

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEURE  
  
VERBAND DER  
ELEKTROTECHNIK  
ELEKTRONIK  
INFORMATIONSTECHNIK

**Optische 3-D-Messsysteme**  
Bildgebende Systeme mit flächenhafter Antastung in  
mehreren Einzelansichten

**Optical 3D-measuring systems**  
Multiple view systems based on area scanning

**VDI/VDE 2634**  
Blatt 3 / Part 3

Ausg. 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**

|  |           |
|--|-----------|
| Vorbemerkung .....                                   | 2         |
| Einleitung .....                                     | 2         |
| <b>1 Anwendungsbereich .....</b>                     | <b>3</b>  |
| <b>2 Formelzeichen .....</b>                         | <b>5</b>  |
| <b>3 Prinzip der Annahme und Überwachung.....</b>    | <b>5</b>  |
| <b>4 Annahmeprüfung.....</b>                         | <b>6</b>  |
| 4.1 Kenngröße Antastabweichung .....                 | 7         |
| 4.2 Kenngröße Kugelabstandsabweichung .....          | 10        |
| 4.3 Kenngröße Längenmessabweichung.....              | 13        |
| <b>5 Überwachung .....</b>                           | <b>19</b> |
| 5.1 Prüfkörper .....                                 | 19        |
| 5.2 Durchführung.....                                | 19        |
| 5.3 Auswertung .....                                 | 19        |
| 5.4 Überwachungsintervall und<br>Dokumentation ..... | 20        |
| Schrifttum .....                                     | 20        |

**Contents****Page**

|   |           |
|---|-----------|
| Preliminary note .....  | 2         |
| Introduction .....  | 2         |
| <b>1 Scope .....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>2 Symbols.....</b>   | <b>5</b>  |
| <b>3 Principle of acceptance testing and<br/>re-verification.....</b> | <b>5</b>  |
| <b>4 Acceptance test .....</b>  | <b>6</b>  |
| 4.1 Quality parameter: probing error.....                             | 7         |
| 4.2 Quality parameter: sphere spacing error .....                     | 10        |
| 4.3 Quality parameter: length measurement<br>error.....               | 13        |
| <b>5 Re-verification .....</b>  | <b>19</b> |
| 5.1 Artefacts.....  | 19        |
| 5.2 Procedure .....   | 19        |
| 5.3 Evaluation .....  | 19        |
| 5.4 Re-verification interval and<br>documentation.....                | 20        |
| Bibliography .....  | 20        |

## Vorbemerkung

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

Alle Rechte, insbesondere die 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](http://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

Optische 3-D-Messsysteme werden als universelle Mess- und Prüfgeräte eingesetzt. Jeder Betreiber muss sicher sein, dass das eingesetzte optische 3-D-Messsystem die geforderte Leistung erbringt. Insbesondere darf die maximal zulässige Messabweichung nicht überschritten werden. Dies kann auf Dauer nur durch vergleichbare Annahmekriterien und eine regelmäßige Überwachung der Geräte gewährleistet werden. Die Verantwortung dafür liegt zum einen beim Gerätetursteller und zum anderen beim Betreiber des optischen 3-D-Messsystems.

Die Annahme und Überwachung von optischen 3-D-Messsystemen unterschiedlicher Bauweise, Automatisierungsstufe und Größe muss schnell und einfach mit kostengünstigen Prüfkörpern durchgeführt werden können. Dazu eignen sich Längennormale und Prüfkörper, die wie übliche Messobjekte mit dem Messsystem gemessen werden.

Die vorliegende Richtlinie enthält praxisnahe Annahme- und Überwachungsverfahren zur Beurteilung von bildgebenden optischen 3-D-Messsystemen mit flächenhafter Antastung hinsichtlich ihrer Genauigkeit. In Ergänzung zur Richtlinie VDI/VDE 2634 Blatt 2 werden notwendige Ergänzungen für die Messung von Objekten in mehreren Einzelansichten festgelegt.

Die Richtlinienreihe VDI/VDE 2634 besteht aus folgenden Blättern:

Blatt 1 Systeme mit punktförmiger Antastung

Blatt 2 Bildgebende Systeme mit flächenhafter Antastung

**Blatt 3** Bildgebende Systeme mit flächenhafter Antastung in mehreren Einzelansichten

## 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](http://www.vdi-richtlinien.de)).

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

## Introduction

Optical 3D measuring systems are used as universal measuring and test equipment. Every user must be sure that the optical 3D measuring system used comes up to the performance required. In particular, the maximum permissible error must not be exceeded. In the long run, this can be ensured only through comparable acceptance criteria and re-verification of the equipment at regular intervals. The responsibility for this lies on the one hand with the manufacturer of the equipment and on the other hand, with the user of the optical 3D measuring system.

