

vgbe Technisch-wissenschaftlicher Bericht

Dehnungsrissskorrosion in fossil-befeuerten Kraftwerken

Stand der Kenntnisse, Betriebserfahrungen,
Prüf- und Integritätskonzepte bei Befunden

VGBE-TW-532

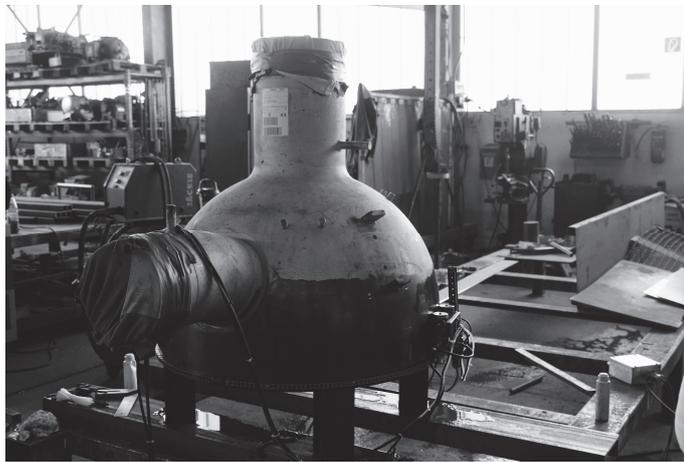


vgbe-Technisch-
wissenschaftlicher Bericht

Dehnungsrisskorrosion in fossil-befeuerten Kraftwerken

*Stand der Kenntnisse, Betriebserfahrungen,
Prüf- und Integritätskonzepte bei Befunden*

VGBE-TW-532



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 978-3-96284-364-9 (Print, Deutsch)
ISBN 978-3-96284-365-6 (E-Book, Deutsch)
ISBN 978-3-96284-366-3 (Print, Englisch)
ISBN 978-3-96284-367-0 (E-Book, Englisch)

Alle Rechte vorbehalten, vgbe energy.

www.vgbe.energy | www.vgbe.services

Urheberrechtsvermerk

vgbe-Berichte, hier im Weiteren als „Werk“ bezeichnet, und sämtliche im Werk enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Es liegt in der ausschließlichen Zuständigkeit von vgbe energy die Verwertung von Rechten 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-Berichte 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-Berichts 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.*

Vorwort

Die Auslegung von Bauteilen im Wasser-Dampf-Kreislauf von konventionell gefeuerten Kraftwerken wird nach den Grundsätzen der Festigkeitslehre unter Berücksichtigung von Vorgaben zum Betrieb von Anlagen durchgeführt. Damit wird der Beanspruchung aufgrund von mechanischen Spannungen Rechnung getragen. Wie wiederholt Schadensfälle gezeigt haben, ist eine Wechselwirkung aus flüssigem Medium, Werkstoff und mechanischer Wechselbelastung weiterführend zu berücksichtigen. Bei ausgeprägten betrieblichen Spannungs- bzw. Dehnungsänderungen zeigen sich teils trotz der formalen Einhaltung der zulässigen Spannungen immer wieder unerwartete Schädigungen, die in den letzten Jahrzehnten und bis heute immer wieder zu gravierenden Schäden mit hohen Stillstands- und Austauschkosten in fossilen Kraftwerken und bis in die 1990er-Jahre auch wiederholt in Kernkraftwerken geführt haben. Dies ist u.a. darin begründet, dass mechanische Nennspannungen unter Kenntnis von Geometrie und Belastung noch vergleichsweise einfach ermittelt werden können. Die Ermittlung bzw. messtechnische Erfassung von Dehnungsgeschwindigkeiten in Systemen und Komponenten ist deutlich anspruchsvoller und gehört grundsätzlich nicht zum üblichen Umfang der Betriebsüberwachung. Die zerstörungsfreie Prüfung zur Bestimmung von Schädigung durch diese Mechanismen ist ebenso anspruchsvoll.

Hieraus ergibt sich, dass die Schädigungsmechanismen, welche im angloamerikanischen Sprachraum unter dem Oberbegriff eines mediumsgestützten Risswachstums (environmentally assisted cracking) erfasst werden, vergleichsweise spät am realen Bauteil festgestellt wurden. Die drei im Wasser-Dampf-Kreislauf führenden Schädigungsphänomene sind hierbei die Dehnungsrisskorrosion (DRK), die Spannungsrisskorrosion (SpRK) und die Schwingungsrisskorrosion (SwRK).

Der vorliegende technisch-wissenschaftliche Bericht stellt die Dehnungsrisskorrosion (DRK) in den Fokus. Dieser Mechanismus bildet den Übergangsbereich zwischen Spannungsrisskorrosion und Schwingungsrisskorrosion. Eine Abgrenzung ist wichtig, um wirksame Überwachungs- und Abhilfemaßnahmen definieren zu können.

Die Autoren möchten den Leser in die Lage versetzen, aufbauend auf Informationen zur Entwicklung des technischen Wissens zur DRK ein grundlegendes Verständnis aufzubauen, zu folgenden Punkten:

- heutiger Kenntnisstand zum Schädigungsmechanismus
- schädigende Einflussfaktoren
- mögliche Schädigungsfolgen in den Bauteilen
- Möglichkeiten zur zerstörungsfreien Prüfung
- Abhilfemaßnahmen
- Nachweismöglichkeiten zur Absicherung eines befristeten Weiterbetriebs im Fall von Befunden

Essen, im Juli 2024

vgbe energy e.V.

