
6.2 Gerätespezifische Einflussfaktoren bei taktilen Verfahren	7
6.2.1 Allgemeines	7
6.2.2 Antastkraft	7
6.2.3 Tastspitzenradius	8
6.2.4 Vorschubgeschwindigkeit	10
7 Bestimmung und Korrektur der systematischen Abweichung topografisch gemessener Schichtdicken	10
7.1 Allgemeines	10
7.2 Topografische Schichtdickenmessung mit unterschiedlichen Antastkräften	11
7.3 Bestimmung der Schichtdicke d bei Antastkraft Null	12
7.3.1 Allgemeines	12
7.3.2 Reduzierung des Kontaktdruckes	13
7.4 Berechnung der systematischen Abweichung Δd der gemessenen Schichtdicke als Funktion der Antastkraft F_{tip}	14
7.5 Fit der systematischen Abweichung Δd als Funktion der Antastkraft F_{tip}	14
7.6 Berechnung von Korrekturwerten	14
Anhang A (informativ) Verfahren zur Messung der Antastkraft	15
A.1 Allgemeines	15
A.2 Kompensationswaage	15
A.3 Biegebalken-Kraft-Einstellnormal	16
Anhang B (informativ) Kalibrierverfahren für den Tastspitzenradius.....	19
Anhang C (informativ) Beispielauswertung: Änderung der taktil gemessenen Schichtdicke mit der Antastkraft	23
C.1 Topografische Schichtdickenmessung mit unterschiedlichen Antastkräften	23
C.2 Bestimmung der Schichtdicke d bei Antastkraft Null	25
C.3 Berechnung der systematischen Abweichung Δd der gemessenen Schichtdicke als Funktion der Antastkraft F_{tip}	25
C.4 Fit der systematischen Abweichung Δd als Funktion der Antastkraft F_{tip}	26
C.5 Berechnung von Korrekturwerten	27
Literaturhinweise	28

Vorwort

Dieses Dokument wurde vom Arbeitsausschuss NA 027-03-03 AA „Fertigungsmittel für Mikrosysteme“ im DIN-Normenausschuss Feinmechanik und Optik (NAFuO) erarbeitet.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. Das DIN [und/oder die DKE] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

DIN 32567 *Fertigungsmittel für Mikrosysteme — Ermittlung von Materialeinflüssen auf die optische und taktile dimensionelle Messtechnik* besteht aus den folgenden Teilen:

- *Teil 1: Qualitative Abschätzung der material- und verfahrensspezifischen Einflüsse*
- *Teil 2: Prüfkörper für taktile Verfahren*
- *Teil 3: Ableitung von Korrekturwerten für taktile Messgeräte*
- *Teil 4: Prüfkörper für optische Verfahren*
- *Teil 5: Ableitung von Korrekturwerten für optische Messgeräte*

Einleitung

Ziel der vorliegenden Norm ist die Empfehlung eines Verfahrens zur Bestimmung und Korrektur der systematischen Abweichungen taktiler topografischer Schichtdickenmessungen für den Fall, dass Schicht und Substrat unterschiedliche mechanische Eigenschaften aufweisen.

An dieser Stelle wird auf die Kalibrierverfahren in den Technischen Regeln VDI/VDE 2617 Blatt 12.1, VDI/VDE 2629 Blatt 1, EN ISO 12179, ISO 25178 Blatt 601 und VDI/VDE 2656 Blatt 1 verwiesen.

Die dimensionelle Messung von Mikrobauteilen ist eine wichtige Aufgabe der Qualitätssicherung in der Mikroproduktionstechnik. Die Bereitstellung von Prüfkörpern und dazugehöriger Kalibrierverfahren ist eine wesentliche Voraussetzung dafür. Mit den heute verfügbaren Prüfkörpern ist hier ein großer Schritt in Richtung der Messbarkeit unterschiedlicher Mikrostrukturen gelungen. Bisher liegen den Kalibrierungsverfahren jedoch idealisierte Annahmen zugrunde. So sind z. B. die Prüfkörper aus steifem, homogenem Material, so dass bei taktiler Messung die elastische/plastische Verformung des Prüfkörpers vernachlässigt werden kann. Gerade in der Mikrotechnik, z. B. in Mikrosystemen werden aber häufig unterschiedliche Materialien mit sehr stark voneinander abweichenden mechanischen Eigenschaften eingesetzt. Bei taktilen topografischen Schichtdickenmessungen, bei denen sich die Schicht als Höhenstufe zum darunter liegenden Substrat darstellt, kann es dann zu relativ großen systematischen Abweichungen der gemessenen Schichtdicke kommen.