Acceptance testing and re-verification of optical 3D measuring systems of different design, level of automation and size must be rapid and easy to carry out using low-cost artefacts. For this purpose, length standards and artefacts are suitable which are measured with the measuring system just as usual objects to be measured.

The present guideline gives practical acceptance test and re-verification procedures to assess the precision of imaging optical 3D measuring systems providing area-based sampling. In addition to guideline VDI/VDE 2634 Part 2, it defines necessary supplements for the measurement of objects using multiple images.

The series of guidelines VDI/VDE 2634 consists of the following parts:

Part 1 Imaging systems with point-by-point probing

Part 2 Optical systems based on area scanning

**Part 3** Multiple view systems based on area scanning

## 1 Anwendungsbereich

Die vorliegende Richtlinie gilt für optische 3-D-Messsysteme mit flächenhafter Antastung, die nach dem Triangulationsprinzip arbeiten und das Messobjekt in mehreren, unterschiedlichen Einzelansichten erfassen. Die Messsysteme können anwendungsspezifisch konfiguriert werden. Die Sensoren bestehen aus mehreren Komponenten, z. B. einem oder mehreren bildgebenden Messköpfen (Kameras) und einem oder mehreren Projektionssystemen, die Strukturen auf die zu messende Objektoberfläche abbilden, oder einem System zur Beleuchtung einer vorhandenen Oberflächentextur. Beispiele für derartige Sensoren sind Messsysteme auf der Basis von Streifenprojektions- oder Moirétechniken sowie flächenhaft messende Fotogrammetrie- oder Scannermesssysteme.

Diese Richtlinie gilt für die Messung von 3-D-Objekten in mehreren Einzelansichten. Anders als bei der Prüfung nach VDI/VDE 2634 Blatt 2 dürfen während der Messung die Komponenten des Messsystems relativ zueinander bewegt werden. Dies kann durch Repositionieren des Sensors und/oder des Messobjekts geschehen. Die verschiedenen Einzelansichten des Messobjekts werden in ein einheitliches Objektkoordinatensystem transformiert, z. B. durch:

- Transformation der Einzelansichten über angemessene Referenzmarken
- Einpassen aller Einzelansichten in die Gesamtpunktwolke über die Geometrie des Objekts („Matching“ ohne Referenzmarken)

Nicht abgedeckt sind Systeme, bei denen der Sensor oder das Messobjekt durch messende translatorische und/oder rotatorische Achsen positioniert wird, z. B. Sensoren auf Koordinatenmessgeräten gemäß Richtlinie VDI/VDE 2617 Blatt 6.2.

In der vorliegenden Richtlinie werden Verfahren und Prüfkörper zur Annahme und zur regelmäßigen Überwachung von optischen 3-D-Messsystemen angegeben. Die Verfahren eignen sich gleichermaßen für

- die Annahme von optischen 3-D-Messsystemen
- die Überwachung von optischen 3-D-Messsystemen (im Sinne der Prüfmittelüberwachung gemäß der Normen DIN EN ISO 9000 bis DIN EN ISO 9004)

Die Anforderungen an die zur Annahme und Überwachung eingesetzten Prüfkörper werden festgelegt und einzelne beispielhaft beschrieben. Prüfkörper im Sinne dieser Richtlinie sind lineare,

## 1 Scope

The present guideline is applicable to optical 3D measuring systems based on area scanning which operate on the triangulation principle and determine the object to be measured from several different images. The measuring systems can be configured so that the application-specific requirements are met. The sensors consist of several components, e. g. one or several imaging probes (cameras) and one or several projection systems imaging structures onto the object surface to be measured, or a system for illuminating existing surface textures. Examples of such sensors are measuring systems on the basis of fringe projection or moiré techniques as well as area-based photogrammetry or scanning systems.

This guideline applies to the measurement of 3D objects using multiple images. Unlike in testing in accordance with VDI/VDE 2634 Part 2, components of the measuring system may be moved relative to each other during the measurement. This can be achieved by re-positioning of the sensor and/or of the object to be measured. The different single images of the measured object are transformed into a uniform object coordinate system, e. g. by

- transformation of the single images through suitable reference markers
- matching of all single images into the total point cloud via the geometry of the object (matching without reference markers)

Systems in which the sensor or the measured object is positioned by measuring translational and/or rotational axes such as sensors on coordinate measuring machines according to guideline VDI/VDE 2617 Part 6.2 are not covered by this guideline.

