

Allianz Global Corporate & Specialty SE

HEIßGASKORROSION IN GASTURBINEN

Bernhard Persigehl, Johannes Stoiber

Allianz 

AUSBRUCH DES VULKANS “EYJAFJALLAJÖKULL“ IN ISLAND AM 20.03.2010



- Ausfall des Flugverkehrs in Europa über 6 Tage
- 10 Mio. betroffene Passgiere, 100.000 gestrichene Flüge

Quelle: WDR



INHALT

- 01** THEORIE DER HEIßGASKORROSION
- 02** URSACHEN
- 03** SCHADENBEISPIELE
- 04** LESSONS LEARNED



01

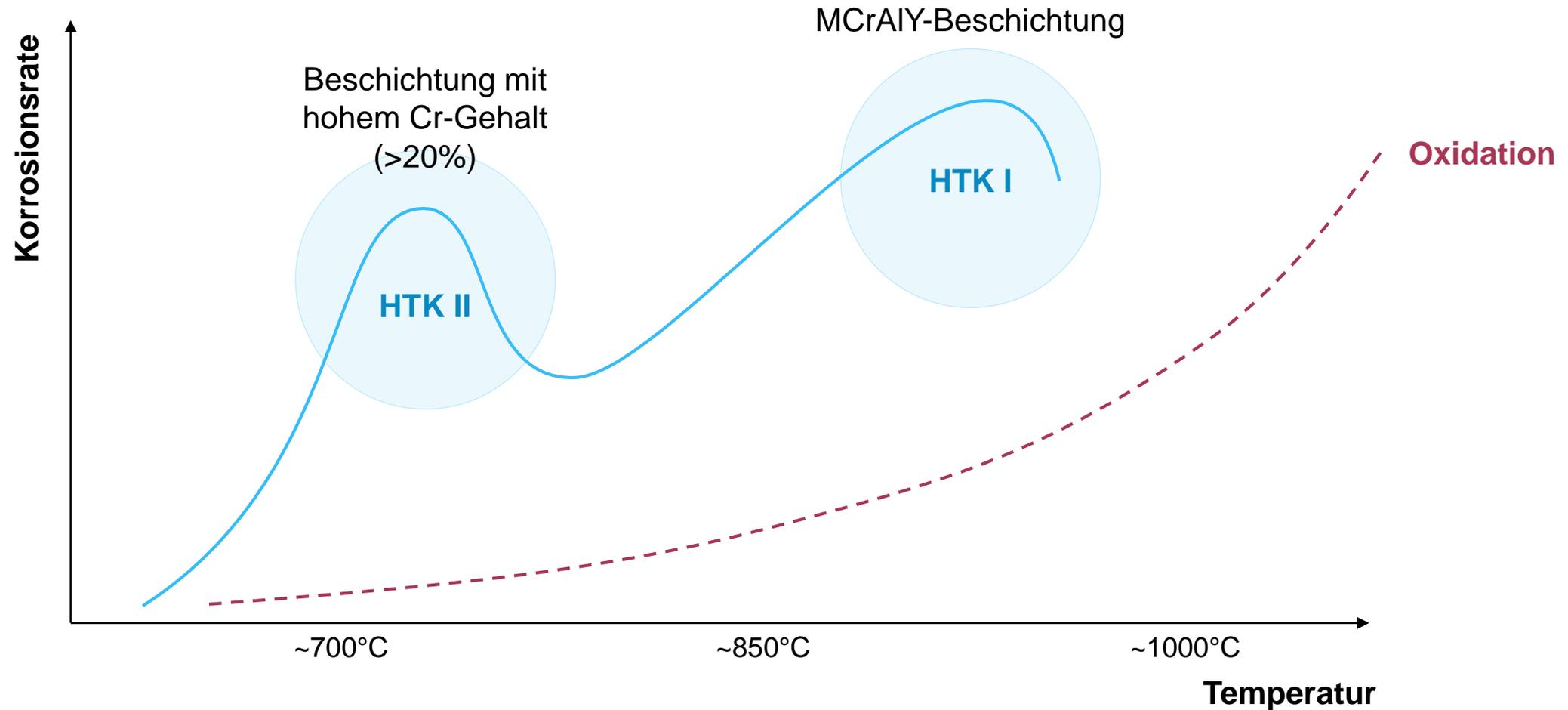
THEORIE DER HEIßGASKORROSION

SULFAT-INDUZIERTE HEIßGASKORROSION RELEVANT BEI GASTURBINEN

Voraussetzung:	Kondensation von Alkalisulfaten auf den Metalloberflächen (z. B. Na_2SO_4 , $T_m = 884 \text{ °C}$)
Temperaturbereich:	650 - 950 °C
nötige Verunreinigungen:	<ul style="list-style-type: none"> • Schwefel • NaCl
Reaktion:	$2 \text{NaCl} + \text{SO}_2 + \text{O}_2 = \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{Cl}_2$
Mechanismen:	<p>Typ I, 800 - 950 °C:</p> <ul style="list-style-type: none"> • $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{Cr}_2\text{O}_3 = \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{Na}_2\text{O}$ innere Sulfidierung entlang der Korngrenzen <p>Typ II, 650 - 750 °C:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bildung eines NiSO_4-Na_2SO_4-Eutektikums ($T_m = 671 \text{ °C}$) keine innere Sulfidierung, Pittingangriff

Wichtig: NaCl beschleunigt den Korrosionsangriff entscheidend!