Die Norm beschreibt Verfahren zur Bestimmung und Korrektur dieser systematischen Abweichungen für Tastschnittgeräte. Die Norm lässt sich auch auf scannend messende Koordinatenmessgeräte mit taktilen Sensor und Rasterkraftmikroskope im „contact mode“ anwenden.

Die Norm zielt in erster Linie auf die Materialpaarung weiche, nachgiebige Schicht auf hartem, steifem Substrat ab. Wichtigste Voraussetzung für die Anwendung der Norm ist die Möglichkeit der topografischen Schichtdickenmessung, d. h. die Schicht muss als Profilstufe messbar sein.

Anwenden lässt sich die Norm auf taktile Schichtdickenmessungen beliebiger Werkstücke.

Im Anhang werden zwei Verfahren zur Bestimmung der Antastkraft von Tastschnittgeräten (Anhang A), ein Verfahren zur Messung des Tastspitzenradius (Anhang B) und ein Beispiel für die Anwendung der Norm beschrieben (Anhang C).

1 Anwendungsbereich

DIN 32567 beschreibt systematische Einflüsse und Abweichungen bei der Messung von Schichtdicken und Stufenhöhen von Mikrostrukturen aus inhomogenen Materialien mit ausgewählten taktilen und optischen Messgeräten. DIN 32567 legt Verfahren fest, mit denen durch Materialeigenschaften und Messverfahren verursachte systematische Messabweichungen ermittelt und korrigiert werden.

Dieser Teil der DIN 32567 beschreibt systematische Einflussfaktoren für die taktile Messung von Schichtdicken und Stufenhöhen von Mikrostrukturen aus inhomogenen Materialien. Außerdem legt dieser Teil der DIN 32567 Verfahren fest, mit denen diese Einflussfaktoren ermittelt und korrigiert werden können. Dadurch wird es möglich, genauere Messergebnisse zu erzielen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN 32564-1, *Fertigungsmittel für Mikrosysteme — Begriffe und Definitionen*

DIN 32567-1¹⁾, *Fertigungsmittel für Mikrosysteme — Ermittlung von Materialeinflüssen auf die optische und taktile dimensionelle Messtechnik — Qualitative Abschätzung der material- und verfahrensspezifischen Einflüsse*

DIN 32567-2, *Fertigungsmittel für Mikrosysteme — Ermittlung von Materialeinflüssen auf die optische und taktile dimensionelle Messtechnik — Prüfkörper für taktile Verfahren*

DIN EN ISO 5436-1, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren; Normale — Teil 1: Maßverkörperungen*

VDI/VDE 2617 Blatt 12.1, *Genauigkeit von Koordinatenmessgeräten – Kenngrößen und deren Prüfung – Annahme- und Bestätigungsprüfungen für Koordinatenmessgeräte zum taktilen Messen von Mikrogeometrien*

VDI/VDE 2629 Blatt 1, *Genauigkeit von Konturenmessgeräten – Kenngrößen und deren Prüfung – Annahmeprüfung und Bestätigungsprüfung für Konturenmessgeräte nach dem taktilen Tastschnittverfahren*

VDI/VDE 2656 Blatt 1, *Bestimmung geometrischer Messgrößen mit Rastersondenmikroskopen – Kalibrierung von Messsystemen*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach DIN 32564-1 und nach DIN 32567-1.

