

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEURE

Thermische Trennverfahren in der Verfahrenstechnik  
Messung und Auswertung von Fluidodynamik und  
Stofftransport in gepackten Kolonnen  
Absorption und Desorption  
Chemical separation processes  
Measurement and evaluation of fluid dynamics and  
mass transfer in packed columns  
Absorption and desorption

VDI 2761  
Blatt 2 / Part 2

Ausg. deutsch/englisch  
Issue German/English

*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 .....	3	Preliminary note.....	3
Einleitung.....	3	Introduction.....	3
<b>1 Anwendungsbereich.....</b>	<b>4</b>	<b>1 Scope.....</b>	<b>4</b>
<b>2 Normative Verweise.....</b>	<b>4</b>	<b>2 Normative references.....</b>	<b>4</b>
<b>3 Begriffe.....</b>	<b>5</b>	<b>3 Terms and definitions.....</b>	<b>5</b>
<b>4 Formelzeichen, Abkürzungen und Indizes.....</b>	<b>7</b>	<b>4 Symbols, abbreviations, and indices.....</b>	<b>7</b>
<b>5 Grundlagen.....</b>	<b>10</b>	<b>5 Basic principles.....</b>	<b>10</b>
5.1 Allgemeines.....	10	5.1 General.....	10
5.2 Grundlagen der Fluidodynamik.....	10	5.2 Basic principles of fluid dynamics.....	10
5.3 Berechnungsmodelle für gepackte Kolonnen.....	13	5.3 Calculation models for packed columns.....	13
<b>6 Stoffsysteme zur Bestimmung der Stofftransferparameter.....</b>	<b>16</b>	<b>6 Absorption systems for the determination of mass transfer parameters.....</b>	<b>16</b>
<b>7 Auswahlkriterien für die Gestaltung der Versuchskolonne.....</b>	<b>18</b>	<b>7 Selection criteria for designing the test column.....</b>	<b>18</b>
7.1 Betriebsparameter.....	18	7.1 Operating parameters.....	18
7.2 Kolonnendurchmesser.....	19	7.2 Column diameter.....	19
7.3 Betthöhe.....	20	7.3 Bed height.....	20
7.4 Probenahme.....	21	7.4 Sampling.....	21
7.5 Gasverteiler.....	22	7.5 Gas distributor.....	22
7.6 Flüssigkeitsverteiler.....	23	7.6 Liquid distributor.....	23
7.7 Festlegungen für Tropfenabscheider, Tragroste und Niederhalteroste.....	24	7.7 Specifications for mist eliminators, support plates, and retaining grids.....	24
7.8 Betriebsmittel.....	25	7.8 Resources.....	25
7.9 Verweilzeit im Sumpf.....	26	7.9 Dwell time in the bottom.....	26
7.10 Positionierung der Zudosierung von Reagenzien.....	26	7.10 Positioning of the reagent metering system.....	26
<b>8 Analytik und Messtechnik.....</b>	<b>26</b>	<b>8 Analytical and measuring instruments.....</b>	<b>26</b>
8.1 Allgemein.....	26	8.1 General.....	26
8.2 Messtechnik und Messgenauigkeit.....	26	8.2 Measuring instruments and measurement accuracy.....	26
8.3 Analyse der Gaskonzentrationen.....	27	8.3 Analysis of gas concentrations.....	27
8.4 Analyse der Flüssigkeitskonzentrationen.....	28	8.4 Analysis of liquid concentrations.....	28

VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (GVC)

Fachbereich Verfahrenstechnische Prozesse

VDI-Handbuch Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, Band 5: Spezielle Verfahrenstechnik

Inhalt	Seite
<b>9 Durchführung der Messungen</b> .....	29
9.1 Materialspezifische Aspekte .....	29
9.2 Durchführung der fluiddynamischen Messung .....	30
9.3 Durchführung der Stofftransportmessung .....	31
9.4 Reproduktionsmessung .....	31
<b>10 Modellgestützte Auswertung</b> .....	32
10.1 Bestimmung der Stofftransportparameter .....	32
10.2 Auswertung von $\beta_G a_{\text{eff}}$ und $\beta_L a_{\text{eff}}$ .....	33
10.3 Auswertung von $a_{\text{eff}}$ , $\beta_G$ und $\beta_L$ .....	34
<b>11 Dokumentation</b> .....	37
<b>12 Referenzdaten zur Validierung der     Messung und Auswertung</b> .....	38
<b>13 Nutzung der ermittelten     Stofftransportparameter zur     Kolonnenauslegung</b> .....	39
<b>Anhang</b> Exemplarischer Versuchsaufbau .....	43
Schrifttum .....	45

