

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEUREVERBAND DER
ELEKTROTECHNIK
ELEKTRONIK
INFORMATIONSTECHNIKOptische Messtechnik an Mikrotopografien
Kalibrieren von konfokalen Mikroskopen und
Tiefeneinstellnormalen für die RauheitsmessungOptical measurement of microtopography
Calibration of confocal microscopes and depth
setting standards for roughness measurement

VDI/VDE 2655

Blatt 1.2 / Part 1.2

Ausz. deutsch/englisch
Issue German/English*Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.**The German version of this guideline shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.*

Inhalt	Seite	Contents	Page
Vorbemerkung	2	Preliminary note	2
Einleitung	2	Introduction	2
1 Anwendungsbereich	3	1 Scope	3
2 Begriffe	5	2 Terms and definitions	5
3 Formelzeichen und Indizes	6	3 Symbols and subscripts	6
4 Eigenschaften der Konfokalmikroskope	7	4 Properties of confocal microscopes	7
4.1 Bestandteile der Geräte und Funktionsprinzip	7	4.1 Instrument components and functional principle	7
4.2 Prinzipien konfokaler Strahlengänge	9	4.2 Principles of confocal beam paths	9
4.3 Z-Scansystem	12	4.3 Z-scan system	12
4.4 Methoden der Topografieberechnung	12	4.4 Methods for topography evaluation	12
5 Kalibrierung und Spezifizierung	16	5 Calibration and specification	16
5.1 Übersicht über Prüfkörper und Messverfahren	16	5.1 Overview of calibration standards and methods of measurement	16
5.2 Kalibrierung der horizontalen Achsen	18	5.2 Calibration of the horizontal axes	18
5.3 Kalibrierung der vertikalen Achse	18	5.3 Calibration of the vertical axis	18
5.4 Kalibrierung der Ebenheit durch Festlegung einer Referenzebene	20	5.4 Calibration of flatness by definition of a reference plane	20
5.5 Bestimmung des Geräteraushens	21	5.5 Determination of the instrument noise	21
5.6 Bestimmung der maximalen Winkelakzeptanz	21	5.6 Determination of the maximum angular acceptance	21
5.7 Bestimmung der kurzen Grenzwellenlänge	22	5.7 Determination of the short cut-off wavelength	22
5.8 Wiederholpräzision der vertikalen Achse	23	5.8 Repeatability of the vertical axis	23
5.9 Nicht berücksichtigte Eigenschaften	24	5.9 Properties not accounted for	24

VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA)

Fachbereich Fertigungsmesstechnik

VDI/VDE-Handbuch Fertigungsmesstechnik

VDI/VDE-Handbuch Mikro- und Feinwerktechnik

VDI/VDE-Handbuch Optische Technologien

VDI-Handbuch Produktionstechnik und Fertigungsverfahren, Band 3: Betriebsmittel

	Seite
6 Ergebnisbericht der Gerätekalibrierung	24
6.1 Allgemeine Informationen	24
6.2 Rückführung horizontaler Achsen	24
6.3 Rückführung der vertikalen Achse	25
6.4 Bestimmung von Geräteeigenschaften	25
7 Messunsicherheit	25
7.1 Struktur des Modells	26
7.2 Aufstellung des Modells	28
7.3 Unsicherheit der Berechnung der Topografiepunkte	30
7.4 Unsicherheit der Rillentiefe <i>D</i>	33
Schrifttum	36

	Page
6 Report of results of the instrument calibration	24
6.1 General information	24
6.2 Traceability of lateral axes	24
6.3 Traceability of the vertical axis	25
6.4 Determination of instrument properties	25
7 Measurement uncertainty	25
7.1 Structure of the model	26
7.2 Setting-up of the model	28
7.3 Uncertainty in the calculation of the topography points	30
7.4 Uncertainty of the groove depth <i>D</i>	33
Bibliography	36

Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere das des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser VDI-Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen (www.vdi-richtlinien.de), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser VDI-Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Einleitung

Die Richtlinienreihe VDI/VDE 2655 wird für eine systematische Behandlung anwendungsbezogen gegliedert. Die nachfolgende Auflistung gibt einen Überblick über die einzelnen Blätter der Richtlinienreihe.

