

vgbe-Standard

Folgen von Druckteilschäden an Wirbelschichtfeuerungs- anlagen erkennen, behandeln und begrenzen

VGBE-S-051-00-2023-12-DE



vgbe-Standard

Folgen von Druckteilschäden an Wirbelschichtfeuerungs- anlagen erkennen, behandeln und begrenzen

VGBE-S-051-00-2023-12-DE

Herausgeber:
vgbe energy e.V.

Verlag:
vgbe energy service GmbH
Verlag technisch-wissenschaftlicher Schriften
Deilbachtal 173 | 45257 Essen

Tel.: +49 201 8128-200
E-Mail: sales-media@vgbe.energy

ISBN 978-3-96284-332-8 (Print, Deutsch)
ISBN 978-3-96284-333-5 (E-Book, Deutsch)

Alle Rechte vorbehalten, vgbe energy.

www.vgbe.energy | www.vgbe.services

--- Single-User-Version | Einzelplatzversion ---

The GTC of vgbe energy service GmbH apply.
Es gelten die AGB der vgbe energy service GmbH.
All rights reserved! | Alle Rechte vorbehalten!

Any modification of this document is not permitted.
Jegliche Änderung dieses Dokuments ist nicht gestattet.

**Single-User-Version
Einzelplatzversion**



**One printout allowed
Ein Ausdruck erlaubt**



**No electronic copy allowed
Keine elektronische Kopie erlaubt**



**No network storage allowed
Kein Einstellen in Netzwerke erlaubt**



**Passing on of print-outs or electronic copies
to third parties is not permitted.
Die Weitergabe von Ausdrucken und/oder elek-
tronischen Kopien an Dritte ist nicht gestattet.**



**No further rights are granted.
Es werden keine weiteren Rechte eingeräumt.**



Notice: Any further use of contents requires a written agreement with vgbe energy.
Please contact us at sales-media@vgbe.energy.

Hinweis: Jegliche weitere Nutzung von Inhalten bedarf einer schriftlichen
Vereinbarung mit vgbe energy.
Kontakt und Rückfragen an sales-media@vgbe.energy.

Urheberrechtsvermerk

vgbe-Standards, hier im Weiteren als „Werk“ bezeichnet, und sämtliche im Werk enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Es liegt in der alleinigen Zuständigkeit von vgbe energy, die Nutzungsrechte wahrzunehmen.

Der Begriff „Werk“ umfasst die vorliegende Publikation sowohl in gedruckter als auch in digitaler Form. Der Urheberrechtsschutz umfasst dieses Werk als Ganzes als auch Teile bzw. Ausschnitte.

Jede Nutzung außerhalb der Grenzen des Urheberrechts ist ohne schriftliche Genehmigung des vgbe energy unzulässig. Dies gilt für jede Form von Vervielfältigung, Übersetzung, Digitalisierung sowie Veränderung.

Haftungsausschluss

vgbe-Standards sind Empfehlungen, deren Anwendung freigestellt ist. Sie berücksichtigen den zum Zeitpunkt der jeweiligen Ausgabe herrschenden bekannten Stand der Technik. Sie erheben jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit und Richtigkeit.

Die Anwendung erfolgt auf eigene Verantwortung und auf eigene Gefahr. vgbe energy e.V. schließt insoweit jegliche Haftung aus.

Die deutschsprachige Version dieses vgbe-Standards ist für Übersetzungen die maßgebliche Referenzausgabe.

Hinweis zur Behandlung von Änderungsvorschlägen

*Änderungsvorschläge können an die E-Mail-Adresse **vgbe-standard@vgbe.energy** gesendet werden. Zur eindeutigen Zuordnung des Inhalts sollte die Betreffzeile die Kurzbezeichnung des betreffenden Dokuments enthalten.*

Anmerkung: Grundsätzlich wird in deutschsprachigen Texten als Dezimaltrennzeichen das „Kommazeichen“ verwendet mit dem „Punkt“ als Tausendertrennzeichen. In Grafiken mit Ursprung aus dem englischsprachigen Raum kann das Zeichen „Punkt“ als Dezimaltrennzeichen verwendet sein mit dem „Kommazeichen“ als Tausendertrennzeichen.