THEORIE DER SULFAT-INDUZIERTEN HEIßGASKORROSION (HOCHTEMPERATURKORROSION „HTK“)



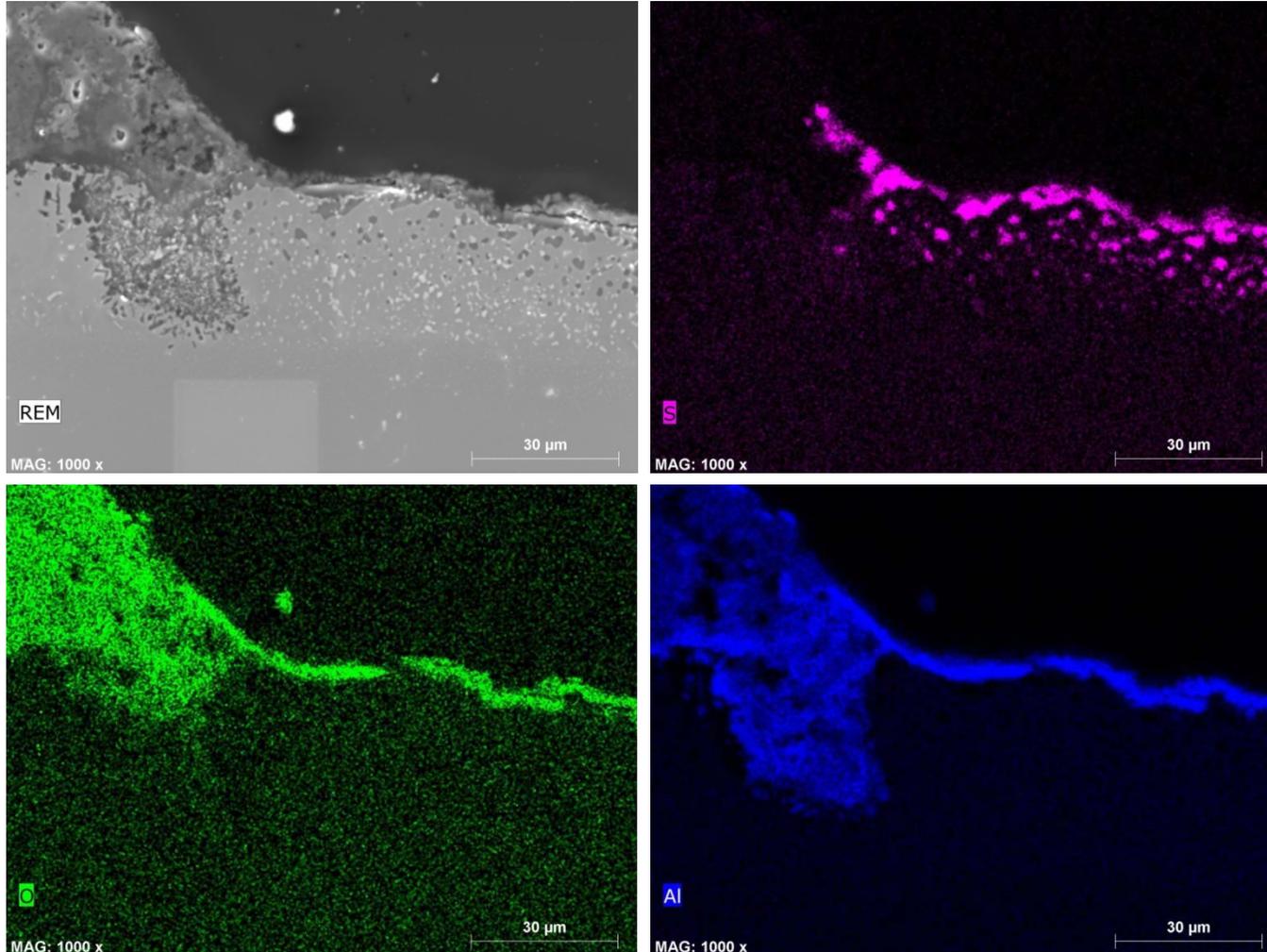
© VDI Wissensforum 2018 - Veranstaltungsmaterialien - nur zum persönlichen Gebrauch

