

Foto: AC2T-Research GmbH

VDA-RICHTLINIE FÜR DIE OBERFLÄCHENMESSUNG MIT STREULICHT

Kenngrößen der Mikrostruktur definiert

**Rainer Brodmann und Boris Brodmann, Ettlingen;
Jürgen Gräber, Dielingen; Rolf Ofen, Bamberg;
Tobias Hercke, Stuttgart; Jörg Seewig, Kaiserslautern**

Bei der Herstellung von technisch hochbeanspruchten Oberflächen im Automobilbau wie zum Beispiel Lager- und Gleitflächen von Motor- und Kraftstoffspritzteilen, spielt die Oberfläche eine extrem wichtige Rolle. Die Mikrostruktur in Form von Rautiefe, Oberflächentextur und Welligkeit bestimmt maßgeblich das Funktionsverhalten der jeweiligen Komponenten. Rauheitsabweichungen können zu erhöhtem Verschleiß und schlechtem Funktionsverhalten führen, periodische Welligkeiten zu unerwünschten Geräuschentwicklungen.

Da aufgrund der Entwicklung im Automobilbau und der erhöhten Kundenanforderungen die Fertigungstoleranzen immer enger werden, ist die Oberflä-

chenprüfung eine wichtige Maßnahme zur Qualitätssicherung. Die bisher überwiegend eingesetzten Verfahren wie Tastschnittgeräte zur Rauheitsmessung und Rundheitsmessgeräte zur Welligkeitsmessung sind zwar sehr präzise, aber für den ständigen Einsatz in der Fertigung störungsanfällig, langsam (Prüfraum!) und bei hohen Anforderungen auch kostenintensiv. Es besteht deshalb seit Langem der Wunsch nach schnellen, berührungslosen, robusten und kostengünstigen Ober-

flächenmesssystemen, die unmittelbar in der Fertigung eingesetzt werden können.

In den letzten drei Jahren hat sich ein optisches Messverfahren etabliert, das auf der winkelaufgelösten Streulichtmethode basiert und fast alle Voraussetzungen erfüllt. Ein einfaches Vorgängersystem nach demselben Prinzip war zwar schon vor 20 Jahren an verschiedenen Einsatzorten bei Daimler, VW und FAG im Einsatz [1], konnte sich aber, aufgrund der damals noch nicht vorhandenen Auswertungssoftware

Mit der Streulichtmesstechnik lässt sich in der Fertigung die Rauheitsänderung feinbearbeiteter Oberflächen schnell und zu 100 Prozent prüfen. Werden rotationssymmetrische Teile präzise bewegt, bietet die Methode auch eine absolute Form- und Welligkeitsmessung. Die in Kürze erscheinende VDA-Richtlinie „Streulichtmesstechnik“ beschreibt Grundlagen, statistische Kenngrößen und Anwendungen dieser Technik und gibt Empfehlungen für den Zeichnungseintrag.