Vorwort

Der vgbe energy e.V. ist der technische Verband der Energieanlagen-Betreiber. Unsere Mitglieder sind Unternehmen, die weltweit Anlagen zur Strom-, Wärme- und Kälteerzeugung, Energiespeicherung und Sektorkopplung betreiben. Die Ziele der vgbe energy sind:

- einen hohen Standard an Betriebs- und Anlagensicherheit sowie bei der Gesundheit und Sicherheit am Arbeitsplatz zu gewährleisten und diesen auszubauen,
- die Umweltverträglichkeit der Anlagen zu erhöhen und deren Emissionsbilanz zu verbessern,
- die gemäß den Marktbedingungen optimale Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit der Anlagen zu gewährleisten,
- die Effizienz und die Betriebskosten der Anlagen zu jedem Zeitpunkt im Lebenszyklus zu optimieren,
- energietechnische Innovationen in wirtschaftliche Anwendungen zu überführen,
- den Weg für einen marktorientierten Ausbau der erneuerbaren Energien zu bereiten und
- Lösungen für die Sicherung der Energieversorgung und der Stabilität des Energiesystems zu schaffen.

Mit fortschreitender Einführung der Wirbelschichtfeuerung in Deutschland gründete sich im Jahr 1989 eine Interessengemeinschaft der Betreiber von Wirbelschichtfeuerungsanlagen, die bis heute in der Fachgruppe Wirbelschicht der vgbe ihre Betriebserfahrungen teilt.

Bei verschiedenen Wirbelschichtanlagen kam es seit Beginn der Entwicklung immer wieder zu Rohrschäden, mit zum Teil gravierenden Folgen für die Anlage selbst, dem Kesselaufstellungsraum und den darin befindlichen Komponenten. Ein Aufreißen der Rauchgaszüge und in Folge auch Teilen des Gebäudes zum Teil auch in jüngster Zeit, verbunden mit einer großflächigen Freisetzung von Bettasche und Dampf gehören dabei zu den größten Schäden in der Geschichte der Wirbelschicht. Hätten sich zum Schadeneintritt Personen im Kesselaufstellungsraum aufgehalten, so wären diese in akuter Lebensgefahr gewesen. Dabei sind diese Ereignisse nicht immer im laufenden Betrieb aufgetreten, sondern zum Teil auch erst nach Abstellen der Anlage, also in einem vermeintlich sicherem Betriebszustand. Nicht immer war beim Betreiber jedoch ein tiefgehendes verfahrens-technisches Wissen über die Besonderheiten der Wirbelschicht bei Druckteilschäden vorhanden. Anderenfalls hätten derartige Auswirkungen von Schäden an druckführenden Teilen, wie sie bei Dampfkesselanlagen vorkommen können, meist vermieden werden können.

Bei Wirbelschichtanlagen ist zwar ein sofortiges Abstellen der Feuerung möglich, verfahrensbedingt nicht jedoch die Beheizung wie bei anderen Feuerungsarten. Bei gekühlten Heizflächen. ist insbesondere bei Wirbelschichtanlagen eine Kühlung während des Abfahrprozesses notwendig und eine fortlaufende Überwachung der eingeleiteten Maßnahmen. Die Abschaltung der Gebläse und bzw. oder der Brennstoffzufuhr aufgrund einer Abweichung vom bestimmungsgemäßen Betrieb ist daher grundsätzlich keine alleinige Maßnahme, die eine Anlage in einen betriebssicheren Zustand überführt. Ziel und Zweck dieses Standards ist es, die Erfahrungen mit Druckteilschäden in Wirbelschichtanlagen aufzuzeigen und auf das besondere Gefährdungspotenzial in dieser Phase des Betriebes aufmerksam zu machen.

Die Mitglieder der Fachgruppe halten es für notwendig, die in über 30 Jahren Betrieb gemachten Betriebserfahrungen an Wirbelschichtfeuerungsanlagen interessierten Kreisen zur Verfügung zu stellen. Ziel ist es, Planer, Hersteller und Betreiber, aber auch Genehmigungsbehörden zu sensibilisieren, Schäden aus Rohrundichtigkeiten an Mensch und Maschine in jeder Phase der Lebensdauer eine Anlage von Beginn an vermeiden zu helfen. Die nachfolgenden Hinweise und Empfehlungen sind in jedem Fall für jede einzelne Anlage vor der Anwendung kritisch zu hinterfragen. Die eingefügten Praxisberichte und (zum Teil stark vereinfachten) Beispielrechnungen und Handlungsvorschläge sollen dies erleichtern.

Essen, im Dezember 2023

vgbe energy e.V.*

* vgbe energy e.V. ist seit April 2022 der neue Name des VGB PowerTech.