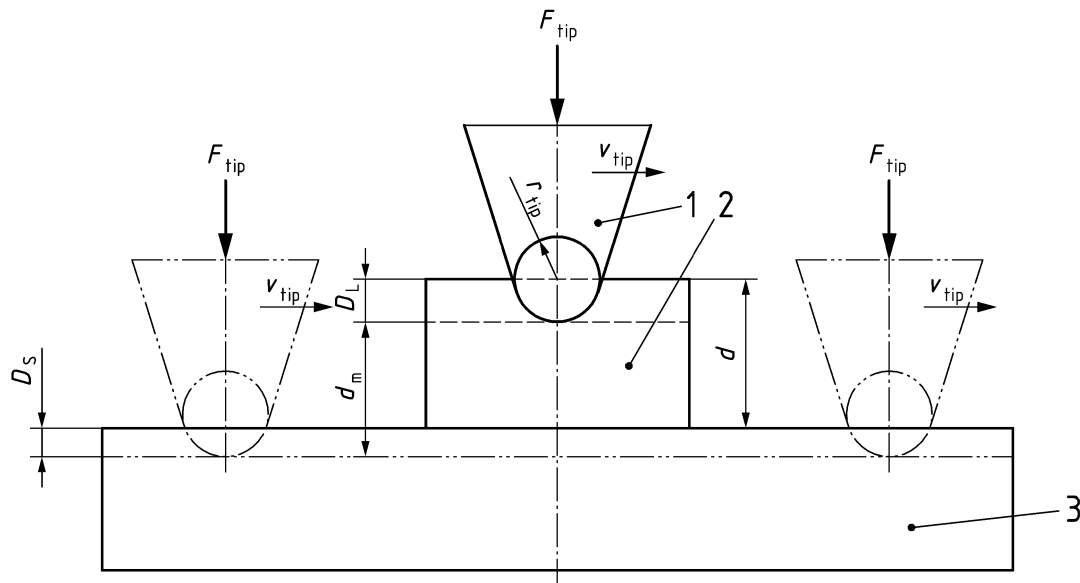
4 Messbedingungen

Die Messungen müssen unter definierten Bedingungen hinsichtlich Reinheit, Temperatur, Luftfeuchte und Schwingungen durchgeführt werden. Es gelten die Festlegungen in VDI/VDE 2617 Blatt 12.1, VDI/VDE 2629 Blatt 1 und VDI/VDE 2656 Blatt 1.

1) Dieser Teil der Normenreihe befindet sich derzeit noch in der Erarbeitung.

5 Topografische Schichtdickenmessung mit Tastschnittgeräten

Tastschnittgeräte sind in der dimensionellen Messtechnik weit verbreitet. Zur Vermeidung von Beschädigungen der Oberfläche des Messobjekts müssen sowohl die Antastkraft F_{tip} als auch der Radius der Tastspitze r_{tip} definiert sein. In DIN EN ISO 3274 [1] werden für Rauheitsmessungen eine statische Messkraft von $F_{\text{tip}} = 750 \mu\text{N}$ und eine sphärische Spitze der Tastnadel mit einem Radius von $r_{\text{tip}} = 2 \mu\text{m}$ empfohlen. Für die zerstörungsfreie Messung der Dicke von weichen Schichten müssen wesentlich kleinere Antastkräfte, als die für Rauheitsmessungen empfohlenen, eingesetzt werden. Sollen Mikro- und Nanostrukturen lateral aufgelöst werden, müssen darüber hinaus kleinere Tastspitzenradien als $2 \mu\text{m}$ verwendet werden.



Legende

1	Tastspitze ($E_{\text{tip}}, H_{\text{tip}}, v_{\text{tip}}$)	2	Schicht (E_L, H_L, v_L)	3	Substrat (E_S, H_S, v_S)
E_{tip}, E_L, E_S	Elastizitätsmodul	d_m	gemessene Schichtdicke	r_{tip}	Radius der Tastspitze
H_{tip}, H_L, H_S	Härte	d	Schichtdicke bei Antastkraft Null		
v_{tip}, v_L, v_S	Querkontraktionen	F_{tip}	Antastkraft	D_L	Deformation der Schicht
v_{tip}	Vorschubgeschwindigkeit	D_S	Deformation des Substrates		

Bild 1 — Deformationen bei der topografischen Schichtdickenmessung mit dem Tastschnittgerät

