

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEURE

Abgasreinigung durch Adsorption  
Prozessgas- und Abgasreinigung

VDI 3674

Waste gas cleaning by adsorption  
Process gas and waste gas cleaning

Ausg. deutsch/englisch  
Issue German/English

*Der Entwurf dieser Richtlinie wurde mit Ankündigung im Bundesanzeiger einem öffentlichen Einspruchsverfahren unterworfen.  
Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.*

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

*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
<b>1 Anwendungsbereich . . . . .</b>	<b>2</b>	<b>1 Scope . . . . .</b>	<b>2</b>
<b>2 Formelzeichen und Abkürzungen . . . . .</b>	<b>3</b>	<b>2 Symbols and abbreviations . . . . .</b>	<b>3</b>
<b>3 Grundlagen . . . . .</b>	<b>4</b>	<b>3 Principles . . . . .</b>	<b>4</b>
3.1 Wesen und Grundbegriffe der Adsorption . . . . .	4	3.1 Adsorption mechanism and general concepts . . . . .	4
3.2 Adsorptionskapazität . . . . .	5	3.2 Adsorption capacity . . . . .	5
3.3 Adsorptionsenthalpie . . . . .	9	3.3 Adsorption enthalpy . . . . .	9
3.4 Adsorption in Schüttungen . . . . .	10	3.4 Adsorption in packed beds . . . . .	10
3.5 Konkurrierende Adsorption und Selektivität	14	3.5 Competing adsorption and selectivity . . .	14
3.6 Regeneration beladener Adsorbentien . . .	15	3.6 Regeneration of loaded adsorbents . . . .	15
3.7 Prinzipien der Desorption. . . . .	15	3.7 Principles of desorption. . . . .	15
3.8 Reaktivierung . . . . .	20	3.8 Reactivation. . . . .	20
<b>4 Technische Adsorbentien . . . . .</b>	<b>21</b>	<b>4 Commercial adsorbents . . . . .</b>	<b>21</b>
4.1 Kohlenstoffhaltige Adsorbentien . . . . .	21	4.1 Carbon-base adsorbents . . . . .	21
4.2 Oxidische Adsorbentien. . . . .	24	4.2 Oxidic adsorbent . . . . .	24
4.3 Polymeradsorbentien . . . . .	26	4.3 Polymeric adsorbents. . . . .	26
4.4 Mischsorbentien. . . . .	27	4.4 Mixed adsorbents. . . . .	27
4.5 Metallorganische Gerüst- verbindungen (MOF) . . . . .	27	4.5 Metal-organic frameworks (MOF) . . . . .	27
4.6 Physikalisch-chemische Beschreibung der Adsorbentien . . . . .	27	4.6 Physical and chemical properties of adsorbents . . . . .	27
<b>5 Technische Adsorber. . . . .</b>	<b>37</b>	<b>5 Commercial adsorbers. . . . .</b>	<b>37</b>
5.1 Festbettverfahren . . . . .	37	5.1 Fixed-bed process. . . . .	37
5.2 Bewegtbettverfahren . . . . .	41	5.2 Moving-bed process . . . . .	41
5.3 Rotoren . . . . .	43	5.3 Rotary adsorbers . . . . .	43
5.4 Flugstromadsorber . . . . .	45	5.4 Entrained-flow adsorption process . . . .	45
5.5 Auslegung von Adsorbern und Desorbern .	48	5.5 Fixed-bed adsorber and desorber design . .	48

Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL

Fachbereich Umweltschutztechnik

	Seite		Page
<b>6 Anwendungsbeispiele</b> . . . . .	51	<b>6 Application examples</b> . . . . .	51
6.1 Lösungsmittlemissionen. . . . .	51	6.1 Solvent emissions . . . . .	51
6.2 Biogasaufbereitung . . . . .	58	6.2 Biogas purification . . . . .	58
6.3 Tank- und Abfüllanlagen . . . . .	58	6.3 Tank farms and loading stations . . . . .	58
6.4 Geruchsstoffemissionen . . . . .	62	6.4 Odour emissions . . . . .	62
6.5 Abgase aus Prozess- und Feuerungsanlagen. . . . .	63	6.5 Process waste gases and combustion flue gases . . . . .	63
6.6 Claus-Abgas . . . . .	68	6.6 Claus tail gas . . . . .	68
6.7 Stahl- und Nichteisenmetallindustrie. . . . .	69	6.7 Steel and non-ferrous metal industries . . . . .	69
<b>7 Entsorgung gebrauchter Adsorbentien.</b> . . . .	70	<b>7 Management of spent adsorbents</b> . . . . .	70
<b>8 Technische Gewährleistungen und Sicherheitsanforderungen.</b> . . . . .	71	<b>8 Technical performance guarantees and safety requirements</b> . . . . .	71
8.1 Technische Gewährleistungen . . . . .	71	8.1 Performance guarantees . . . . .	71
8.2 Allgemeine Sicherheitsanforderungen . . . . .	71	8.2 General safety requirements . . . . .	71
<b>9 Betrieb und Instandhaltung</b> . . . . .	75	<b>9 Operation and maintenance.</b> . . . . .	75
9.1 Betrieb . . . . .	75	9.1 Operation. . . . .	75
9.2 Instandhaltung . . . . .	77	9.2 Maintenance . . . . .	77
Schrifttum . . . . .	81	Bibliography . . . . .	81