ABLAUF EINER TYPISCHEN HTK-SCHÄDIGUNG

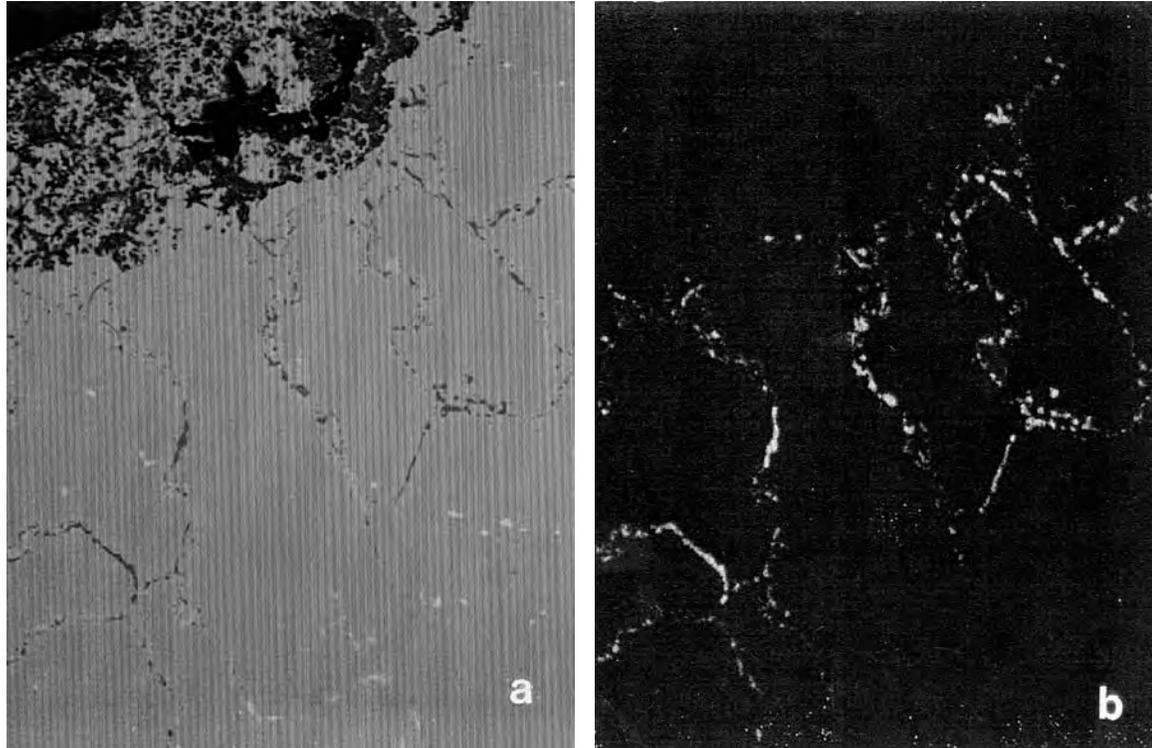
- Kondensation von Alkalisulfaten auf den Metalloberflächen
- Korrosion des Werkstoffs (beispielweise einer Schaufel), beginnend an der Oberfläche
- Sulfid-Bildung an der Korrosionsfront, insbesondere entlang der Korngrenzen
- Nachfolgende Umwandlung der Sulfide in Oxide an den Schaufel - Oberflächen (bestimmt durch den O_2 - Partialdruck)
- Mögliche Schadensentwicklungen
 - Folgeschäden durch Materialausbrüche im weiteren Bereich der Turbine
 - Wärmedämmschicht platzt ab → Überhitzung (ggfs. beginnendes Schmelzen an der Schaufeloberfläche) (HTK ist dann nicht mehr nachzuweisen)

ELEMENTVERTEILUNG BEI EINER BEGINNENDEN HEIßGASKORROSION

Schwefel noch an der Bauteiloberfläche



ELEMENTVERTEILUNG BEI EINER FORTGESCHRITTENEN HEIßGASKORROSION



Schwefel bereits auf den Korngrenzen im Bauteil

Rückstreuелеktronenbild

a) und Schwefel-Verteilungsbild

b) zeigen die innere Sulfidierung entlang der Korngrenzen

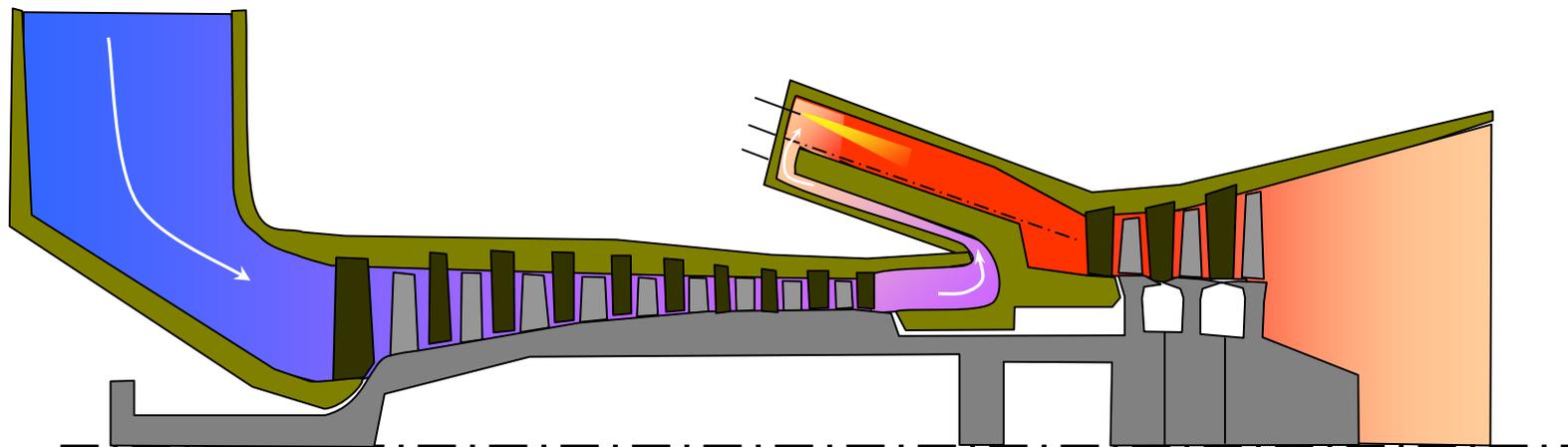
02

URSACHEN



MÖGLICHE URSACHEN FÜR SULFAT-INDUZIERTE HOCHTEMPERATURKORROSION IN GASTURBINEN

Ursache 1:	Verschmutzte Ansaugluft
Ursache 2:	Verunreinigtes Einspritzwasser für Verdunstungskühlung vor/im Verdichter
Ursache 3:	Verunreinigtes Einspritzwasser zur NO _x -Reduktion in der Brennkammer
Ursache 4:	Verunreinigung des Brennstoffs





03

SCHADENBEISPIELE

SCHADENBEISPIEL A (1/3)

