

<b>VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE</b>  <b>VERBAND DER ELEKTROTECHNIK ELEKTRONIK INFORMATIONSTECHNIK</b>	<b>Optische Messverfahren Digitale Bildkorrelation</b> <b>Grundlagen, Annahme- und Überwachungsprüfung</b>  <b>Optical measuring procedures Digital image correlation</b> <b>Basics, acceptance test, and interim check</b>	<b>VDI/VDE 2626</b>  <b>Blatt 1 / Part 1</b>  <b>Ausg. deutsch/englisch Issue German/English</b>
--	---	--

*Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.*

*The German version of this standard shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.*

<b>Inhalt</b>	Seite	<b>Contents</b>	Page
Vorbemerkung.....	2	Preliminary note .....	2
Einleitung .....	2	Introduction .....	2
<b>1 Anwendungsbereich</b> .....	<b>3</b>	<b>1 Scope</b> .....	<b>3</b>
<b>2 Normative Verweise</b> .....	<b>4</b>	<b>2 Normative references</b> .....	<b>4</b>
<b>3 Begriffe</b> .....	<b>4</b>	<b>3 Terms and definitions</b> .....	<b>4</b>
<b>4 Formelzeichen</b> .....	<b>6</b>	<b>4 Symbols</b> .....	<b>6</b>
<b>5 Grundlagen der Bildkorrelation</b> .....	<b>7</b>	<b>5 Fundamentals of digital image correlation</b> .....	<b>7</b>
5.1 Allgemeines .....	7	5.1 General.....	7
5.2 Messtechnischer Aufbau .....	7	5.2 Measurement setup .....	7
5.3 Bestimmung von Oberflächenform, Verschiebung und Dehnung .....	8	5.3 Determination of surface shape, displacement and strain.....	8
<b>6 Prinzip der Annahme und Überwachung</b> .....	<b>10</b>	<b>6 Principle of acceptance and monitoring</b> .....	<b>10</b>
<b>7 Annahmeprüfung</b> .....	<b>11</b>	<b>7 Acceptance test</b> .....	<b>11</b>
7.1 Nullverformungsabweichung .....	12	7.1 Zero deformation deviation.....	12
7.2 Verschiebungsabweichung .....	18	7.2 Displacement deviation .....	18
<b>8 Überwachung</b> .....	<b>21</b>	<b>8 Monitoring</b> .....	<b>21</b>
8.1 Allgemeines .....	21	8.1 General.....	21
8.2 Prüfkörper .....	21	8.2 Test piece .....	21
8.3 Durchführung .....	21	8.3 Execution .....	21
8.4 Auswertung .....	22	8.4 Evaluation .....	22
8.5 Überwachungsintervall und Dokumentation .....	22	8.5 Monitoring interval and documentation .....	22
<b>Anhang A Besonderheiten der 2-D-Bildkorrelation</b> .....	<b>23</b>	<b>Annex A Special considerations for 2D digital image correlation</b> .....	<b>23</b>
A1 Einleitung .....	23	A1 Introduction.....	23
A2 Hinweise zur Bestimmung der Nullver- formungs- und der Verschiebungsabweichung.....	23	A2 Tips on determining the zero deformation deviation and the displacement deviation.....	23
<b>Anhang B Erläuterungen zur Bestimmung der Kenngrößen <math>NV</math> und <math>ND</math></b> .....	<b>25</b>	<b>Annex B Tips for determining the parameters <math>ZD</math> and <math>ZS</math></b> .....	<b>25</b>
<b>Anhang C Hauptdehnungen und mohrscher Dehnungskreis</b> .....	<b>27</b>	<b>Annex C Principal strains and Mohr's strain circle</b> .....	<b>27</b>
<b>Anhang D Beispiele für die Berechnung der Kenngrößen <math>NV</math> und <math>ND</math></b> .....	<b>28</b>	<b>Annex D Examples for the calculation of the parameters <math>ZD</math> and <math>ZS</math></b> .....	<b>28</b>
<b>Anhang E Beispiele für Prüfmittel und Methoden zur Bestimmung der Verschiebungsabweichung</b> .....	<b>29</b>	<b>Annex E Examples of test equipment and methods for determining the displacement deviation</b> .....	<b>29</b>
E1 Einleitung .....	29	E1 Introduction.....	29
E2 Allgemeine Anforderungen.....	29	E2 General requirements .....	29
E3 Messmethoden zur Bestimmung der Verschiebungsabweichung.....	31	E3 Measuring methods for determining the displacement deviation.....	31
<b>Anhang F Anwendung von verkörperten Verschiebungen und Dehnungen auf Mustervorlagen</b> .....	<b>43</b>	<b>Annex F Application of length standards for displacements and strains to pattern templates</b> .....	<b>43</b>
F1 Dehnungsabweichungen.....	43	F1 Strain deviations.....	43
F2 Kombinierte Prüfung von Verschiebungen und Verformungen mittels Verkörperungen.....	49	F2 Combined testing of displacements and deformations using length standards .....	49
Schrifttum.....	51	Bibliography .....	51

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

Fachbereich Prozessmesstechnik und Strukturanalyse

**VDI/VDE-Handbuch Prozessmesstechnik und Strukturanalyse**  
**VDI/VDE-Handbuch Optische Technologien**

## 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 Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen ([www.vdi.de/richtlinien](http://www.vdi.de/richtlinien)), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

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

Eine Liste der aktuell verfügbaren Blätter dieser Richtlinienreihe ist im Internet abrufbar unter [www.vdi.de/2626](http://www.vdi.de/2626).