Autoren

Den nachfolgend aufgeführten Bearbeitern dieses Technisch-wissenschaftlichen Berichts sei an dieser Stelle von der vgbe-Geschäftsstelle recht herzlich gedankt:

Dr. Mirko Bader	Uniper Kraftwerke GmbH
Stefan Bergholz	Framatome GmbH
Jens Ganswind-Eyberg	vgbe energy e.V.
Thomas Hansen	BASF SE
Thomas Hauke	Lausitz Energie Kraftwerke AG
Patrick Kozlowski	Lausitz Energie Kraftwerke AG
Stefan Medenbach	MuM Müller und Medenbach GmbH
Ralf Nothdurft	EnBW Energie Baden-Württemberg AG
Armin Roth	Framatome GmbH
Dr. Jürgen Rudolph	Framatome GmbH
Dr. Johanna Steinbock	TÜV SÜD Industrie Service GmbH
Kim Christens Thielsen	Ørsted Thermal Power
Dr. Anette Udoh	MPA Stuttgart
Dr. Martin Widera	RWE Power AG

Inhalt

1	Einleitung	9
1.1	Veränderte Betriebsweisen.....	9
2	Kenntnisstand zur dehnungsinduzierten Risskorrosion (DRK)	11
2.1	Begriff der dehnungsinduzierten Risskorrosion	11
2.2	Mechanismus der DRK und der Variante H-DRK	12
2.3	Allgemeine Einflussparameter der DRK	20
2.3.1	Mechanische Beanspruchung	21
2.3.2	Dehnrate	23
2.3.3	Werkstoff	25
2.3.4	Temperatur	28
2.3.5	Medium	30
2.4	Allgemeine Bewertung der charakteristischen Abhängigkeiten der DRK..	32
2.4.1	Übliche Versuchstechniken zur Untersuchung der verschiedenen Arten von Risskorrosion	34
2.5	Darstellung möglicher Risswachstumsraten	36
2.5.1	Allgemeine Vorbemerkungen	36
2.5.2	Rissinitiierung durch DRK.....	37
2.5.3	Risswachstumsabschätzung auf Basis des Ford-Andresen Modells	37
2.5.4	Theoretische Risswachstumsraten aus SSRT/CERT-Versuchen.....	38
2.5.5	Aus der Betriebserfahrung ableitbare Erkenntnisse.....	39
2.6	Vorschläge zur Reduzierung der DRK/H-DRK	39
2.6.1	Werkstoffauswahl auf Basis der Schwefeleinfluss-Theorie.....	40
2.6.2	Werkstoffauswahl auf Basis der H-DRK-Theorie	40
2.6.3	Konstruktive und verfahrenstechnische Maßnahmen	40
2.6.4	Medium	41
2.7	Schlussfolgerungen für DRK aus Versuchsergebnissen und Betriebserfahrungen	41
3	Betriebserfahrungen	43
3.1	Regelwerke.....	43
3.2	Auslegung.....	48
3.3	Schadensfälle	50
3.3.1	Historische Schadensfälle ab 1960.....	50
3.3.2	Schadensfall Entleerungsleitung	58
3.3.3	Schadensfall Kesselumwälzpumpe	62
3.3.4	Schadensfall Armaturen/Rohrbogen im Umwälzkreislauf	65
3.3.5	Schadensfall an einem Speisewasserbehälter	68
3.4	Abhilfemaßnahmen.....	74
3.5	Stillstandskonservierung	75
3.5.1	Nasskonservierung	76
3.5.2	Trockenkonservierung	77

3.5.3	Inertisierung	77
3.5.4	Konservierung durch Dampfphaseninhibitoren	78
4	Prüfkonzept	79
4.1	Schadensbild	79
4.2	Prüfzyklen und Prüforte	80
4.3	Prüfverfahren	82
4.3.1	Sichtprüfung (Visuelle Prüfung, VT).....	82
4.3.2	Ultraschallprüfung (UT).....	83
4.3.3	Oberflächenrissprüfung (OFR).....	85
4.3.4	Wirbelstromverfahren (Eddy Current Testing – ET).....	85
4.3.5	Durchstrahlungsprüfung	86
4.4	Rissgrößenbestimmung	86
4.4.1	Wiederkehrende Rissgrößenbestimmung.....	87
4.5	Beispiele zur ZfP an DRK geschädigten Bauteilen	87
4.5.1	DRK geschädigtes Schiebergehäuse	87
4.5.2	Gehäuse einer Kesselumwälzpumpe mit DRK-Rissanzeigen	93
4.5.3	Screening mit einem Expertensystem	98
5	Integritätsbewertung bei DRK-Befunden	102
5.1	Grundsätzliche Eingabeparameter für bruchmechanische Berechnungen	104
5.2	Werkstoffkennwerte für die Werkstoffe WB 36 (15NiCuMoNb5) und GS17CrMoV5-11	105
5.3	Berechnungsmethoden.....	118
5.4	Anforderungen an den Prüfbericht.....	118
5.5	Überwachungskonzept	119
6	Zusammenfassung	120
7	Literatur, Abkürzungen, Erläuterungen	121
7.1	Literatur und Quellen	121
7.2	Abkürzungen	130
7.3	Formelzeichen	132