Autoren

Den nachfolgenden Personen gilt unser Dank für ihre Mitarbeit:

Dipl.-Ing. M. Dereschewitz, Stadtwerke Flensburg GmbH

Dipl.-Ing. M. Evard, Vattenfall Europe Wärme AG, Berlin

Dipl.-Ing. W. Jegszenties, RWE Power AG

Dipl.-Ing. M. Trost, TROST Energy Consult Ingenieure PartG, Flensburg

Dipl.-Ing. S. Vogel, RWE Power AG

Dipl.-Phys.-Ing. C. Stolzenberger, vgbe energy e.V., Essen

Inhalt

1	Geltungsbereich und Zielsetzung	10
2	Darstellung verschiedener Bauarten von Dampfkesselanlagen mit Wirbelschichtfeuerung	11
2.1	Bauarten von Wirbelschichtfeuerungen	12
2.2	Unterschiede der Wasser-Dampf-Kreisläufe	15
2.2.1	Naturumlauf	15
	Dynamisches Verhalten	16
	Konstruktive Merkmale	17
	Besonderheit Fließbettkühler	17
2.2.2	Zwangsdurchlauf	18
2.3	Besonderheiten von Wirbelschichtanlagen im Zusammenwirken von Luft-Rauchgas- und Wasser-Dampfkreislauf im Schadenfall	19
3	Risiken durch besondere Einflüsse	20
3.1	Erosionspotential des Wärmeträgermaterials einer Wirbelschichtfeuerung ..	20
3.1.1	Einfluss der Beschaffenheit des Inertmaterials	21
	Sonderfall Alkalien	23
3.2	Gefährdungen im Umgang mit Wirbelschichtasche	23
3.3	Verfahrenstechnische Einflüsse.....	25
3.3.1	Stationäre Wirbelschichten	25
3.3.2	Zirkulierende Wirbelschichten.....	25
	Einfluss des Düsenbodens	27
	Erosion am Übergang Wand/Mauerwerk.....	29
	Erosionen der Membranwände und Decken.....	32
	Mikrowirbel, Erosionen unterhalb der Eintritte der Zyklone.....	34
	Erosionen in den Ecken bei Brennkammern mit rechteckigem Grundriss im ungeschützten berohrten Teil.....	35
	Erosion im Bereich Zyklon	36
3.4	Pulsierendes und expandierendes Wirbelbett (Schwingungen an Tauchheizflächen).....	36
3.5	Chlorkorrosion im Wirbelschichtprozess	37
3.5.1	Korrosionskennzahl I – Schwefel / Chlor Verhältnis	37
3.5.2	Korrosionskennzahl II – Brennstoffseitiger maximaler Alkalichlorid-Gehalt ..	38
3.6	Detektierung/Erscheinungsbild/Erkennung von Rohrschäden	38
3.6.1	Kontrolldokumentation von Referenzpunkten	38
3.6.2	Temperaturmessung Dampf-/Rauchgasseitig	39
3.6.3	Feuchtemessung im Rauchgas	39
3.6.4	Rauchgasdruck.....	40
3.6.5	Geräuscherkennung	40