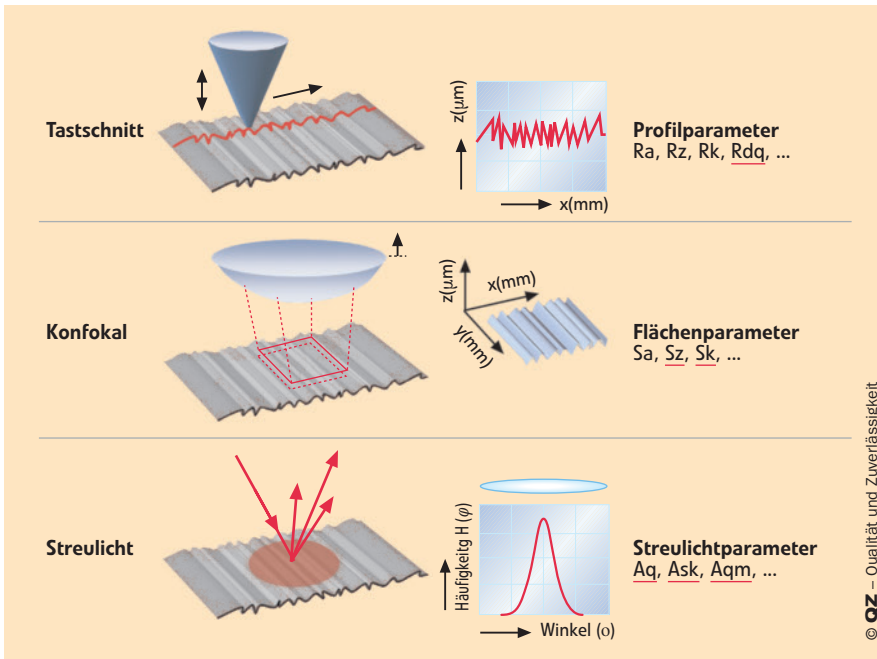


Bild 1. Vergleich von Oberflächenmessverfahren

Messgröße über Geometrienormale auf zertifizierte Standards zurückgeführt werden. Bereits die ersten Anwendungen beim Rollieren und Polieren von Kugelnzapfen, Finishen von Zahnlenkstangen und Nadelagerringen, Schälrehen von Kolbenstangen und spitzenlosen Schleifen von Gasfedern führten bei den Herstellern sofort zu wichtigen Verbesserungen in der Produktion und in der Qualitätssicherung. Bei ihnen kam der Wunsch auf, dieses Verfahren mit seinen Kenngrößen in Zeichnungen eintragen zu können. Nachfolgend wird das Messverfahren im Umfeld der bisherigen Standardverfahren beschrieben, und es werden Beispiele aus der in Kürze erscheinenden VDA-Richtlinie „Streulichtmesstechnik“ [2] vorgestellt.

Grundlagen der Oberflächenmesstechnik

und der Vergleichbarkeitsproblematik mit Tastschnittgeräten, nicht durchsetzen. Im Gegensatz zum alten Messsystem bietet der

neu entwickelte Streulichtsensor umfangreiche Auswertungsmöglichkeiten und eine höhere Genauigkeit. Zudem kann die

Heute übliche Verfahren der Oberflächenmesstechnik sind Tastschnitt, konfokal und Streulicht (Bild 1). Bei der Tastschnittmethode wird die Oberfläche mit einer Diamantnadel berührend abgetastet, ▷