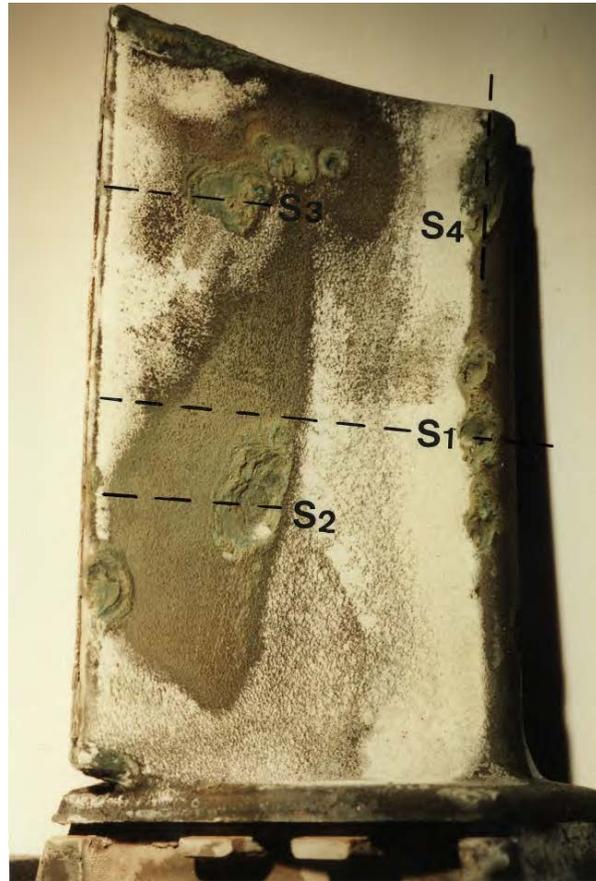


Hochtemperaturkorrosion in der ersten Stufe einer 45 MW Gasturbine nach ca. 2000 Betriebsstunden

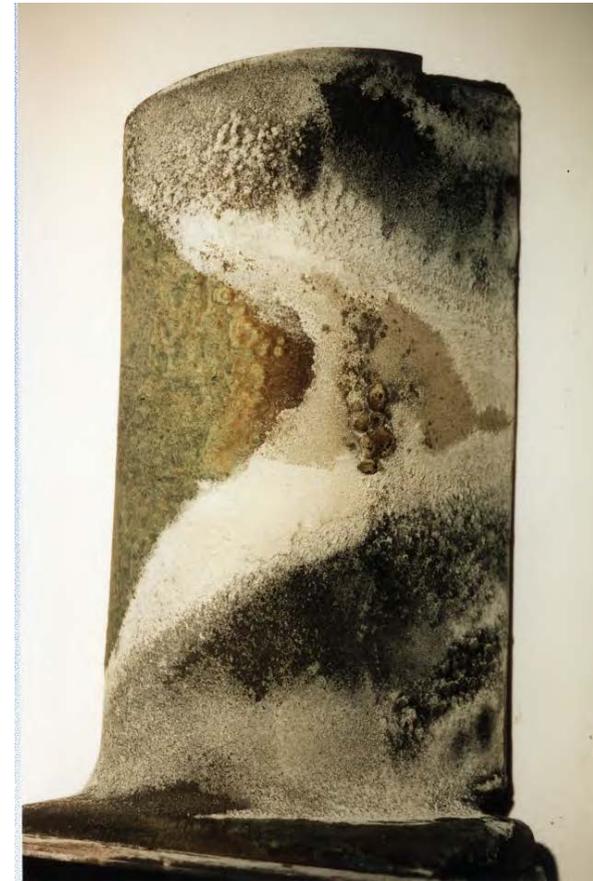
Laufschaufeln der 1.Stufe

SCHADENBEISPIEL A (2/3)