4	Voraussetzungen zur sicheren Inbetriebnahme	41
4.1	Anfahren der kalten Wirbelschicht (Kaltstart/Warmstart)	41
4.2	Anfahren der heißen Wirbelschicht (Heißstart).....	42
5	Auswirkungen eines Rohrschadens auf den Betrieb	45
5.1	Schaden am Druckteil.....	45
5.1.1	Druckteilschaden beim Naturumlaufdampferzeuger	47
5.1.2	Druckteilschaden beim Zwangsdurchlaufdampferzeuger	48
5.2	Betriebsverhalten nach Eintritt eines Rohrschadens	50
5.2.1	Sofortmaßnahmen	51
5.2.2	Handlungsoptionen.....	52
5.3	Anleitungen zum Abfahren	53
5.3.1	Flensburg (Naturumlauf).....	53
5.3.2	Moabit (Benson)	54
5.4	Abschaltung der Gebläse aus dem laufenden Betrieb (Rauchgas)	55
5.5	Fehlinterpretation der Betriebsmessungen nach Abschaltung der Gebläse	56
5.6	Stillstand mit einem Rohrschaden	58
5.6.1	Wasser-Dampfkreislauf	58
5.6.2	Luft / Rauchgas.....	59
5.6.3	Gefährdungsanalyse.....	60
5.6.4	Ermittlung des Wassereintrages in die Rauchgaszüge.....	61
5.6.5	Wärmeübertragung aus der Asche (Strahlung, Berührung).....	63
5.6.6	Wärmeübertragung aus der feuerfesten Auskleidung.....	63
5.6.7	Brennstoffbestandteile im (heißen) Aschebett (Unverbranntes)	64
5.6.8	Wärmetransport durch Sperr- und Spüllüfte (Konvektion)	64
5.6.9	Resultierende Hinweise	65
6	Störungen während des Abfahrprozesses mit einem Rohrschaden	67
6.1	Ausfall der Speisewasserversorgung während des Abfahrprozesses	67
6.2	Ausfall der Fluidisierung bei erkanntem Rohrschaden in den Hauptkomponenten (Brennkammer, Zyklon und Fließbettkühler)	68
6.2.1	Ausfall der Fluidisierung inkl. Sekundärluftgebläse.....	68
6.2.2	Ausfall der Fluidisierung exkl. Sekundärluftgebläse.....	68
6.3	Auswirkung des Rohrschadens bei Ausfall der Gebläse	69
6.3.1	Analyse	69
6.3.2	Handlungsoptionen.....	69
6.3.3	Ergebnis	72
7	Sicherheitseinrichtungen.....	73
7.1	Grundsätzliche Betrachtungen zur Eigensicherheit	73
7.2	Sicherheitseinrichtungen Rauchgasseite	73
7.2.1	Ursachen/Aufgabenstellung.....	73
7.2.2	Hinweise für die Bemessung und Auslegung	74

7.2.3	Konstruktive Sicherheit	76
7.2.4	Passive Einrichtungen	76
7.2.5	Aktive Einrichtungen	78
7.3	Kühlung / Notkühlung	79
7.3.1	Allgemein (Wasserreserven)	79
7.3.2	Nachspeisung Naturumlaufkessel	79
7.3.3	Nachspeisung Benson	83
7.4	Reduzierung der Beheizungsquellen	84
7.5	Brennstoffschnellschlusseinrichtungen (TRD)	85
7.5.1	Grundsätze zu Brennstoffschnellschlusseinrichtungen für feste Brennstoffe:	85
7.5.2	Flüssige und gasförmige Brennstoffe	86
7.6	Organisatorische Empfehlungen.....	87
7.6.1	Betriebsorganisation	87
7.6.2	Betriebshandbuch (BHB).....	87
8	Externer Wirbelschichtwärmetauscher (Fließbettkühler)	90
8.1	Schadensursachen	91
8.2	Gefährdungspotential	92
8.3	Schadenserkennung.....	93
8.4	Diskussion eines Schadensverlaufes	93
8.5	Rauchgasseitiger Druckanstieg durch einen schwallartigen Eintrag großer Wassermengen in die Brennkammer	94
8.6	Handlungsoptionen.....	95
9	Anhang	96
9.1	Anlagendaten Flensburg – Naturumlauf	96
9.2	Anlagendaten Moabit – Zwangsdurchlauf.....	97
10	Literatur/Quellenverzeichnis.....	98
11	Glossar	100

1 Geltungsbereich und Zielsetzung

Der Geltungsbereich dieses vgbe-Standards bezieht sich auf alle Arten von Wirbelschichtfeuerungsverfahren und der ggf. eingebundenen Wirbelbettwärmetauscher, unabhängig von Brennstoffen und den Verfahren des Wasser-Dampf-Kreislaufes.

Ziel ist es, für Druckteilschäden und deren mögliche, wirbelschichtspezifischen Folgen, geeignete Handlungsempfehlungen aus Betriebserfahrungen, Hinweise für die Bemessung und Auslegung von Sicherheitseinrichtungen sowie bereits für Auslegungen in der Planungsphase zu geben. Unterschiede, die sich aus einem Naturumlauf- oder einem Zwangsdurchlaufkessel ergeben, werden dabei berücksichtigt.

Wirbelschichtfeuerungen (WSF) benötigen meist längere Zeiten für das Aufheizen der Anlage einerseits, und für das Abkühlen und in einen sicheren Betriebszustand überführen andererseits. Daher sollte bereits bei der Planung und Konstruktion, Herstellung, Betrieb und Instandhaltung von Wirbelschichtanlagen insbesondere in den Bereichen, in denen Bettmaterial fluidisiert wird oder zirkuliert, besonderes Augenmerk auf die Vermeidung wirbelschichtspezifischer, meist erosionsbedingter oder anderer konventioneller Schadensursachen an drucktragenden Bauteilen gelegt werden.