## Einleitung

Bildkorrelationsverfahren (auch als digitale Bildkorrelation bezeichnet; englisch: digital image correlation, DIC) sind seit den 1980er-Jahren Gegenstand weltweiter wissenschaftlicher Untersuchungen und industrieller Geräteentwicklungen. Sie basieren auf stochastischen oder deterministischen Mustern in einem Bildpaar, deren Korrespondenz über eine lokale Korrelation ermittelt wird und damit präzise 2-D- und 3-D-Messungen von Veränderungen in dem Bildpaar oder auch in einer Bildfolge ermöglicht. Bildkorrelationsverfahren sind weit verbreitet in vielen Bereichen der Wissenschaft und Technik und können für ein breites Spektrum an Messaufgaben eingesetzt werden. Einsatzbereiche sind z.B.:

- Bestimmung der flächenhaften Form sowie der dreidimensionalen Verschiebung von Oberflächen
- Erfassung momentaner Geschwindigkeitsvektorfelder in einer Strömung
- Sichtbarmachung von Dichte- oder Brechungsindexgradienten in Gasen oder Flüssigkeiten
- Bestimmung von Deformationen auf diffus reflektierenden Oberflächen
- Bestimmung von Höhe und Neigung auf spiegelnden Oberflächen

Am Markt sind inzwischen zahlreiche Messsysteme und Auswertesoftware von Herstellern aus aller Welt verfügbar, die in zunehmendem Maß Einzug in industrielle Entwicklungs- und Prüflaboratorien sowie in Einrichtungen von Wissenschaft und Forschung halten. Jeder Anwender eines solchen Messsystems oder einer Auswertesoftware

## Preliminary note

The content of this standard has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the standard 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 standard without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions ([www.vdi.de/richtlinien](http://www.vdi.de/richtlinien)) specified in the VDI Notices.

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

A catalogue of all available parts of this series of standards can be accessed on the Internet at [www.vdi.de/2626](http://www.vdi.de/2626).

## Introduction

Digital image correlation (DIC) techniques have been the focus of worldwide scientific analyses and developments in industrial equipment since the 1980s. They are based on random or deterministic patterns in an image pair whose degree of correspondence is determined via a local correlation, allowing precise 2D and 3D measurements of changes in the image pair or in an image sequence to be performed. DIC techniques are widespread in many fields of science and technology and can be used for a wide range of measuring tasks. Fields of applications are for example:

- determination of the planar form and the three-dimensional displacement of surfaces
- capture of instantaneous speed vector fields in a flow
- visualisation of density gradients or refraction index gradients in gases or liquids
- determination of deformations on diffusely reflecting surfaces
- determination of height and gradient on reflective surfaces

Numerous measuring systems and evaluation software packages from manufacturers worldwide are now on the market and are increasingly finding their way into industrial development and testing laboratories as well as scientific and research facilities. All users of a measuring system of this kind or of an evaluation software package have to

muss durch geeignete Verfahren sicherstellen, dass das System bzw. die Software für die vorgesehene Aufgabe geeignet ist. Zu diesen Verfahren gehören insbesondere die Annahmeprüfung bei Lieferung und die regelmäßige Überwachung während des Betriebs auf Einhaltung vorgegebener Spezifikationen. Beides muss schnell und einfach nach harmonisierten und anerkannten Prozeduren erfolgen.

Mangels der Verfügbarkeit entsprechender Regelwerke für Bildkorrelationsverfahren hat sich der VDI/VDE-GMA-Fachausschuss „Optische Messverfahren zur Strukturanalyse und -überwachung“ zum Ziel gesetzt, für die Verständigung zwischen Hersteller und Anwender sowie zwischen Anwender und externem Auditor (z.B. im Rahmen der Akkreditierung nach DIN EN ISO/IEC 17025) und zum Nutzen für den Anwender eine gemeinsame Regelwerksbasis zu schaffen.

Diese Richtlinie enthält praxisnahe Annahme- und Überwachungsverfahren zur Beurteilung von Messsystemen basierend auf Bildkorrelationsverfahren hinsichtlich ihrer Genauigkeit.