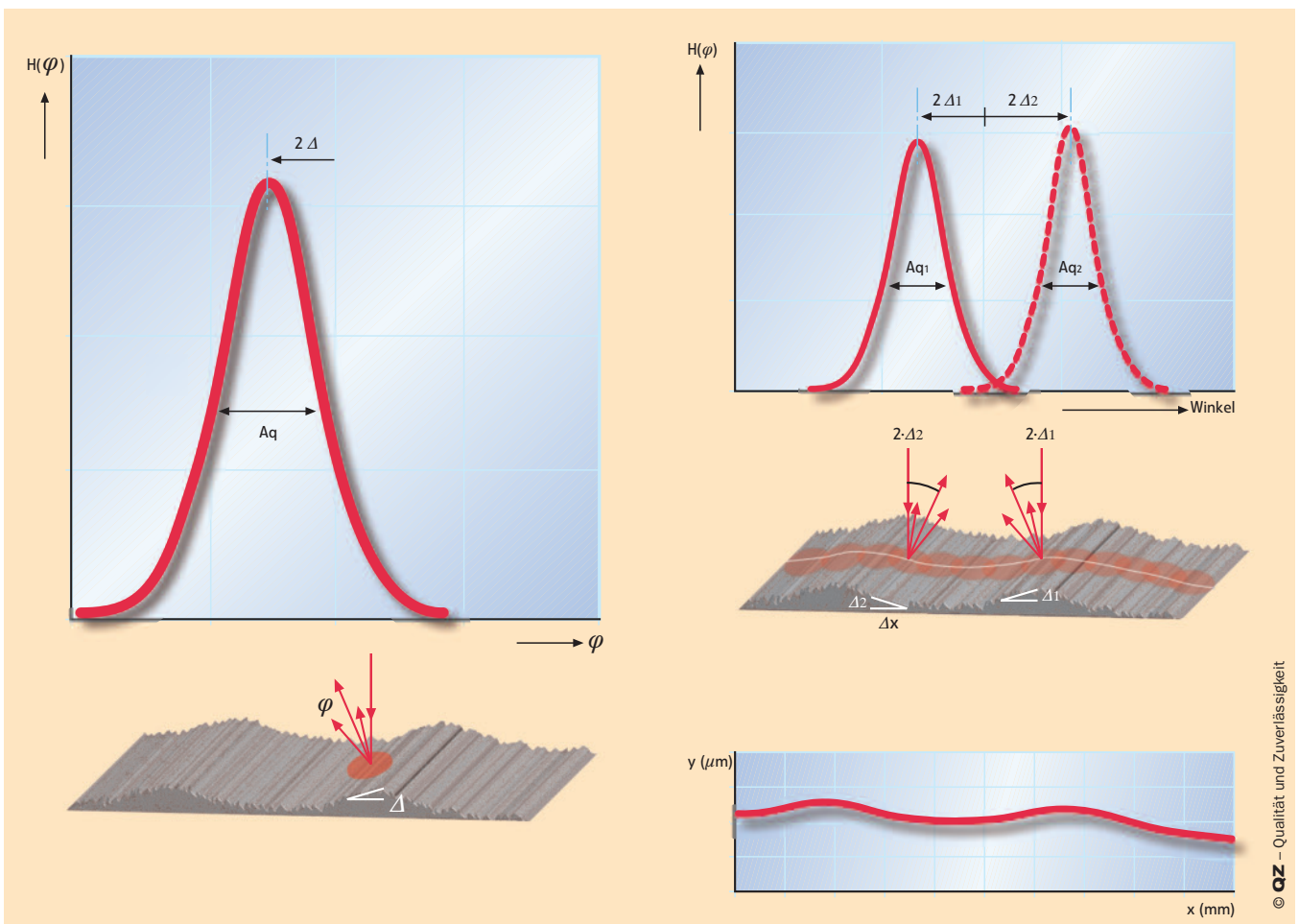
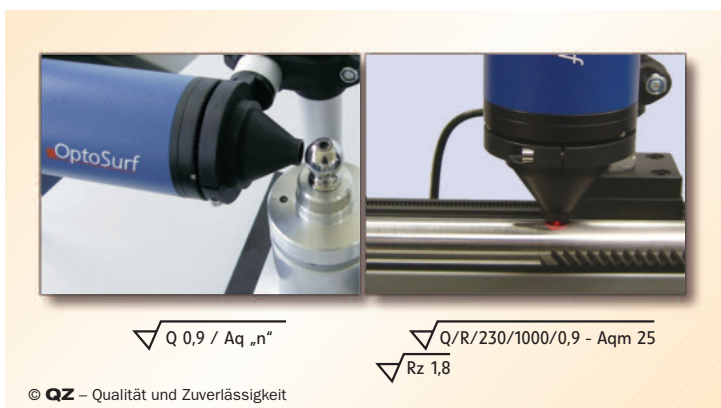


Bild 2. Streulichtmessprinzip, links: Rauheit, rechts: Form

Bild 3. Beispiele für Zeichnungseinträge, links: rollierter Kugelnzapfen, rechts: gefinierte Zahnstange



aus dem gemessenen Profil werden nach genormten Filterverfahren und Algorithmen Rauheitsparameter berechnet, die alle mit dem Buchstaben „R“ beginnen. Vorteile dieses Verfahrens sind die hohe Genauigkeit (bei entsprechenden Systemen), die weltweit absolute Vergleichbarkeit der gemessenen Werte und die hohe Zahl an eingesetzten Messgeräten. Nachteile sind die Empfindlichkeit gegen Erschütterungen, der Zeitaufwand für eine Messung und die Streuung der Messwerte bei strukturierten Oberflächen, da nur eine sehr schmale Linie der Oberfläche erfasst wird.

Der Wunsch nach einer 3D-Erfassung der Oberflächentopografie kann seit einigen Jahren mit mikroskopischen Verfahren (konfokal, interferometrisch, Kontrast) erfüllt werden. Dabei wird eine Fläche von ca. 0,04 bis 1 mm² erfasst und das Objektiv vertikal bewegt, um einzelne Ebenen der Mikrostruktur aufzunehmen. Beim Einsatz von Optiken mit hoher Apertur können exakte topografische Daten erfasst werden, die der „wahren“ Oberflächenmikrostruktur sehr nahe kommen. Die berechneten Flächenparameter tragen die Bezeichnung „S“. Allen Verfahren gemeinsam ist die Empfindlichkeit gegen Vibrationen und der rela-

tiv hohe Zeitaufwand und Preis, so dass ein Einsatz in der Fertigung eher selten ist.