Bei Messungen auf Oberflächen, die aus homogenem Material bestehen, sind bei konstanter Antastkraft und Vorschubgeschwindigkeit auch die auftretenden Deformationen konstant. Bei topografischen Schichtdickenmessungen (siehe Bild 1), bei denen Schicht und Substrat aus unterschiedlichen Materialien aufgebaut sind, können systematische Messabweichungen Δd , bedingt durch unterschiedliche Deformationen von Schicht (D_L) und Substrat (D_S), auftreten. Die gemessene Schichtdicke d_m weicht dann systematisch von der Schichtdicke d bei Antastkraft Null ab:

$$\Delta d = D_S - D_L = d_m - d \quad (1)$$

Zusätzliche Informationen zu Tastschnittgeräten können DIN EN ISO 25178-601 [3] entnommen werden.

6 Einflussfaktoren bei taktilen Oberflächenmessverfahren

6.1 Allgemeines

Im Allgemeinen haben gerätespezifische, materialspezifische und umgebungsspezifische Faktoren einen Einfluss auf das Messergebnis der topografischen Schichtdickenmessung (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1 — Einflussfaktoren bei der topografischen Schichtdickenmessung mit Tastschnittgeräten

Gerätespezifische Einflussfaktoren	Materialspezifische Einflussfaktoren	Umgebungsspezifische Einflussfaktoren
• Antastkraft (F_{tip}) • Tastspitzenradius (r_{tip}) bzw. Tastspitzengeometrie • Vorschubgeschwindigkeit (v_{tip})	• Härte (H) • Fließgrenze (Y) • Elastizitätsmodul (E) • Viskosität (η) • Querkontraktion (Poissonzahl) (ν)	• Temperatur (T) • Luftfeuchte (r^F)

Bei den gerätespezifischen Einflussfaktoren treten neben der Antastkraft, der Tastspitzenradius und die Vorschubgeschwindigkeit als relevante Einflussfaktoren auf. Durch Variation dieser Messparameter kann ihr Einfluss auf die gemessene Schichtdicke untersucht und korrigiert werden. Tastspitzenradius und Vorschubgeschwindigkeit lassen sich bei fast allen Tastschnittgeräten variieren, die Antastkraft nur bei wenigen Geräten. Bei einigen Geräten, die im Bereich der Halbleiterfertigung weit verbreitet sind, lassen sich zwar sehr kleine Antastkräfte einstellen, aber die größte Antastkraft beträgt nur 500 μN . Mit diesen Geräten lassen sich die antastkraftabhängigen systematischen Abweichungen der gemessenen Schichtdicke sehr gut untersuchen.

Materialspezifische Einflussfaktoren sind die Härte sowie die damit korrelierte Fließgrenze des Materials, der Elastizitätsmodul, die Viskosität und die Querkontraktion. Viskose Materialien wie bspw. viele Polymere zeigen neben statischen auch zeitabhängige Deformationen, die von der Vorschubgeschwindigkeit abhängen.

Wesentliche umgebungsspezifische Einflussfaktoren sind die Temperatur und die Luftfeuchte. Viele Polymere quellen in feuchter Umgebung auf und ändern ihre mechanischen Eigenschaften. Dies muss bei der Untersuchung der materialabhängigen Eigenschaften berücksichtigt werden.

6.2 Gerätespezifische Einflussfaktoren bei taktilen Verfahren

6.2.1 Allgemeines

In diesem Abschnitt werden gerätespezifische Einflussfaktoren bei der topografischen Schichtdickenmessung mit Tastschnittgeräten beschrieben.

6.2.2 Antastkraft

Für präzise Dickenmessungen muss die Antastkraft F_{tip} des Messgerätes bestimmt werden und ein konstanter Kontakt zur Messoberfläche während der Messung muss durch eine entsprechende Wahl der Vorschubgeschwindigkeit v_{tip} gewährleistet werden.

ANMERKUNG Bei zu geringer Antastkraft oder zu hoher Vorschubgeschwindigkeit kann die Tastspitze von der Oberfläche abheben.