In the present guideline, methods and artefacts for acceptance testing and regular re-verification of optical 3D measuring systems are specified. The methods are similarly suitable for

- acceptance testing of optical 3D measuring systems
- re-verification of optical 3D measuring systems (within the meaning of “control of measuring and test equipment” according to standards DIN EN ISO 9000 to DIN EN ISO 9004)

The requirements to be met by the artefacts used for acceptance testing and re-verification are specified and some of them are described as examples. Artefacts within the scope of this guideline are

ebene und räumliche Anordnungen von Antast-Formelementen, beispielsweise optisch antastbare Ebenen oder Kugeln. Prüfkörper müssen bezüglich ihrer Maße und Form kalibriert sein.

Zur Beurteilung der Genauigkeit der Messsysteme werden Kenngrößen festgelegt. Die Grenzwerte dieser Kenngrößen werden für die Annahme der optischen 3-D-Messsysteme vom Hersteller und für die Überwachung vom Betreiber festgelegt.

Die Kenngrößen dienen der Spezifikation der optischen 3-D-Messsysteme sowie dem Vergleich unterschiedlicher Messsysteme.

Da diese Werte von der Betriebsart und den Betriebsbedingungen abhängig sind, wird empfohlen, für die Annahme und Überwachung besondere Betriebsarten und -bedingungen anzugeben und festzulegen, um die Vergleichbarkeit der Prüfergebnisse sicher zu stellen. Die Kenngrößen sind nicht ohne Weiteres auf jede beliebige Messaufgabe übertragbar.

Werden keine Einschränkungen der Betriebsarten und -bedingungen vereinbart, so müssen die spezifizierten Grenzwerte der Kenngrößen unter allen möglichen Betriebsarten und -bedingungen eingehalten werden. Bei Nichteinhaltung von gegebenen Einschränkungen ist eine Überschreitung des jeweiligen Grenzwerts der Kenngrößen möglich und zulässig.

Unter Betriebsarten sollen Einstell- und Konfigurationsmöglichkeiten des optischen 3-D-Messsystems verstanden werden, z. B.:

- Beleuchtungsart und -intensität
- Messvolumen und Sensormessvolumen
- Art, Anzahl und Anordnung der verwendeten optischen Messköpfe
- Art und Dauer der Bildaufnahme und Bildauswertung
- Datenvorverarbeitung (Filterparameter, Ausreißereliminierung, Ausdünnung der Punktwolke in Überlappungsbereichen, krümmungsabhängige Ausdünnung usw.)

Unter Betriebsbedingungen werden die äußeren Einflussfaktoren auf das optische 3-D-Messsystem verstanden. Dies sind z. B.:

- Vorbehandlung des Messobjekts (z. B. Einsprühen)
- Temperatur und Temperaturgradient
- Feuchte
- Schwingungen (mechanisch)
- elektromagnetische Störeffekte
- Umgebungsbeleuchtung
- Staub

linear, planar and spatial arrangements of probing elements, for example optically probable planes or spheres. Artefacts must have been calibrated with regard to their dimensions and form.

To assess the accuracy of the measuring systems quality parameters are specified. The limits for these parameters are specified by the manufacturer for acceptance testing of the optical 3D measuring systems, and by the user as far as re-verification is concerned.

The quality parameters serve to specify the optical 3D measuring systems as well as to compare different measuring systems.

As these values are dependent on the mode of operation and on the operating conditions, it is advisable to state and specify particular modes and conditions of operation for acceptance testing and re-verification so that comparability of the test results is ensured. The quality parameters cannot easily be used for any measurement task whatever.

If no restrictions as to the modes and conditions of operation are made, the specified limits of the quality parameters must be complied with for all potential modes and conditions of operation. If specified restrictions are not complied with, exceeding of the pertinent limit of the quality parameters is possible and admissible.

By modes of operation possibilities of adjusting and configuring the optical 3D measuring system are to be understood such as, for example:

- type of illumination and intensity
- measuring volume and sensor measuring volume
- type, number and arrangement of optical probes used
- type and duration of image acquisition and image evaluation
- data pre-processing (filter parameters, elimination of outliers, thinning of point cloud in overlapping regions, curvature-dependent thinning, etc.)

By operating conditions the external factors influencing the optical 3D measuring system are understood. These are, for example:

- preparation of object to be measured (e. g. spraying)
- temperature and temperature gradient
- humidity
- vibration (mechanical)
- electromagnetic interferences
- illumination of environment
- dust