- Blatt 1.1 Kalibrieren von Interferenzmikroskopen und Tiefeneinstellnormalen
- Blatt 1.2** Kalibrieren von konfokalen Mikroskopen und Tiefeneinstellnormalen
- Blatt 1.3 Kalibrieren von Interferenzmikroskopen für die Konturmessung
- Blatt 1.4 Kalibrieren von konfokalen Mikroskopen für die Konturmessung
- Blatt 2.1 Verfahren der Rauheitsmessung mit Interferenzmikroskopen

Preliminary note

The content of this guideline has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the guideline VDI 1000.

All rights are reserved, including those of reprinting, reproduction (photocopying, micro copying), storage in data processing systems and translation, either of the full text or of extracts.

The use of this guideline without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions specified in the VDI notices (www.vdi-richtlinien.de).

We wish to express our gratitude to all honorary contributors to this guideline.

Introduction

The VDI/VDE 2655 series of guidelines is structured in relation to the application to provide for systematic handling. The listing below gives an overview of its individual parts.

- Part 1.1 Calibration of interference microscopes and depth setting standards
- Part 1.2** Calibration of confocal microscopes and depth setting standards
- Part 1.3 Calibration of interference microscopes for contour measurement
- Part 1.4 Calibration of confocal microscopes for contour measurement
- Part 2.1 Methods of roughness measurement using interference microscopes

Blatt 2.2 Verfahren der Rauheitsmessung mit konfokalen Mikroskopen

Eine Liste der aktuell verfügbaren Blätter dieser Richtlinienreihe ist im Internet abrufbar unter www.vdi.de/2655.

1 Anwendungsbereich

Die vorliegende Richtlinie gilt für Konfokalmikroskope zur Messung der Topografie technischer Oberflächen. Die beschriebenen Prozeduren für die Kalibrierung sind vergleichbar zu den Methoden, die sich bereits bei den Richtlinien (DKD-R 4-2, EAL G-20) für die Rückführung von Tastschnittgeräten (siehe Bild 1) bewährt haben. Entsprechend sind, so weit es möglich ist, auch die dort erprobten Normale (Planglas, optisches Gitter, Tiefeneinstellnormal, Raunormal) übernommen.

Part 2.2 Methods of roughness measurement using confocal microscopes

A list of the parts of this series of guidelines which have already been published are available on the Internet under www.vdi.de/2655.

1 Scope

The present guideline applies to confocal microscopes for measuring the topography of technical surfaces. The procedures described for the calibration can be compared with the methods which have already proved their worth and have therefore been incorporated in the guidelines (DKD-R 4-2, EAL G-20) on the traceability of stylus instruments, see Figure 1. Accordingly, also the standards tested there (optical flats, gratings, depth setting standard, roughness standard) are adopted to the extent possible.