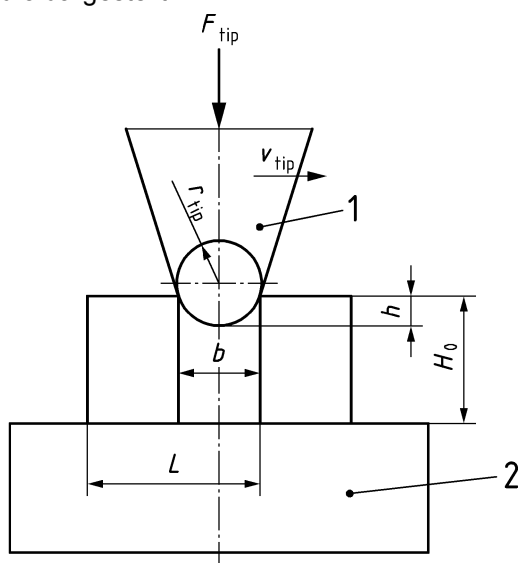
Je größer die Antastkraft, desto tiefer dringt im Allgemeinen die Tastspitze in das zu messende Material ein. Die Eindringtiefe ist darüber hinaus abhängig von den Materialeigenschaften. Im Anhang A werden unter A.2 und A.3 zwei Verfahren zur Messung der Antastkraft von Tastschnittgeräten beschrieben.

6.2.3 Tastspitzenradius

Für präzise Schichtdickenmessungen muss der Tastspitzenradius r_{tip} bestimmt werden.

Der Tastspitzenradius begrenzt die Größe der lateralen Oberflächenstrukturen, die noch aufgelöst werden können. Laterale Strukturen, die schmäler als der Tastspitzenradius sind, lassen sich nicht mehr korrekt messen.

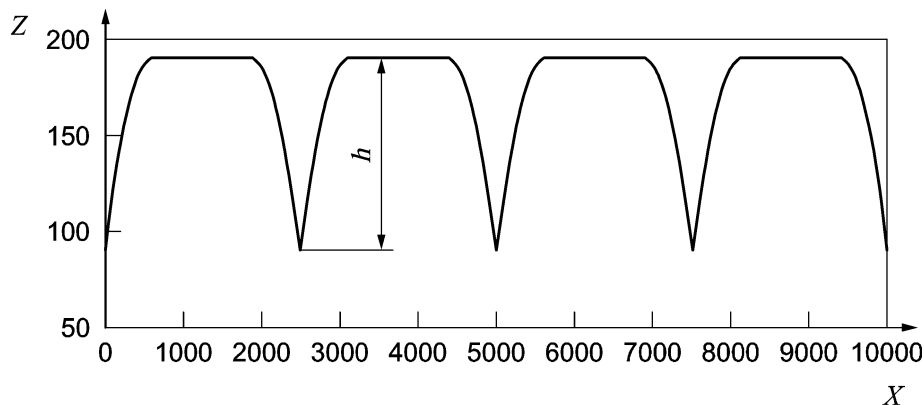
Das hier empfohlene Verfahren zur Bestimmung des Tastspitzenradius verwendet Profilmessungen an Rechteck-Gitternormalen unterschiedlicher Periodenlänge des Typs B1 von DIN EN ISO 5436-1. Ein solches Gitternormal mit rechteckigen Gitterabschnitten ist zusammen mit der kugelförmigen Tastspitze eines Profilometers in den Bildern 2 und 3 dargestellt.



Legende

1	Tastspitze	2	Rechteckgitter	F_{tip}	Antastkraft
r_{tip}	Radius der Tastspitze	H_0	Gitterhöhe	h	Amplitude des Tastprofils
b	Breite der Tastspitze	L	Gitterkonstante	v_{tip}	Vorschubgeschwindigkeit der Tastspitze

Bild 2 — Taster mit kugelförmiger Tastspitze während der Messung einer Rechteckgitterstruktur



Legende

X in nm Z in nm

Bild 3 — Simuliertes Tastprofil einer 2 µm Tastspitze für die Messung einer Rechteckgitterstruktur mit $L = 2,5 \mu\text{m}$ und $H_0 = 190 \text{ nm}$