Contents	Page
<b>9 Measurement procedure</b> .....	29
9.1 Material-specific aspects .....	29
9.2 Performance of fluid dynamic measurements .....	30
9.3 Performance of mass transfer measurements .....	31
9.4 Measurement reproducibility .....	31
<b>10 Model-assisted evaluation</b> .....	32
10.1 Determination of mass transfer parameters .....	32
10.2 Evaluation of $\beta_G a_{\text{eff}}$ and $\beta_L a_{\text{eff}}$ .....	33
10.3 Analysis of $a_{\text{eff}}$ , $\beta_G$ and $\beta_L$ .....	34
<b>11 Documentation</b> .....	37
<b>12 Reference data to validate     measurements and evaluation</b> .....	38
<b>13 Use of established mass transfer     parameters in column design</b> .....	39
<b>Annex</b> Sample test setup .....	43
Bibliography .....	45

## 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/2761](http://www.vdi.de/2761).

## Einleitung

Absorptionsprozesse werden in sämtlichen Anwendungsbereichen der chemischen Industrie und der Energiewirtschaft eingesetzt. Absorption bezeichnet die Abtrennung einzelner Komponenten (Absorptive) aus Gasen durch Lösen in einer Flüssigkeit (Absorbens). Die Absorption bezeichnet man in der Technik oft auch als *Gaswäsche* und das Absorbens als *Waschflüssigkeit*. An einem Absorptionsprozess sind allgemein folgende Komponenten beteiligt:

- ein oder mehrere Absorptive
- die Waschflüssigkeit (Absorbens)
- ein inertes, also in der Waschflüssigkeit praktisch unlösliches Trägergas

Geht die Flüssigkeit mit der absorbierten Komponente keine chemische Bindung ein und bleibt sie als Atom oder Molekül erhalten, handelt es sich um eine Physisorption. Erfolgt nach der Absorption eine chemische Reaktion (wozu auch Dissoziations- oder Assoziationsvorgänge zu rechnen sind), spricht man von Chemisorption.

Den Umkehrprozess der Absorption, also den selektiven Übergang von in der Waschflüssigkeit gelösten Komponenten in ein Trägergas, bezeichnet man als Desorption. Diese wird häufig auch als Strippen oder Gasstripping bezeichnet. Die in der Richtlinie genannten Empfehlungen für die Absorption gelten auch für die Desorption, daher ist im gesamten Text mit der Absorption immer auch die Desorption gemeint.

Grundlage für diese Richtlinie ist der Schlussbericht zu dem IGF-Vorhaben „Standardisierung von Stofftransportmessungen in der Ab-/Desorption“ der Technischen Universität Dortmund, Fakultät

## 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/2761](http://www.vdi.de/2761).

## Introduction

Absorption processes are used in all areas of application in the chemical and energy industry. Absorption describes the process of removing individual components (absorbate) from gases by dissolution in a liquid (absorbent). In industrial practice, absorption is commonly referred to as *gas scrubbing* and the absorbent as the *scrubbing liquid*. An absorption process generally involves the following components:

- one or several absorbates
- the scrubbing liquid (absorbent)
- an inert carrier gas which is virtually insoluble in the scrubbing liquid

Physical absorption, or physisorption, describes the process whereby the liquid does not bond chemically with the component absorbed in it, but instead retains its atomic or molecular structure. If a chemical reaction takes place after absorption (with associated dissociation or association processes), it is known as chemical absorption, or chemisorption.

The inverse operation, i.e. the selective transfer of components dissolved in the scrubbing liquid in a carrier gas, is known as desorption, or more frequently, stripping or gas stripping. The recommendations made in this standard for absorption also apply to desorption, so throughout the text any reference to absorption also refers to desorption.

This standard is based on the final report on the Industrial Collective Research (IGF) Project “Standardisierung von Stofftransportmessungen in der Ab-/Desorption” (Standardisation of mass transfer

Bio- und Chemieingenieurwesen, Lehrstuhl für Fluidverfahrenstechnik, sowie der Ruhr-Universität Bochum, Institut für Thermo- und Fluidodynamik, Lehrstuhl für Fluidverfahrenstechnik. Das IGF-Vorhaben 17116 N/1 der Forschungsvereinigung GVT – Forschungs-Gesellschaft Verfahrens-Technik e.V. wurde über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert.