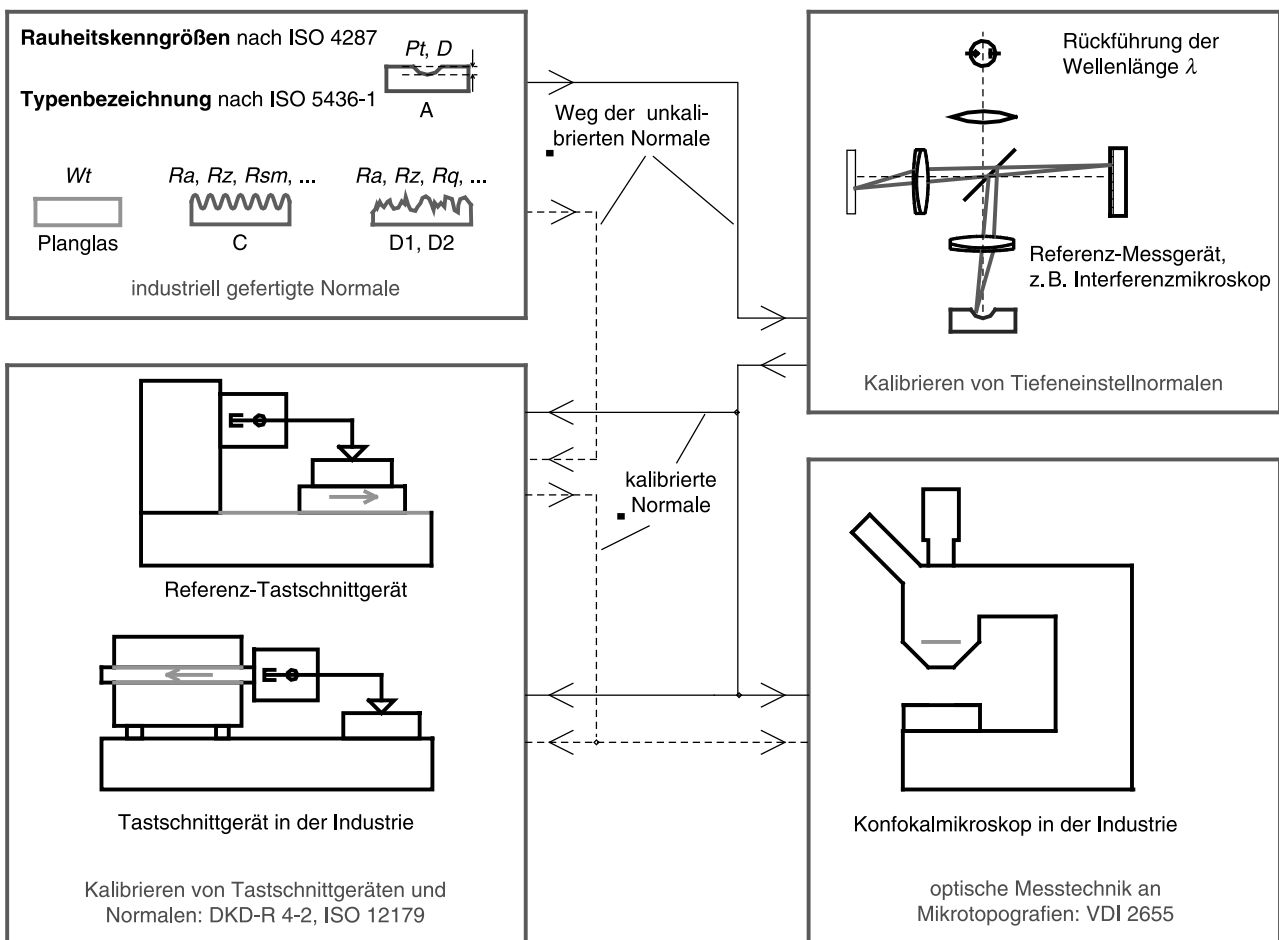


Bild 1. Rückführungskette für Tastschnittgeräte und Konfokalmikroskope

Tiefeneinstellnormale vom Typ A werden auf dem Referenzmessgerät kalibriert und geben danach die Längeneinheit an die nachgeordneten Tastschnittgeräte und Konfokalmikroskope weiter. Die Weitergabe der Längeneinheit entspricht dem Verlauf der durchgezogenen Linien.

Normale mit unregelmäßigem Profil (Typ D), Plangläser und Normale mit tastspitzenunabhängigem Profil (Typ C) werden mit dem so rückgeführten Referenz-Tastschnittgerät kalibriert und geben danach die Werte von Rauheitskenngrößen an die nachgeordneten Tastschnittgeräte und Konfokalmikroskope weiter. Die Weitergabe der Rauheitskenngrößen entspricht dem Verlauf der gestrichelten Linien.

