

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Betrieb verfahrenstechnischer Anlagen
Energieeffizienz verfahrenstechnischer Anlagen
Fouling in Wärmeübertragern und Kolonnen

VDI 2774
Blatt 1
Entwurf

Operation of process plants – Energy efficiency
of process plants – Fouling in heat exchangers
and columns

Einsprüche bis 2025-11-30

- vorzugsweise über das VDI-Richtlinien-Einspruchportal
<http://www.vdi.de/2774-1>
- in Papierform an
VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und
Chemieingenieurwesen
Fachbereich Betrieb verfahrenstechnischer Anlagen
Postfach 10 11 39
40002 Düsseldorf

Inhalt	Seite
Vorbemerkung	2
Einleitung	2
1 Anwendungsbereich	3
2 Begriffe	3
3 Formelzeichen, Indizes und Abkürzungen	4
4 Grundlagen des Foulings	5
4.1 Foulingarten.....	5
4.2 Ablauf des Foulings.....	6
4.3 Theoretische Grundlagen und Quantifizierung von Fouling.....	6
4.4 Messtechnik und Bestimmungsmethoden.....	8
5 Berücksichtigung von Fouling im Prozess- und Anlagendesign, Betrieb und Turnaround	9
5.1 Berücksichtigung von Fouling im Prozess- und Anlagendesign.....	9
5.2 Berücksichtigung von Fouling beim Apparatedesign.....	10
5.3 Verminderung von Fouling bei Betrieb und Turnaround.....	13
5.4 Fallbeispiele für das Foulingmonitoring.....	15
6 Referenz-Messapparatur zur Foulingcharakterisierung und -quantifizierung	17
6.1 Zielsetzung.....	17
6.2 Empfehlungen zum Modellsystem – Wärmeübertrager.....	17
6.3 Empfehlungen zum Modellsystem – Kolonnen.....	18
6.4 Empfehlungen zum Apparateaufbau – Wärmeübertrager.....	18
6.5 Empfehlungen zum Apparateaufbau – Kolonnen.....	19
6.6 Durchführen der Messung.....	19
6.7 Datenerfassung und Datenauswertung.....	20
7 Anwendung der Referenz-Messapparatur zur Foulingverminderung	21
7.1 Übertragung der Ergebnisse auf die Referenz-Messapparatur.....	21
7.2 Wärmeübertrager.....	21
7.3 Kolonnen.....	21
Anhang Ausführungsbeispiele der Referenz-Messapparatur	22
A1 Wärmeübertrager	22
A2 Kolonne.....	23
Schrifttum	23

VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (GVC)
Fachbereich Betrieb verfahrenstechnischer Anlagen

VDI-Handbuch Fabrikplanung und -betrieb, Band 1: Betriebsüberwachung/Instandhaltung
VDI-Handbuch Energietechnik
VDI-Handbuch Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, Band 2 Planung/Projektierung
VDI-Handbuch Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, Band 3 Verfügbarkeit/Schadensanalyse

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), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

An der Erarbeitung dieser Richtlinie waren beteiligt:

Prof. Dr. Dipl.-Ing. *Hans-Jörg Bart*, Linz

Dipl.-Ing. *Herbert Falk*, Bad Nauheim

Dr.-Ing. *Heike Glade*, Bremen

Dr.-Ing. *Jochen Hammerschmidt*, Leverkusen

Prof. Dr.-Ing. *Uwe Hampel*, Dresden

M. Sc. *Paul Heinz*, Pullach

M. Sc. *Korbinian Inderwies*, Garching

Dipl.-Ing. *Jürgen Paschold*, Ludwigshafen

Dr.-Ing. *Niklas Paul*, Marl

M. Sc. *Philipp Pelz*, Kaiserslautern

Dr.-Ing. *Sebastian Rehfeldt*, Garching

Prof. Dr.-Ing. *Stephan Scholl*, Braunschweig

Prof. Dr.-Ing. *Markus Schubert*, Dresden

Dr. rer. nat. *Hansjürgen Winterbauer*, Hofheim

Dr.-Ing. *Sebastian Zeck*, Freinsheim †

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/2774.

Einleitung

In diese Richtlinie sind Ergebnisse eingeflossen, die im Rahmen des Förderprojekts „Entwicklung einer standardisierten Methodik für Design und Bewertung von Apparaten und Equipment in foulinggefährdeten Trennprozessen SAMARA“ (03EN2007) im 7. Energieforschungsprogramm des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz gewonnen wurden.