Beispiel einer korrodierten Laufschaufel der 1. Stufe

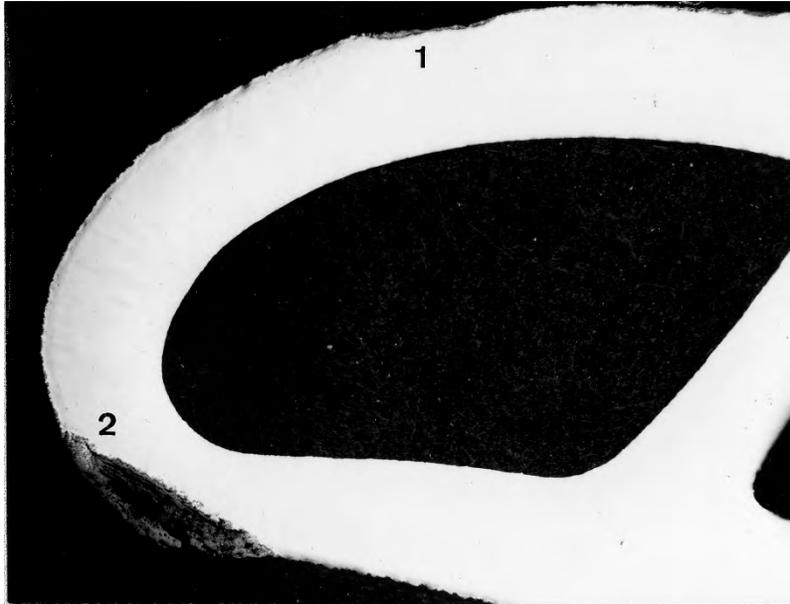


Druckseite

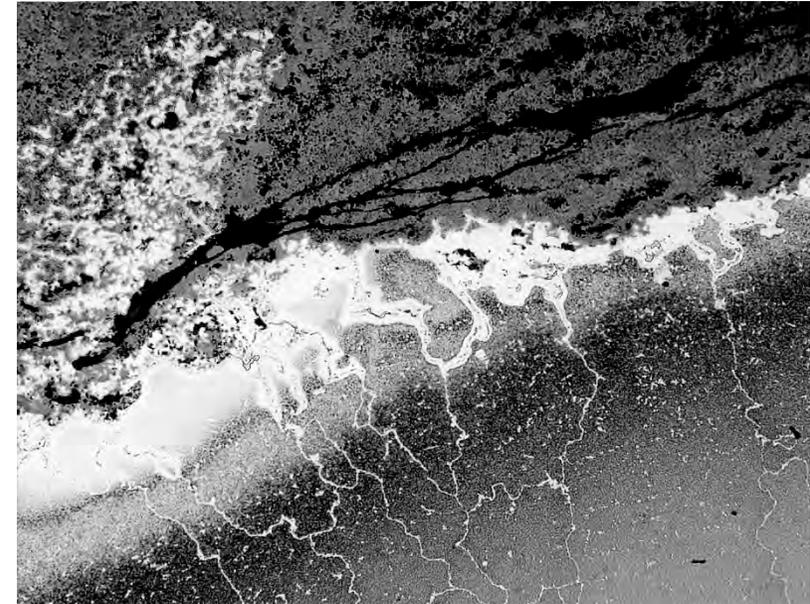


Saugseite

SCHADENBEISPIEL A (3/3)



Querschnitt durch die Eintrittskante einer Laufschaufel 1. Stufe



Schliffbild mit innerer Sulfidierung entlang der Korngrenzen

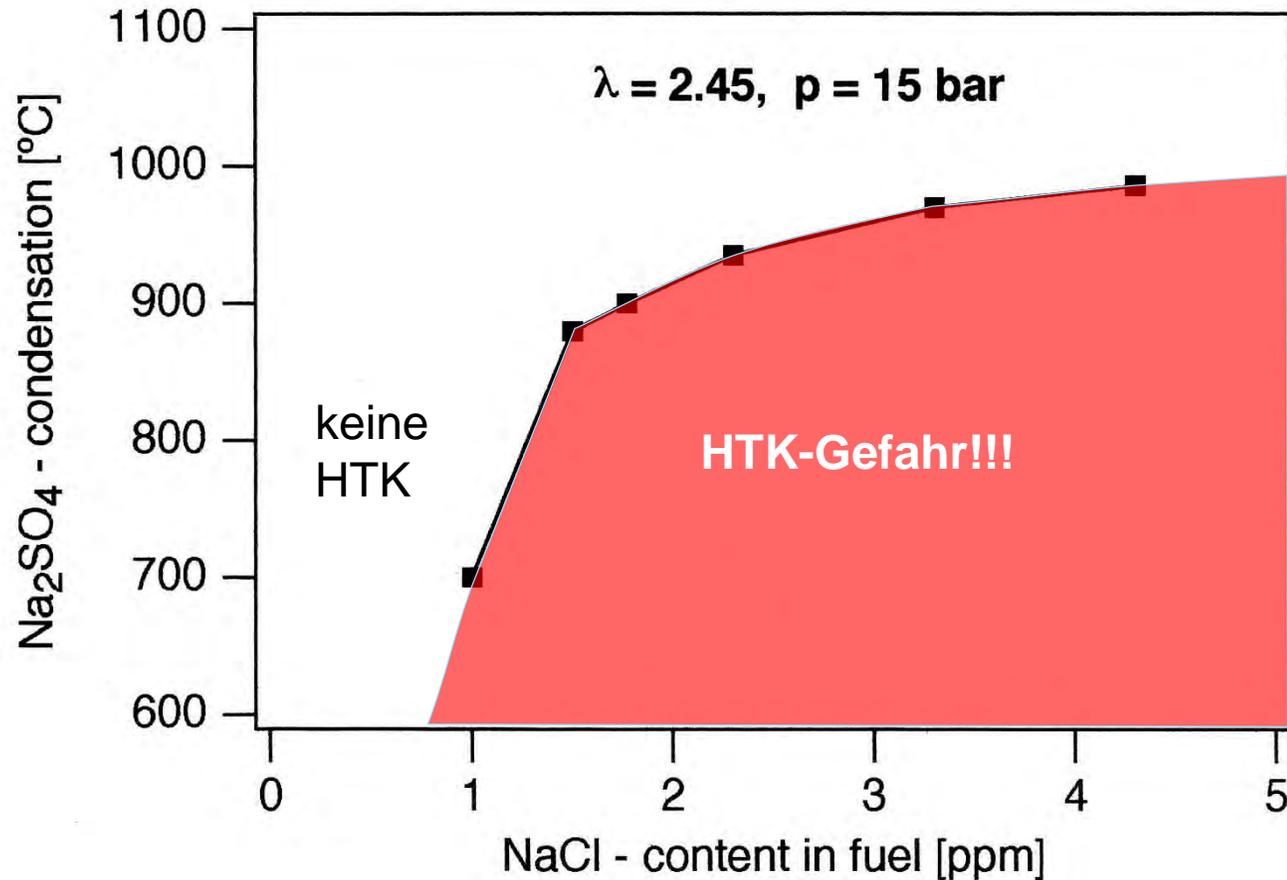
Schadenursache:

- Verunreinigung des Brennstoffes (Dieselöl) mit Meerwasser

ABHILFEMAßNAHME BEISPIEL A

SPEZIFIKATION DES BRENNSTOFFS EINHALTEN (< 0,5 PPM NA + K)

Kondensationstemperatur von Na₂SO₄ auf GT-Schaufeln der 1. Stufe



Betriebstemperatur auf den
Schaufeloberflächen ca. 900 °C
→ NaCl-Gehalt von > 2 ppm nötig, um
HTK auszulösen

SCHADENBEISPIEL B (1/3)

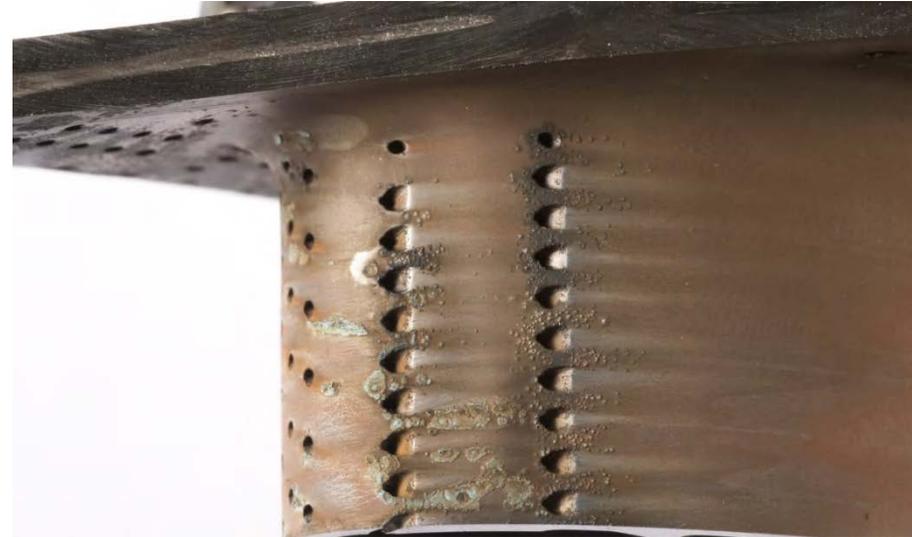
Hochtemperaturkorrosion in der ersten Stufe einer 50 MW Gasturbine nach ca. 200 Betriebsstunden



Leitschaufeln 1.Stufe

SCHADENBEISPIEL B (2/3)

Korrosion auch im Inneren der Schaufel



Leitschaufeln 1.Stufe

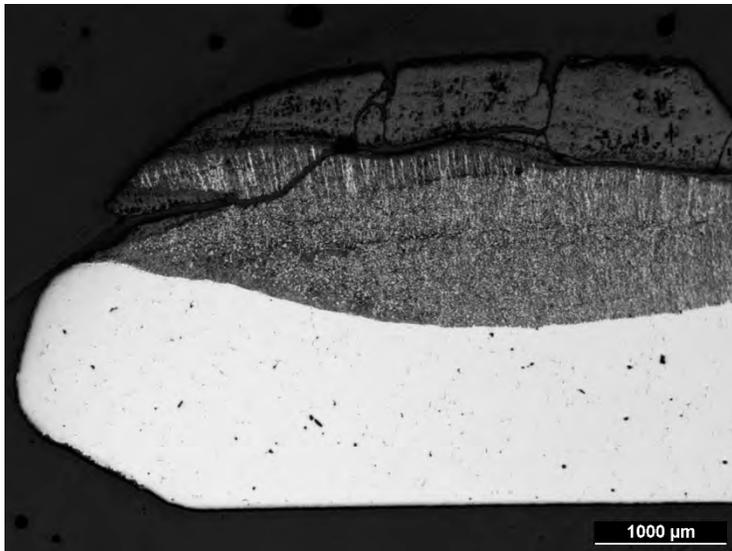
SCHADENBEISPIEL B (3/3)



Bei den Deckplatten war bereits mehr als die Hälfte des Materials korrodiert /oxidiert

- Austausch unumgänglich

Deckplatte 1.Stufe



- Die Schadenursache konnte nicht final geklärt werden.
- Sehr wahrscheinlich handelte es sich um ein stark verschmutztes Einspritzwasser in die Brennkammer.

SCHADENBEISPIEL C



Ursache:

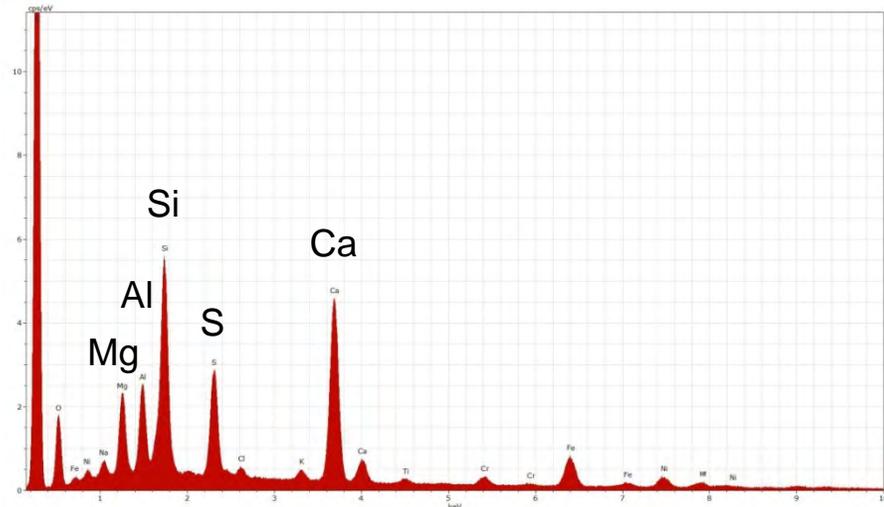
- Ein Sandsturm verursachte infolge fehlerhaft montierter Filter den Eintrag großer Sandmengen in den Verdichter und in das Kühlsystem der Turbine.