Messung der Mikrostruktur von Oberflächen

Im Vergleich zu den ersten beiden Verfahren erfasst die Streulichtmesstechnik Profilwinkel. Die Oberfläche wird mit einem Messfleck (Durchmesser 0,1 bis 0,9 mm) beleuchtet und die Winkelverteilung des Lichts (entsprechend dem Mikroprofilwinkel der Oberfläche) mit einer fotoempfindlichen Diodenzeile gemessen. Daraus werden dann neuartige Kenngrößen der Mikrostruktur berechnet, die in der VDA-Richtlinie erstmals definiert werden.

Vorteile sind die Unempfindlichkeit gegen Abstandsänderungen, die Flächenbeurteilung und die sehr große Messgeschwindigkeit. Der Nachteil ist, dass es noch keine genormten Kennwerte gibt. Es hat sich gezeigt, dass die Streulichtkennwerte in vielen Fällen Zusatzinfor-

mationen liefern können, die ein Kennwert Ra oder Rz nicht bietet. Damit können Strukturänderungen der Oberfläche durch Prozessänderungen, wie zum Beispiel Werkzeugverschleiß oder inhomogene Bearbeitung nachgewiesen werden.

Da dies für eine Prozessüberwachung in der Fertigung großen Nutzen bietet, haben sich die Anwender in der Automobil- und Zulie-

ferindustrie entschlossen, die neuen Streulichtkenngrößen in einer VDA-Richtlinie als eigenständige Kenngrößen zu behandeln, die mit dem Buchstaben „A“ (angle) beginnen. Der in älteren Veröffentlichungen benutzte Kennwert So oder Sn wird in Aq umbenannt, weil das „S“ im Widerspruch zu den Rauheitskenngrößen der Flächen steht (Bild 2).

Man kann für Aq auch über eine vorherige Vergleichsmessung eine Korrelation zu Zeichnungseinträgen wie zum Beispiel Rz herbeiführen, da es für ein vorgegebenes Fertigungsverfahren (Schleifen, Finishen) sehr oft Zusammenhänge zwischen Profilwinkelverteilung und der Rautiefe Rz gibt. Die Korrelation ist individuell und nicht auf andere Verfahren übertragbar. Details über das Streulichtmessverfahren und seine Anwendungen sind bereits in mehreren Veröffentlichungen ausführlich beschrieben [1, 3, 4].

In Bild 2 links wird gezeigt, wie nach der Beleuchtung der Oberfläche mit einem Messfleck das zurückgestreute Licht