## 1 Anwendungsbereich

Die Richtlinie beschreibt die Messung der Fluid-dynamik und die experimentelle Bestimmung der Stoffdurchgangs- und Stoffübergangsparameter sowie der effektiven Phasengrenzfläche für Absorptions- und Desorptionsprozesse. Sie beschreibt Gas-Flüssig-Systeme, die im Gegenstrom betrieben werden. Das Verfahren ist zur Bestimmung der charakteristischen Eigenschaften von Füllkörpern und strukturierten Packungen in Versuchskolonnen (Innendurchmesser vorzugsweise größer als 250 mm) ausgelegt. Die Richtlinie ist für ein Verhältnis des Kolonnendurchmessers  $d_S$  zum Füllkörperdurchmesser  $d_p$  von mindestens 6 bis 10 ausgelegt.

Weiterhin werden modellgestützte Berechnungsmethoden auf Basis des HTU-NTU-Modells zur Versuchsauswertung für die Bestimmung der gas- und flüssigkeitsseitigen volumetrischen Stoffübergangskoeffizienten  $\beta_G a_{\text{eff}}$  und  $\beta_L a_{\text{eff}}$  beschrieben. Zusätzlich wird die getrennte Bestimmung der gas- und flüssigkeitsseitigen Stoffübergangskoeffizienten  $\beta_G$  und  $\beta_L$  und der effektiven Phasengrenzfläche  $a_{\text{eff}}$  auf der Basis eines rigorosen Modellansatzes behandelt. Diese getrennte Bestimmung der oben genannten Größen des Stofftransports ermöglicht die verbesserte Implementierung in eine Prozesssimulationssoftware. Abschließend werden Hinweise zur technischen Auslegung von gepackten Kolonnen auf Basis der Messung und Simulation gegeben.

Die Anwendung dieser Richtlinie setzt stationäre Bedingungen in der Kolonne voraus.

## 2 Normative Verweise

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

VDI 3679 Blatt 1:2014-07 Nassabscheider; Grundlagen, Abgasreinigung von partikelförmigen Stoffen

VDI 3679 Blatt 2:2014-07 Nassabscheider; Abgasreinigung durch Absorption (Wäscher)

measurements in ab-/desorption) undertaken by the Technical University Dortmund, Faculty of Biochemical and Chemical Engineering, Chair of Fluid Dynamics and the Ruhr-University Bochum, Institute of Thermo- and Fluid Dynamics, Chair of Fluid Separation Processes. IGF Project 17116 N/1 initiated by the process engineering research association (GVT) of the AiF (German Federation of Industrial Research Associations) was funded by the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy as part of a programme to promote Industrial Collective Research (IGF).

## 1 Scope

This standard describes the measurement of fluid dynamics and the experimental determination of the mass transfer parameters, overall mass transfer parameters, and effective interfacial area for absorption and desorption processes. It describes counter-current gas-liquid systems. The method is designed to determine the characteristics of random and structured packed beds in test columns (interior diameter preferably greater than 250 mm). This standard is designed for a column diameter  $d_S$  to packed bed diameter  $d_p$  ratio of at least 6 to 10.

It also describes calculation methods based on the HTU/NTU model for evaluating tests to determine the gas- and liquid-side volumetric mass transfer coefficients  $\beta_G a_{\text{eff}}$  and  $\beta_L a_{\text{eff}}$ . In addition, it deals with the separate determination of the gas- and liquid-side mass transfer coefficients  $\beta_G$  and  $\beta_L$  and the effective interfacial area  $a_{\text{eff}}$  on the basis of a rigorous modelling approach. This separate determination of the abovementioned mass transfer variables facilitates their integration into process simulation software. Finally, it provides guidance on the technical design of packed columns based on measurements and simulations.

For the purposes of this standard, it is assumed that steady-state conditions are maintained in the column.

## 2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this standard:

VDI 3679 Part 1:2014-07 Wet separators; Fundamentals, waste gas cleaning of particle collections

VDI 3679 Part 2:2014-07 Wet separators; Waste gas cleaning by absorption (scrubbers)