Ablagerungen auch im Inneren der Schaufeln gefunden

Laufschaufeln der 1.Stufe



LABORANALYSEN

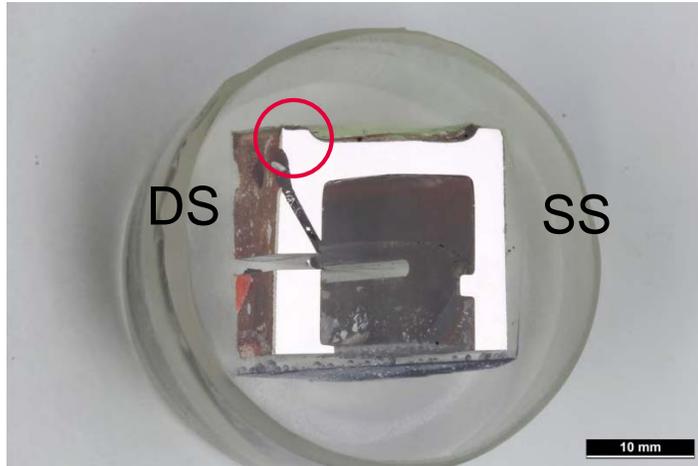


- Innere Ablagerungen enthalten Schwefel (S)
- Risiko für Hochtemperaturkorrosion?

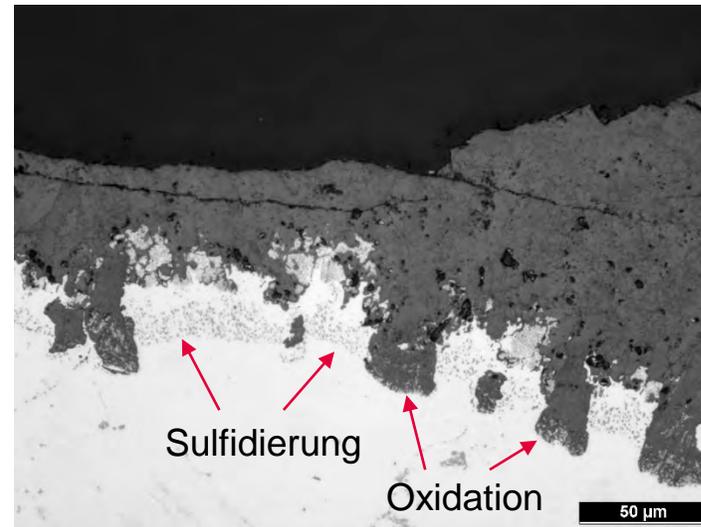
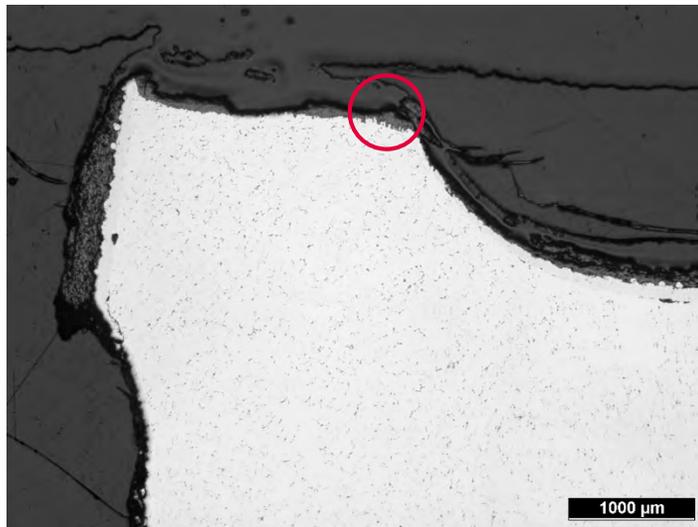
Komponenten	Prozentsatz
Amorph	ca. 20
CaSO ₄	26,7
CaMgSi ₂ O ₆	17,5
Ca ₂ Al ₂ SiO ₇	7,4
Fe ₂ O ₃	8,0
CaCO ₃	11,8
SiO ₂	2,5
KAl ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH) ₂	-
NaAlSi ₃ O ₈	-
Hornblende	-
CaMg(CO ₃) ₂	6,1

→ Gefundene Verbindungen lösen keine HTK aus!!

ANALYSE EINES METALLISCHEN SCHLIFFES (1/2)