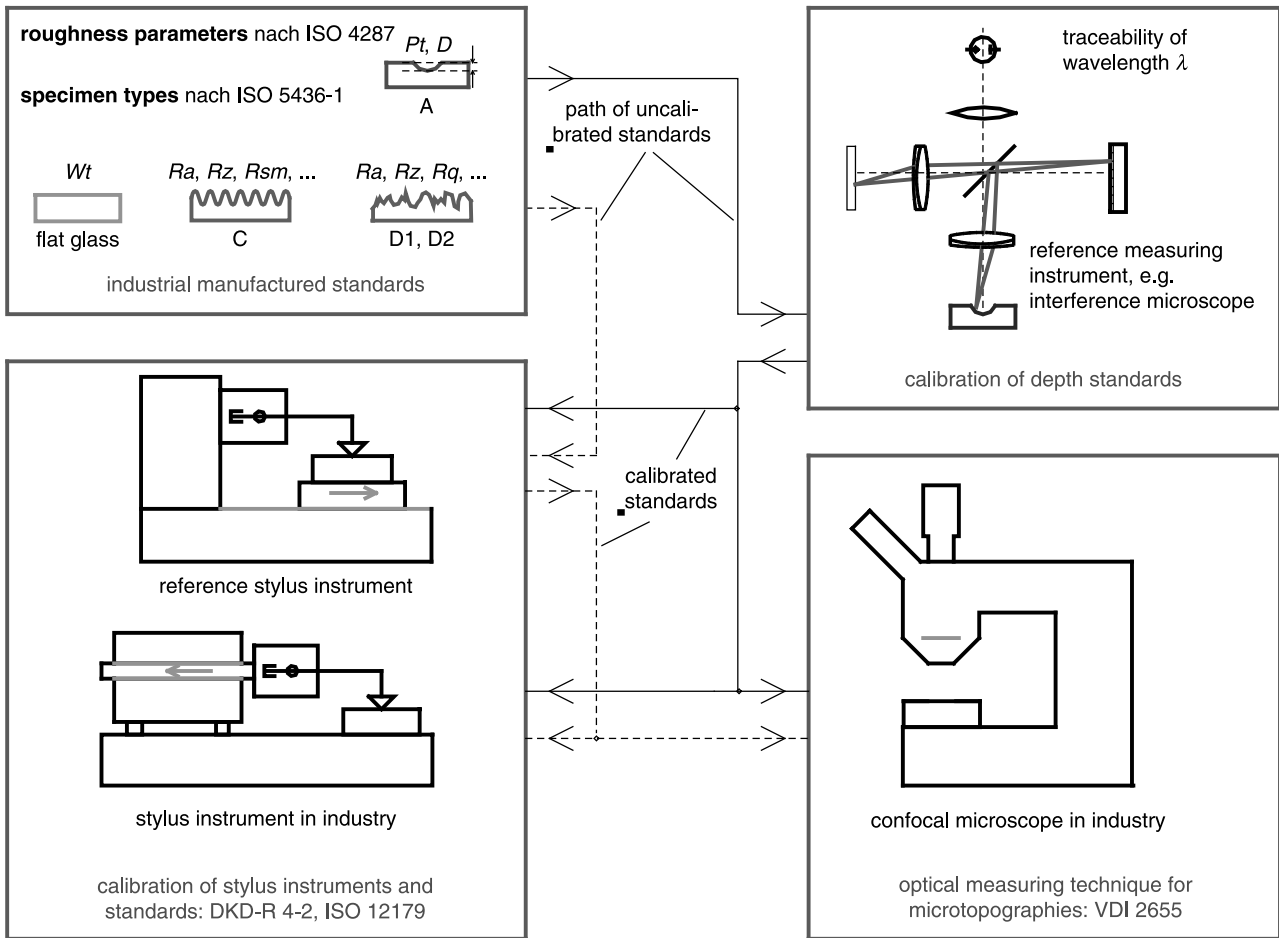


Figure 1. Traceability chain for stylus instruments and confocal microscopes

Depth setting standards of type A are calibrated against the reference instrument and then pass on the unit of length to the secondary stylus instruments and confocal microscopes. This direction of dissemination of the unit of length is shown by the solid lines.

Standards of irregular profile (type D), glass flats and standards whose profile is independent of the stylus tip (type C) are calibrated against the reference stylus instrument thus traced back and then pass on the values of the roughness parameters to the secondary stylus instruments and confocal microscopes. This dissemination of the roughness parameters is illustrated by the dashed lines.

Diese Richtlinie beschränkt sich auf die Grundkalibrierung der bildgebenden Konfokalmikroskope. Unter Konfokalmikroskopen versteht man solche Messgeräte, deren Grundprinzip auf der Abbildung einer Punktlichtquelle auf die zu vermessende Probe im Beleuchtungsweig und der Abbildung des zurückkehrenden Lichts auf einen korrespondierenden punktförmigen Intensitätssensor im Detektionsweig beruht. Hierbei liegt der Fokus auf der Messung von dreidimensionalen Oberflächentopografien. Die Richtlinie behandelt die erforderliche Rückführung auf die Längeneinheit über die Messung an rückgeführten Tiefeneinstellnormalen. Dies entspricht dem rechten vertikalen Pfad in Bild 1. Aus diesen Messprozessen ergibt sich die Herleitung für die Messunsicherheitsberechnung der Gerätekalibrierung und die der Messung an Tiefeneinstellnormalen.

Diese Richtlinie bezieht sich auf die Vermessung von unbeschichteten Proben. Der Einfluss von Probenbeschichtungen sowie die Messung von Schichtdicken

This guideline is limited to the basic calibration of imaging confocal microscopes. By confocal microscopes measuring instruments are understood whose underlying principle relies on the imaging of a point source onto the sample to be calibrated in the illumination branch and the imaging of the light, returning onto a corresponding point-type intensity sensor in the detection branch. The focus here lies on the measurement of three-dimensional surface topographies. The guideline deals with the required traceability to the unit of length via the measurement on depth setting standards that have been traced back. This is illustrated by the right-hand vertical path in Figure 1. These measurement processes furnish the derivation for the evaluation of the measurement uncertainty in instrument calibration and that of the measurement on depth setting standards.