**Vorbemerkung**

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

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

**1 Anwendungsbereich**

Die vorliegende Richtlinie enthält die Grundlagen der physikalischen und chemischen Adsorption zur Emissionsminderung in der Gasphase; sie charakterisiert die technisch eingesetzten Adsorbentien und beschreibt darauf aufbauende Adsorptionsverfahren aus dem Gesamtspektrum der Anwendungsmöglichkeiten. Wegen der anwendungsspezifischen Besonderheiten erfolgt keine vergleichende technische und ökonomische Bewertung der Abgasreinigungsverfahren, auch nicht im Vergleich zu alternativen Abgasreinigungsverfahren.

**Preliminary note**

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

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

**1 Scope**

This guideline covers the basic underlying principles of physical and chemical gas-phase adsorption for air pollution control applications, characterises the commercial adsorbents employed and describes some of the deriving adsorption technologies from the total spectrum of applications. In view of the application-specific particularities, a comparative technical and economic assessment of the adsorptive waste gas cleaning processes as well as a comparison with alternative waste gas cleaning technologies have been dispensed with.

## 2 Formelzeichen und Abkürzungen

### Formelzeichen

In dieser Richtlinie werden die nachfolgend aufgeführten Formelzeichen verwendet:

Formelzeichen	Benennung	Einheit
$c$	Konzentration	$\text{kg/m}^3$
$d$	mittlerer Korndurchmesser	mm
$H$	Schüttungs-, Festbetthöhe	m
$p$	Druck	Pa
$p_i$	Adsorptivpartialdruck	Pa
$p_s$	Sättigungsdampfdruck des Adsorptivs	Pa
$q_i$	integrale Adsorptionswärme	J/kg
$q_d$	differenzielle Adsorptionswärme	J/kg
$R$	Gaskonstante	$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
$r$	kleinster Porenradius	nm
$s$	Formfaktor	–
$T$	Temperatur	K
$t$	Zeit	s
$u_0$	Leerrohrgeschwindigkeit	m/s
$u_c$	Wanderungsgeschwindigkeit der Konzentrationsfront	m/s
$V$	Adsorpt-, Festbettvolumen	$\text{ml}, \text{m}^3$
$V_M$	Molvolumen des Adsorptivs	$\ell/\text{mol}$
$V_s$	Adsorptvolumen bei Sättigung	$\text{ml}$
$w_Z$	Wanderungsgeschwindigkeit	m/s
$X$	Beladung	$\text{kg}/\text{kg}_{\text{Adsorbens}}$
$x$	adsorbierte Masse	$\text{g}/100 \text{ g}$
$x_{\text{max}}$	Sättigungswert der Isotherme bei monomolekularer Belegung	$\text{g}/100 \text{ g}$
$\varepsilon_L$	Lückengrad	1
$\theta$	Benetzungswinkel	1
$\rho_R$	Rütteldichte	$\text{kg}/\text{m}^3$

## 2 Symbols and abbreviations

### Symbols

The following symbols are used throughout this guideline:

Symbols	Term	Unit
$c$	concentration	$\text{kg}/\text{m}^3$
$d$	mean particle diameter	mm
$H$	bed depth, depth of fixed-bed	m
$p$	pressure	Pa
$p_i$	partial pressure of adsorptive	Pa
$p_s$	saturation vapour pressure of adsorptive	Pa
$q_i$	integral heat of adsorption	J/kg
$q_d$	differential heat of adsorption	J/kg
$R$	gas constant	$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
$r$	smallest pore radius	nm
$s$	shape factor	–
$T$	temperature	K
$t$	time	s
$u_0$	superficial velocity	m/s
$u_c$	propagation velocity at concentration front	m/s
$V$	adsorpt volume, fixed-bed volume	$\text{ml}, \text{m}^3$
$V_M$	molar volume of adsorptive	$\ell/\text{mol}$
$V_s$	adsorpt volume on saturation	$\text{ml}$
$w_Z$	propagation velocity	m/s
$X$	loading	$\text{kg}/\text{kg}_{\text{adsorbent}}$
$x$	adsorbed mass	$\text{g}/100 \text{ g}$
$x_{\text{max}}$	saturation value of isotherm on monomolecular coverage	$\text{g}/100 \text{ g}$
$\varepsilon_L$	void fraction	1
$\theta$	wetting angle	1
$\rho_R$	packed density	$\text{kg}/\text{m}^3$