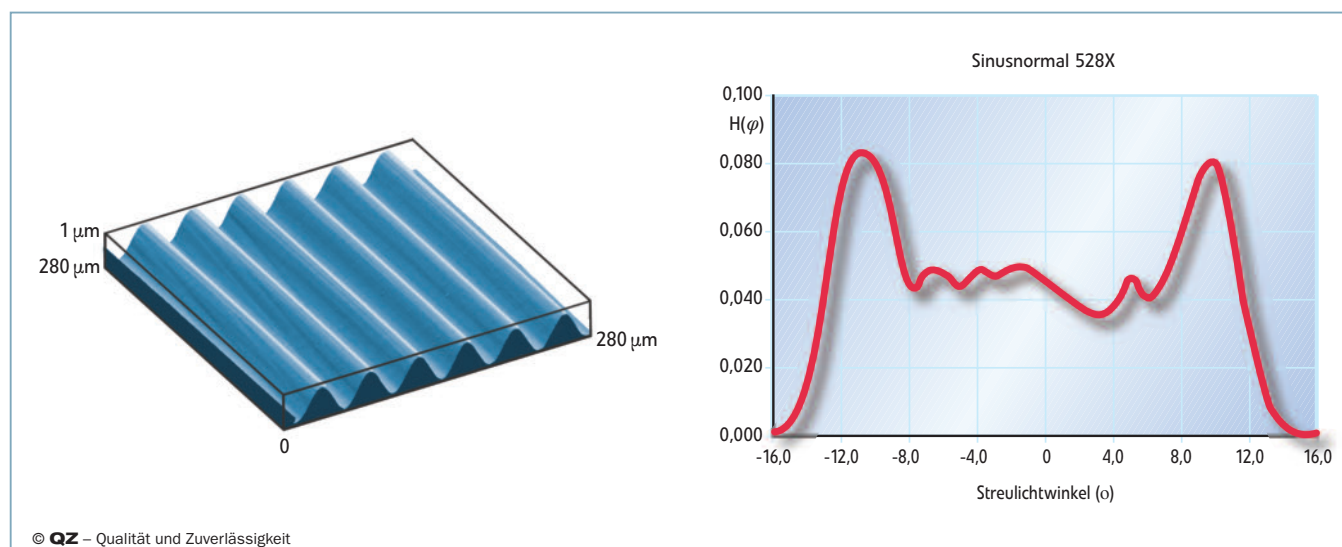


Bild 4. Sinusnormal Rubert 528X, links: 3D-Topografiemessung, rechts: Streulichtverteilung

durch die Profilwinkelverteilung verbreitert wird. Der Streulichtsensor erfasst dabei je nach Orientierung die Intensitätsverteilung quer oder längs zur Bearbeitungsrichtung. Aus der Verteilungskurve können dann statistische Kennwerte berechnet werden, die Informationen über die Quer- oder Längsrauheit enthalten. Die wichtigsten Kennwerte sind A_q und M , ($M = 2 \cdot \Delta$)

$$A_{q,j} = k \cdot \sum_{i=1}^{N_{\text{Dioden}}} (\varphi_{i,j} - M_j)^2 \cdot H(\varphi_{i,j})$$

$$M_j = \sum_{i=1}^{N_{\text{Dioden}}} \varphi_{i,j} \cdot H(\varphi_{i,j})$$

k : Normierungsfaktor

φ_i : Streuwinkel

$H(\varphi_i)$: Häufigkeitsverteilung

M : Mittelwert (Schwerpunkt der Verteilungskurve)

A_q ist mathematisch die Varianz (quadratisch) der Streulichtverteilung und beschreibt die Standardabweichung der auftretenden Streulichtwinkel. Dieser Wert ist eng verwandt mit dem Profilkennwert Rd_q , der ein Maß für die statistische Verteilung der Oberflächenprofilwinkel ist. A_q reagiert indirekt auch auf den arithmetischen Mittenrauwert R_a , die Rautiefe R_z wie auch auf die Profilform.

Messung von Formabweichungen

Der Mittelwert M ist sehr nützlich bei der Erfassung der Makrogeometrie und Welligkeit von Oberflächen, da mit M über eine einfache Beziehung ($M = 2 \cdot \Delta$) direkt der lokale Formwinkel des Makroprofils Δ berechnet werden kann. Setzt man nun Messfleck an Messfleck (Bild 2 rechts) mit einem Raster Δx , kann man über die Winkelfunktion und anschließende Integration das Makroprofil berechnen:

$$y(l \cdot \Delta x) = \sum_{j=1}^l \arctan(M_j / 2) \cdot \Delta x$$

Die Genauigkeit der Streulichtmesstechnik ist sehr hoch. Der A_q -Wert erfasst zum Beispiel auf polierten Flächen noch Streuwinkelunterschiede, selbst wenn der R_a nur wenige Nanometer beträgt. Auch die Makroprofilberechnung ist sehr exakt und kann direkt mit präzisen mechanischen Messmaschinen verglichen werden. Insbesondere können Rattermarken bis zu einer Amplitude von $0,01 \mu\text{m}$ noch sicher detektiert werden. Da der A_q - und M -Wert unempfindlich auf kleine Ab-

standsänderungen reagiert, ist die Rauheits- und Formmessung mit Streulicht sehr robust. Die Grenzen des Verfahrens werden bei rauen Flächen ab $R_a > 1 \mu\text{m}$ bemerkbar, wenn die Profilwinkel größer und vom Sensor nicht mehr erfasst werden.

Die in Kürze erscheinende VDA-Richtlinie [2] beschreibt die Grundlagen, diverse statistische Kenngrößen und Anwendungen der Streulichtmesstechnik und gibt Empfehlungen für den Eintrag in Konstruktionszeichnungen. Da die Streulichtmethode kein Ersatz für die Tastschnittmethode ist, können Zeichnungseintragungen zusätzlich zu den bekannten Rauheitskennwerten auch als alleinige Kenngröße eingetragen werden. Der Eintrag in der Zeichnung beschreibt neben den Grenzwerten auch die Messstrategie (Bild 3).