## 1 Anwendungsbereich

Diese Richtlinie gilt für Messsysteme auf der Basis von Bildkorrelationsverfahren, die in folgenden Bereichen eingesetzt werden:

- flächenhafte Bestimmung der zwei- bzw. dreidimensionalen Verschiebung von Oberflächen
- flächenhafte Bestimmung der Dehnung von Oberflächen

Es werden technische Kenngrößen für die Bildkorrelations-Messsysteme definiert sowie Verfahren und Prüfkörper zu deren Ermittlung beschrieben. Sie eignen sich gleichermaßen

- für die Annahme sowie
- für die Prüfmittelüberwachung im Rahmen eines Qualitätsmanagementsystems.

Die Anforderungen an die zur Annahme und Überwachung eingesetzten Prüfkörper werden festgelegt und einzelne Prüfkörper beispielhaft beschrieben.

Zur Beurteilung von Bildkorrelations-Messsystemen werden Kenngrößen festgelegt. Die Grenzwerte dieser Kenngrößen werden für die Annahme der Bildkorrelations-Messsysteme vom Hersteller und für die Überwachung vom Anwender festgelegt. Die Kenngrößen dienen der Spezifikation der Bildkorrelations-Messsysteme sowie dem Vergleich unterschiedlicher Bildkorrelations-Messsysteme.

use adequate procedures to ensure that the system or software concerned is suitable for the task at hand. These procedures in particular include the acceptance test carried out on delivery and the regular monitoring of compliance with prescribed specifications carried out during operation. Both have to be performed quickly and easily according to harmonised and generally recognised procedures.

As a relevant set of rules for DIC techniques is not available, the VDI/VDE-GMA Technical Committee “Optical Measuring Procedures for Structural Analysis and Monitoring” aims at creating a common set of basic rules to benefit the user and ensure communication between manufacturer and user and between user and external auditors (for example as part of accreditation according to DIN EN ISO/IEC 17025).

This standard contains practical acceptance and monitoring procedures for assessing the precision of measuring systems based on DIC techniques.

## 1 Scope

This standard applies to measuring systems based on DIC techniques and intended for use in the following areas:

- determination of the two- or three-dimensional displacement fields of surfaces
- determination of the strain field on surfaces

The standard defines technical parameters for DIC measuring systems and describes procedures and test pieces for determining these parameters. They are equally suitable

- for the acceptance process and
- for monitoring test equipment as part of a quality management system.

The standard defines the demands made on the test pieces used for acceptance and monitoring and describes examples of individual test pieces.

It also defines parameters for the assessment of DIC measuring systems. The manufacturer defines the limiting values of these parameters for acceptance testing of DIC measuring systems and the user defines them for monitoring purposes. The parameters are used to specify the DIC measuring systems and compare different systems of this kind.

## 2 Normative Verweise

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieser Richtlinie erforderlich:

DIN 1319-1:1995-01 Grundlagen der Messtechnik;  
Teil 1: Grundbegriffe

DIN 1319-2:2005-10 Grundlagen der Messtechnik;  
Teil 2: Begriffe für Messmittel

DIN EN ISO 9513:2013-05 Metallische Werkstoffe; Kalibrierung von Längenänderungs-Mess-  
einrichtungen für die Prüfung mit einachsiger  
Beanspruchung (ISO 9513:2012 + Cor. 1:2013);  
Deutsche Fassung EN ISO 9513:2012

DIN EN ISO 14253-1:2018-07 Geometrische Pro-  
duktspezifikationen (GPS); Prüfung von Werk-  
stücken und Messgeräten durch Messen; Teil 1:  
Entscheidungsregeln für den Nachweis von  
Konformität oder Nichtkonformität mit Spezifi-  
kationen (ISO 14253-1:2017); Deutsche Fas-  
sung EN ISO 14253-1:2017

VDI/VDE 2632 Blatt 1:2010-04 Industrielle Bild-  
verarbeitung; Grundlagen und Begriffe

## 2 Normative references

The following referenced documents are indispen-  
sable for the application of this standard:

DIN 1319-1:1995-01 Fundamentals of metrology;  
Part 1: Basic terminology

DIN 1319-2:2005-10 Fundamentals of metrology;  
Part 2: Terminology related to measuring equip-  
ment

DIN EN ISO 9513:2013-05 Metallic materials;  
Calibration of extensometer systems used in  
uniaxial testing (ISO 9513:2012 + Cor. 1:2013);  
German version EN ISO 9513:2012

DIN EN ISO 14253-1:2018-07 (Geometrical prod-  
uct specifications (GPS); Inspection by meas-  
urement of workpieces and measuring equip-  
ment; Part 1: Decision rules for verifying con-  
formity or nonconformity with specifications  
(ISO 14253-1:2017); German version EN  
ISO 14253-1:2017

VDI/VDE 2632 Part 1:2010-04 Machine vision;  
Basics, terms, and definitions