Aus der Gitterkonstanten L und der Amplitude h des Tastprofils der Gitterstruktur (siehe Bild 3) kann der Radius r_{tip} der Tastspitze geometrisch berechnet werden. Es gilt:

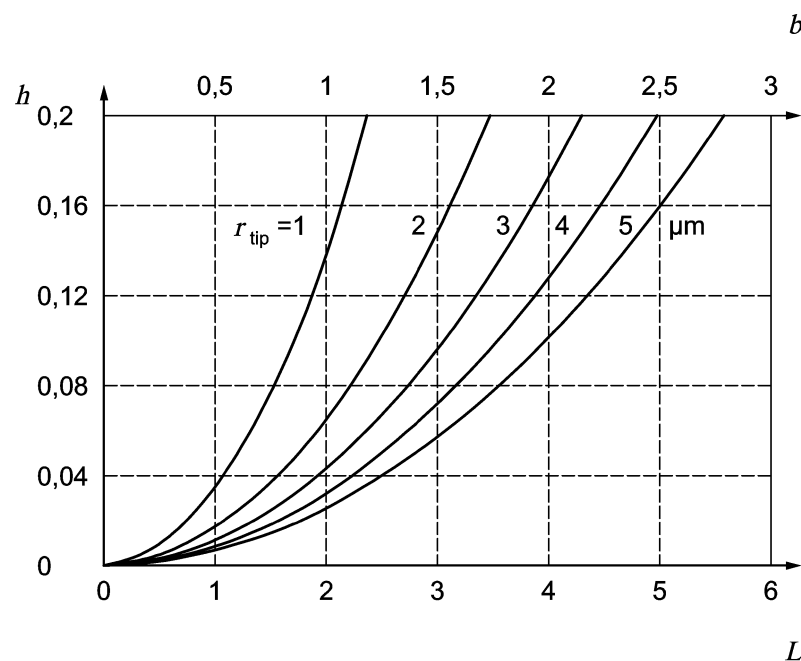
$$r_{\text{tip}} = \frac{(L/4)^2 + h^2}{2h} \quad (2)$$

Die Gleichung ist gültig für $r_{\text{tip}} > L/4$, $h \leq H_0$ und für perfekte Rechteckgitter mit äquidistanter Breite von Struktur und Zwischenraum sowie eine perfekte Kugelform der Tastspitze.

Für die Charakterisierung einer Tastspitze mit Radius r_{tip} müssen Gitterstrukturen mit Periodenlängen von $L_{\text{min}} = r_{\text{tip}}/2$ bis $L_{\text{max}} = 4r_{\text{tip}}$ gemessen werden. Die Amplitude h (siehe Bild 2) des Tastprofils einer idealen Tastspitze folgt aus (2) zu:

$$h = r_{\text{tip}} - \sqrt{r_{\text{tip}}^2 - \left(\frac{L}{4}\right)^2} \quad (3)$$

Für fünf ideal sphärische Tastspitzen mit Radien zwischen $1 \mu\text{m}$ und $5 \mu\text{m}$ ist in Bild 4 für Gitter mit unterschiedlicher Periodenlänge L die nach Gleichung (3) zu erwartende Amplitude h des Tastprofils dargestellt.



Legende

h Amplitude des Tastprofils in μm b Breite der Tastspitze in μm L Periodenlänge in μm

Bild 4 — Amplitude h des Tastprofils ideal sphärischer Tastspitzen mit Radien zwischen $1 \mu\text{m}$ und $5 \mu\text{m}$ für die Abtastung von Rechteckgitterstrukturen mit Periodenlänge L

Die Vorschubgeschwindigkeit v_{tip} und die Abtastrate des Tastschnittgerätes müssen für diese Messungen so gewählt werden, dass sich ein lateraler Punktabstand von 2 % des Tastspitzenradius r_{tip} ergibt.

Für Tastspitzen, deren Form von der Kugel abweicht, lässt sich mit diesem Verfahren die Breite der Tastspitze in unterschiedlichen Höhen bestimmen. Für jede gemessene Gitterstruktur mit Gitterperiode L ergibt sich die Breite b der Tastspitze in einem Abstand h vom Apex durch $L/2$ (siehe Bild 4).