Fouling ist die unerwünschte Belagbildung auf technisch genutzten Flächen, insbesondere auf wärme- und/oder stoffübertragenden Oberflächen. Es verursacht erhöhte apparate- und anlagentechnische wie auch betriebliche Aufwendungen in Produktionsanlagen der Prozessindustrie und kann spe-

ziell bei Reinigungsprozessen auch zur Gefährdung von Umwelt und Personen führen. Insbesondere mindert Fouling die energetische Effizienz von Produktionsprozessen.

Neben dem erhöhten Energiebedarf führen die durch Fouling gebildeten Beläge und deren Ablösung auch zu Funktionsbeeinträchtigungen von Anlagenkomponenten und zu Produktbeeinträchtigungen. Beispiele dafür sind:

- Minderung der Funktionsfähigkeit von Wärmeübertragern (übertragener Wärmestrom und spezifizierter Druckverlust)
- Minderung der Funktionsfähigkeit von Kolonnen (Trennleistung, Durchsatz)
- Reduzierung des Strömungsquerschnitts von Strömungswegen oder Änderungen in der Durch- oder Umströmung von Komponenten, Erhöhung der Druckverluste und Minderung des Durchflusses gegebenenfalls bis hin zur Verblockung, z. B. Wärmeübertrager, Kolonnenböden, Packungen, Füllkörperschüttungen, Membranen, Filter, Düsen, Flüssigkeitsverteiler, Tropfenabscheider
- Beeinträchtigung der Bewegung rotierender Komponenten, z. B. Pumpenlaufräder
- Beeinträchtigung des Schließverhaltens von Armaturen und Klappen
- Minderung von Stofftransport und Reaktionsrate in reaktiven/katalytischen Systemen, z. B. Reaktivdestillation
- Beeinträchtigung der Funktionen von Sensoren zur Prozessregelung, -steuerung und -überwachung
- Materialdegradation, insbesondere Degradation der Apparatewerkstoffe, z. B. Wärmeübertragungsflächen
- Produktbeeinträchtigung, z. B. farbliche und sensorische Beeinträchtigungen, Stippenbildung bei Polymeren

Werden diese Funktionsbeeinträchtigungen nicht rechtzeitig erkannt, können Kapazitätsminderung und Produktionsausfälle, eine reduzierte Anlagenverfügbarkeit und damit in der Konsequenz große wirtschaftliche Schäden resultieren.

Die negativen Auswirkungen von Fouling lassen sich reduzieren und teilweise vermeiden, wenn die Prozesse zur Entstehung von Fouling rechtzeitig erkannt, aufgeklärt und zielgerichtete Gegenmaßnahmen ergriffen werden.

1 Anwendungsbereich

Diese Richtlinie beschreibt Fouling in Anlagen der thermischen Verfahrenstechnik. Dazu gehören auch Anwendungen der chemischen und energietechnischen Industrie, der Pharma- und Lebensmittelbranche, der Wasserentsalzung und -aufbereitung sowie weiterer Branchen, in denen Foulingphänomene auftreten.

Diese Richtlinie beschränkt sich auf Fouling in Wärmeübertragern und Kolonnen für Dampf-Flüssig-Trennprozesse (Absorption, Desorption, Destillation und Rektifikation). Bei foulinggefährdeten Prozessen kann Fouling auch in anderen Apparaten und Komponenten auftreten. Die resultierenden Effekte von Fouling sind dabei sehr apparate- und prozessspezifisch; sie werden daher in dieser Richtlinie nicht explizit behandelt.

Diese Richtlinie gibt Empfehlungen zu Design, Betrieb und Wartung (Turnaround) von foulinggefährdeten Wärmeübertragern und Kolonnen, um Fouling in deren gesamtem Lebenszyklus zu erkennen, zu quantifizieren, zu vermeiden oder zu vermindern. Darüber hinaus beschreibt sie geeignete messtechnische Verfahren zu Detektion und Monitoring von Fouling.

Die hier beschriebenen Referenz-Messapparaturen für Wärmeübertrager und Kolonnen dienen der reproduzierbaren Durchführung von Messungen zur Charakterisierung der Foulinganfälligkeit dieser Apparate.

Diese Richtlinie beschränkt sich auf Kristallisationsfouling und Reaktionsfouling. Beide Foulingarten können durch anorganische und organische Substanzen erfolgen.