Bild 3 zeigt hierzu zwei Beispiele aus dem Bereich Lenksysteme. Bei den Zahnstangen wird der A_q -Wert senkrecht zu den Bearbeitungsriefen erfasst, der aus 1 000 Messungen gemittelte Grenzwert A_{qm} ist 25. In dem Zeichnungseintrag ist zusätzlich festgehalten, dass die Orientierung des Sensors (Q) quer zur Bearbeitungsrichtung steht und über eine Strecke von 230 mm mit einem 0,9-mm-Messfleck gemessen wird. Inhomogenitäten können durch die Standardabweichung (A_{qs}) und die maximale Abweichung (A_{qt}) erfasst werden. A_{qt} ist auch ein Hinweis für Defekte auf der Oberfläche. Bei den Kugelzapfen wird die rollierte oder polierte Oberfläche gemessen, und der A_q -Wert darf den Wert „n“ nicht überschreiten.

Übertragbarkeit und Rückführung von Messergebnissen

Die Übertragbarkeit von Messergebnissen mit dem Streulichtsensor ist, insbesondere für Reibflächen, sehr gut. Weil Winkel gemessen werden, ist es möglich, über zertifizierte Geometriennormale eine Rückführbarkeit zu erreichen. Ein einfaches Geometriennormal ist eine Sinusstruktur mit zum Beispiel $50 \mu\text{m}$ Wellenlänge und einer Amplitude von $1 \mu\text{m}$. Mithilfe von kalibrierten Profilometern kann die exakte Kurvenform bestimmt, daraus die Profilwinkelverteilung berechnet und mit der direkt gemessenen Winkelverteilung des Streulichtensors verglichen werden. Damit ist die Rückführbarkeit auf eine zertifizierte

Literatur

- 1 Pfeifer, T. et al.: „Optoelektronische Messverfahren zur Messung geometrischer Größen in der Fertigung“, Kontakt und Studium, Band 405, Kap. 5, Expert Verlag, Renningen 1993
- 2 VDA-Richtlinie „Streulichtmesstechnik“, erscheint Ende 2008, die Vorabversion kann beim Autor angefordert werden
- 3 Rau, N. et al.: „Optische Oberflächenaanalyse zum Bestimmen von Gestaltsabweichungen“, WB Werkstatt + Betrieb 118 (1985) 11, Carl Hanser Verlag, München, S. 725
- 4 Brodmann, B. et al.: „Function-oriented measurements of fine machined automotive parts by means of a new light scattering sensor“, XII Int. Colloquium on Surfaces, Chemnitz 2008

Autoren

Dr. Rainer Brodmann, Dipl.-Phys., geb. 1945, ist Geschäftsführer der OptoSurf GmbH, Ettlingen.

Boris Brodmann, geb. 1972, ist bei der OptoSurf GmbH, Ettlingen, verantwortlich für die Applikation und den Vertrieb.

Dr. Jürgen Gräber, Dipl.-Phys., geb. 1962, ist Teamleiter Grundlagenentwicklung bei der ZF Lemförder GmbH, Dielingen.

Tobias Hercke, geb. 1965, leitet die Gruppe Oberflächenmesstechnik bei der Daimler AG, Stuttgart.

Rolf Ofen, geb. 1951, ist Fachreferent für Fertigungsmesstechnik bei der Robert Bosch GmbH, Bamberg.

Prof. Dr.-Ing. Jörg Seewig, geb. 1962, leitet den Lehrstuhl für Messtechnik und Sensorik an der Technischen Universität Kaiserslautern.

Kontakt

Boris Brodmann
T 0 72 43 / 76 60 13
info@optosurf.de

QM-Infocenter.de ► QZ102624

zierte Längenmessung erreicht. Bild 4 zeigt die Ergebnisse von einem Sinusnormal 528X, Rubert+Co. Ltd., Chedale/England, mit $50 \mu\text{m}$ Wellenlänge und $1 \mu\text{m}$ Amplitude. Die Berechnung der entsprechenden Profilwinkelverteilung ist in den beiden Hauptmaxima mit der Streulichtmessung identisch. □