

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEURE

Bewertung der Verschmutzungseigenschaften  
von Oberflächen  
Prüfverfahren für das staubbedingte  
Verschmutzungsverhalten solarer Energiesysteme  
Evaluation of the soiling properties of surfaces  
Test method for the dust soiling behaviour of  
solar energy systems

VDI 3956  
Blatt 1 / Part 1

Ausg. deutsch/englisch  
Issue German/English

*Der Entwurf dieser Richtlinie wurde mit Ankündigung im Bundesanzeiger einem öffentlichen Einspruchsverfahren unterworfen.*

*The draft of this standard has been subject to public scrutiny after announcement in the Bundesanzeiger (Federal Gazette).*

*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.*

Inhalt	Seite	Contents	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>3</b>	<b>2 Normative references</b> .....	<b>3</b>
<b>3 Begriffe</b> .....	<b>3</b>	<b>3 Terms and definitions</b> .....	<b>3</b>
<b>4 Formelzeichen und Abkürzungen</b> .....	<b>5</b>	<b>4 Symbols and abbreviations</b> .....	<b>5</b>
<b>5 Grundlage des Prüfverfahrens</b> (Kurzbeschreibung).....	<b>5</b>	<b>5 Principle of the test procedure</b> (brief description).....	<b>5</b>
<b>6 Beschreibung der Prüfvorrichtung</b> .....	<b>7</b>	<b>6 Description of the test device</b> .....	<b>7</b>
<b>7 Prüfverfahren</b> .....	<b>9</b>	<b>7 Test procedure</b> .....	<b>9</b>
7.1 Allgemeine Prüfbedingungen .....	9	7.1 General test conditions .....	9
7.2 Allgemeiner Prüfablauf.....	14	7.2 General test procedure .....	14
7.3 Parametersätze für einzelne Verfahrensschritte .....	17	7.3 Parameter sets for individual procedural steps .....	17
<b>8 Quantifizierung der Staubbelegung</b> .....	<b>22</b>	<b>8 Quantification of dust coverage/ soiling quantification</b> .....	<b>22</b>
8.1 Oberflächenbelegung mittels Lichtmikroskopie .....	22	8.1 Surface coverage using light microscopy .....	22
8.2 Transmissionsverlust (PV-Anwendung)....	24	8.2 Transmittance loss (PV applications) .....	24
8.3 Reflexionsverlust (CSP-Anwendung).....	25	8.3 Reflectance loss (CSP applications) .....	25
<b>9 Prüfbericht und Dokumentation</b> .....	<b>25</b>	<b>9 Test report and documentation</b> .....	<b>25</b>
<b>Anhang A</b> Auslegungsbeispiel für eine Prüfkammer .....	<b>27</b>	<b>Annex A</b> Design example for a test chamber .....	<b>27</b>
<b>Anhang B</b> Charakterisierung eines Prüfstaubs für die Region „Naher Osten“ .....	<b>27</b>	<b>Annex B</b> Characterisation of a test dust for the “Middle East” region.....	<b>27</b>
<b>Anhang C</b> Ausführungsbeispiele für die Abreinigung durch ein Windfeld – Abblasverfahren .....	<b>28</b>	<b>Annex C</b> Design examples for the cleaning by a wind field – Blowing methods .....	<b>28</b>
Schrifttum .....	31	Bibliography .....	31

VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) – Normenausschuss

Fachbereich Umweltqualität

VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 4: Analysen- und Messverfahren I  
VDI/VDE-Handbuch Fertigungsmesstechnik

## 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 und in Bearbeitung befindlichen Blätter dieser Richtlinienreihe sowie gegebenenfalls zusätzliche Informationen sind im Internet abrufbar unter [www.vdi.de/3956](http://www.vdi.de/3956).