This guideline relates to the measurement of uncoated samples. The influence of sample coatings as well as the measurement of layer thicknesses of trans-

transparenter Materialien werden in dieser Richtlinie nicht behandelt. Ebenso wird vorausgesetzt, dass die zur Kalibrierung verwendeten Proben keinen Materialkontrast aufweisen.

Dabei ist zu beachten, dass das verwendete Objektiv innerhalb seiner Spezifikation betrieben wird. Verfahren zur Messung mit Fluoreszenz und Stützingverfahren zur Vergrößerung des Messfelds sind aufgrund der komplexen Fehlereinflussmöglichkeiten hierbei nicht berücksichtigt.

Die entsprechenden Prozeduren für Rauheitskenngrößen (linker Pfad in Bild 1) werden in einem anderen Blatt dieser Richtlinienreihe beschrieben.

Mit der Anwendung dieser Richtlinie werden folgende Ziele verfolgt:

- bessere Vergleichbarkeit von Oberflächenmessungen mit verschiedenen Mikroskopen sowie zwischen Mikroskopen und Tastschnittgeräten mit den Normen und Normalen für Tastschnittgeräte
- Festlegung von Bedingungen für die Rückführung auf die Längeneinheit entsprechend Bild 1
- Feststellung der Kalibrierfähigkeit und Festlegung des Gültigkeitsbereichs einer Kalibrierung
- Festlegung von Mindestanforderungen an den Kalibriervorgang und an Abnahmebedingungen
- Bereitstellung eines GUM-konformen Modells zur Messunsicherheitsberechnung des Messvorgangs mit einem Konfokalmikroskop
- Festlegung der Anforderungen an einen Ergebnisbericht

2 Begriffe

Da es im Bereich der Konfokalmikroskopie noch kein so fest gefügtes Normenwerk wie im Bereich der Tastschnittgeräte gibt, werden hier Definitionen und Begriffe im Sinn der Normen aus diesem Bereich benutzt, insbesondere sind dies:

- DIN EN ISO 3274 hinsichtlich Definitionen für Gerätebestandteile
- DIN EN ISO 5436-1 hinsichtlich Kalibriernormalen
- DIN EN ISO 4287 hinsichtlich der Definition der Oberflächen(profil)kenngrößen
- DIN EN ISO 4288 hinsichtlich der Mess- und Auswertbedingungen
- DIN EN ISO 11562 hinsichtlich des Filterverhaltens
- DKD-R 4-2 und EAL G-20 sind Richtlinien für die Kalibrierung von Tastschnittgeräten.

parent materials are not dealt with in this guideline. Similarly, it is assumed that the samples used for calibration do not show material contrasts.

It is to be ensured that the objective used is operated in conformity with its specifications. Measurement methods using fluorescence and stitching methods to enlarge the measuring field have not been taken into account due to the complexity of potential error influences.

The appropriate procedures for roughness parameters (left-hand path in Figure 1) are described in a separate part of this series of guidelines.

The application of this guideline aims to achieve the following:

- improvement of the comparability of surface measurements using different microscopes as well as between microscopes and stylus instruments and the written and measurement standards for stylus instruments
- definition of conditions for the traceability to the unit of length according to Figure 1
- verification of the calibratability and definition of the scope of a calibration
- definition of minimum requirements for the calibration process and for conditions of acceptance
- provision of a model in conformity with GUM for the evaluation of the uncertainty of the measurement process when a confocal microscope is used
- definition of the requirements for a report of results

2 Terms and definitions

As for confocal microscopy a framework of standards comparable with that for stylus instruments does not yet exist, the definitions and terms used for stylus instruments will be used here. These are in particular:

- DIN EN ISO 3274 as regards definitions for instrument components
- DIN EN ISO 5436-1 for calibration standards
- DIN EN ISO 4287 for the definition of the surface (profile) parameters
- DIN EN ISO 4288 for the conditions of measurement and evaluation
- DIN EN ISO 11562 for the filter response
- DKD-R 4-2 and EAL G-20 are guidelines for the calibration of stylus instruments.