## Einleitung

Oberflächen von Fotovoltaikmodulen (PV-Anwendung) sowie Reflektoren von konzentrierenden Solarkollektoren (CSP-Anwendung) sind den lokalen Witterungsbedingungen ausgesetzt. Entsprechend der Standortbedingungen kann es zu einer Verschmutzung der Oberflächen z.B. durch Ablagerung von Staubpartikeln kommen. Die Stäube können dabei sowohl natürlichen Ursprungs (z.B. mineralische Stäube, organische Materialien wie Pollen, Sporen) als auch künstlicher Herkunft (z.B. Rußpartikel aus dem Straßenverkehr, Industrieabgase) sein. Die Ablagerungen an der Oberfläche führen zur Absorption oder Streuung des einfallenden Sonnenlichts, was bei solaren Energiesystemen unmittelbar mit Leistungsverlust verbunden ist. Diese können insbesondere in ariden und semi-ariden Klimazonen sehr hoch sein und sich auf über 1 % relativen Leistungsverlust pro Tag belaufen. Daher ist die Verstaubung von Oberflächen mit wirtschaftlichen und versorgungstechnischen Risiken verbunden. Um die Anfälligkeit von Oberflächen und Beschichtungen für Verstaubung besser abschätzen zu können, bedarf es einer Bewertungsmethode, die durch Laborexperimente Schlüsse über das Verhalten von Oberflächen unter realistischen und vergleichbaren Umweltbelastungen zulässt. Zum Zeitpunkt der Erarbeitung dieser Richtlinie waren keine Prüfnormen bekannt, die die trockene Deposition und die für Partikelanhaftung wichtigen Umweltbedingungen wie die über den Tagesverlauf wechselnde Luftfeuchtigkeit, wechselnde Oberflächentemperaturen und insbesondere Betauungsvorgänge realitätsnah abbilden. Detaillierte wissenschaftliche Untersuchungen zur Verschmutzungsproblematik und

## 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 and those in preparation as well as further information, if applicable, can be accessed on the Internet at [www.vdi.de/3956](http://www.vdi.de/3956).

## Introduction

Surfaces of photovoltaic (PV) modules and reflectors of concentrated solar power (CSP) plants are exposed to local weather conditions. Under certain site conditions, the surfaces can become soiled, e.g. due to the deposition of dust particles. The dusts can be of natural origin (e.g. mineral dusts or organic materials such as pollen and spores) or of artificial origin (e.g. soot particles from road traffic or industrial waste gases). The deposits on the surface result in the absorption or scattering of incident sunlight, which is directly associated with power losses in solar energy systems. These can be very high, especially in arid and semi-arid climate zones, and amount to more than 1 % relative power loss per day, so dust deposition on surfaces is therefore a source of economic and supply risks. To better estimate the susceptibility of surfaces and coatings to dusting, a laboratory evaluation method is required that allows conclusions on the behaviour of surfaces subject to realistic and comparable environmental exposure. At the time of preparation of this standard, no test standards were known that realistically replicate dry deposition and the environmental conditions important for particle adhesion, such as humidity changing over the course of the day, changing surface temperatures and, in particular, dew formation processes. Detailed scientific investigations into the soiling problem and important factors such as changing environmental conditions, including the frequently occurring dew formation on surfaces in desert areas, are presented inter alia in [1; 2]. The results of various scientific studies [3 to 10] and existing standards have been taken into account in the preparation of this standard (e.g. DIN

wichtigen Einflussfaktoren wie wechselnde Umgebungsbedingungen einschließlich der auch in Wüstengebieten häufig auftretenden Betauung von Oberflächen sind unter anderem in [1; 2] gegeben. Für die Erstellung der Richtlinie wurden die Ergebnisse verschiedener wissenschaftlicher Untersuchungen [3 bis 10] sowie vorhandene Normen (z.B. DIN EN 60068-2-68, DIN ISO 9022-6, MIL-STD-810H, Defence Standard Def Stan 00-35) berücksichtigt.

## **1 Anwendungsbereich**

Diese Richtlinie befasst sich mit der Bewertung der Verschmutzungseigenschaften von Oberflächen solarer Energiesysteme für den Einsatz in staubigen Umgebungen. Mithilfe des beschriebenen Prüfverfahrens werden die staubabweisenden Eigenschaften von Oberflächen miteinander und mit einem Referenzprüfstück verglichen. Die Prüfbedingungen sind an aride und semi-aride Klimazonen mit hohen Belastungen durch luftgetragene, mineralische Stäube angelehnt.

EN 60068-2-68, DIN ISO 9022-6, MIL-STD-810H, Defence Standard Def Stan 00-35).

## **1 Scope**

This standard is concerned with the evaluation of the soiling properties of surfaces of solar energy systems for use in dusty environments. The described test procedure is used to compare the dust-repellent properties of different surfaces with each other and with a reference test piece. The test conditions are geared to arid and semi-arid climate zones with high exposure to airborne mineral dusts.