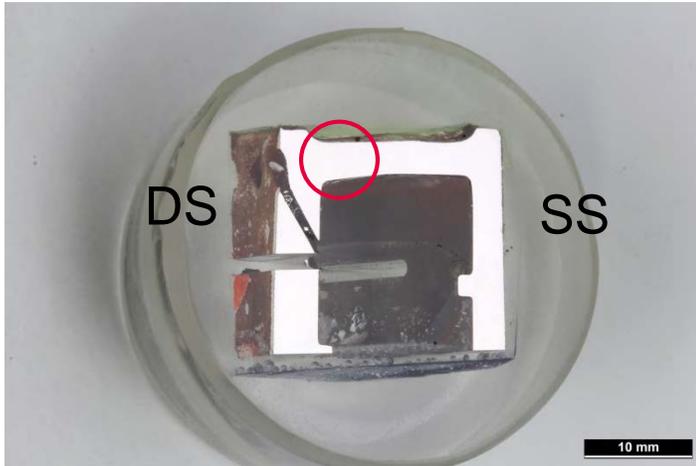


- Sulfidierung (Heißgaskorrosion) an der Spitze des Schaufelfußes < 100µm

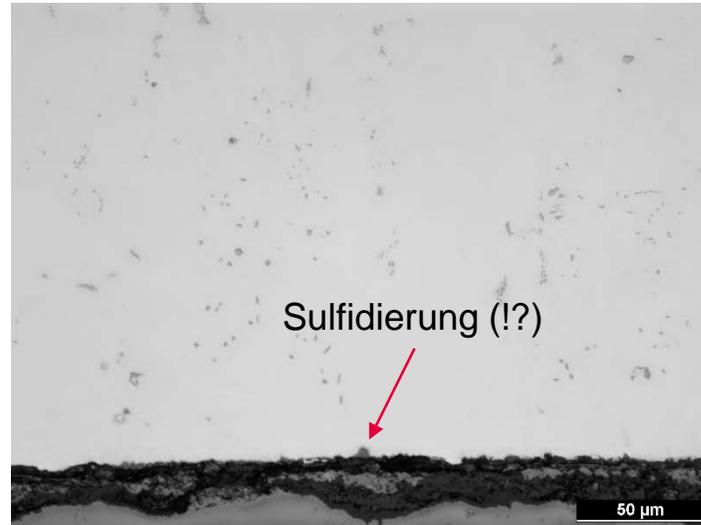
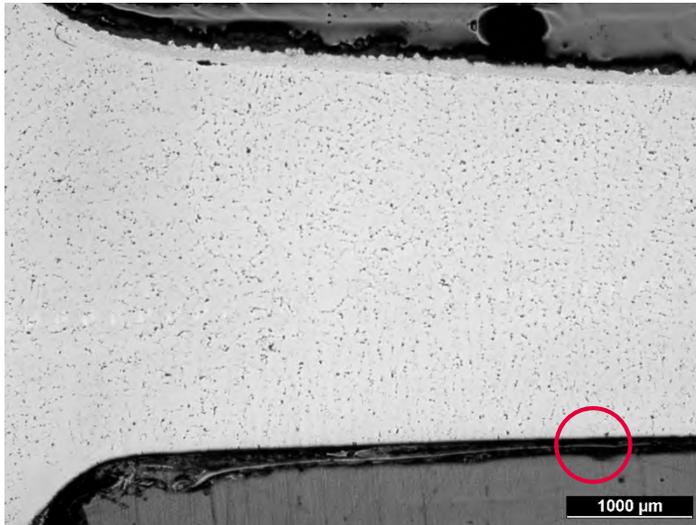


Laufschaufeln der 1.Stufe

ANALYSE EINES METALLISCHEN SCHLIFFES (2/2)



- Kleiner Punkt mit Sulfidierung (!?) auf der Innenseite des Schaufelfußes, < 3µm
- Ist die Schaufel reparierbar?
AZT „ja“,
Hersteller „nein“

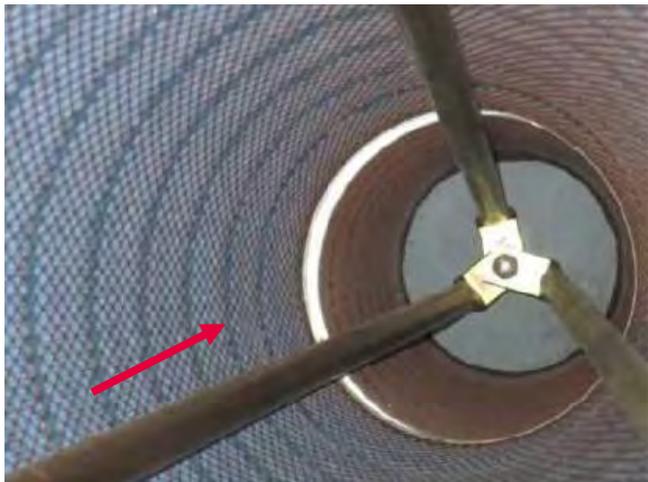


Laufschaufeln der 1.Stufe

SCHADENBEISPIEL D



Deckplatte der 1. Stufe



Vorderseite

Ursache:

- Gasturbine in der Nähe einer Mine gelegen
- Fehlerhaft montierte Filter lassen Staubpartikel in Gasturbine

→ Eintrag von Na, S und K



Rückseite



04

LESSONS LEARNED



LESSONS LEARNED (1/2)

- Bei Gasturbinen ist die sulfat-induzierte Heißgaskorrosion ein bedeutender Schadensmechanismus und kann auch nach kurzer Betriebszeit schon zu hohen wirtschaftlichen Schäden führen.
- Für die sulfat-induzierte Heißgaskorrosion ist die Existenz von schmelzflüssigen Alkalisulfaten auf den Bauteiloberflächen notwendig. Diese Bedingung wird in bestimmten Temperaturintervallen, Druckverhältnissen und Konzentrationsbereichen der notwendigen Verunreinigungen erfüllt.
- Es gibt verschiedene Möglichkeiten (Wasser, Luft, Brennstoff), wie die korrosionsauslösenden Verunreinigungen in eine Gasturbine gelangen können. Zu deren Verhinderung sollte eine kontinuierliche Überprüfung der zugeführten Stoffströme durchgeführt werden.

ABHILFEMAßNAHMEN

1. Ansaugluft:

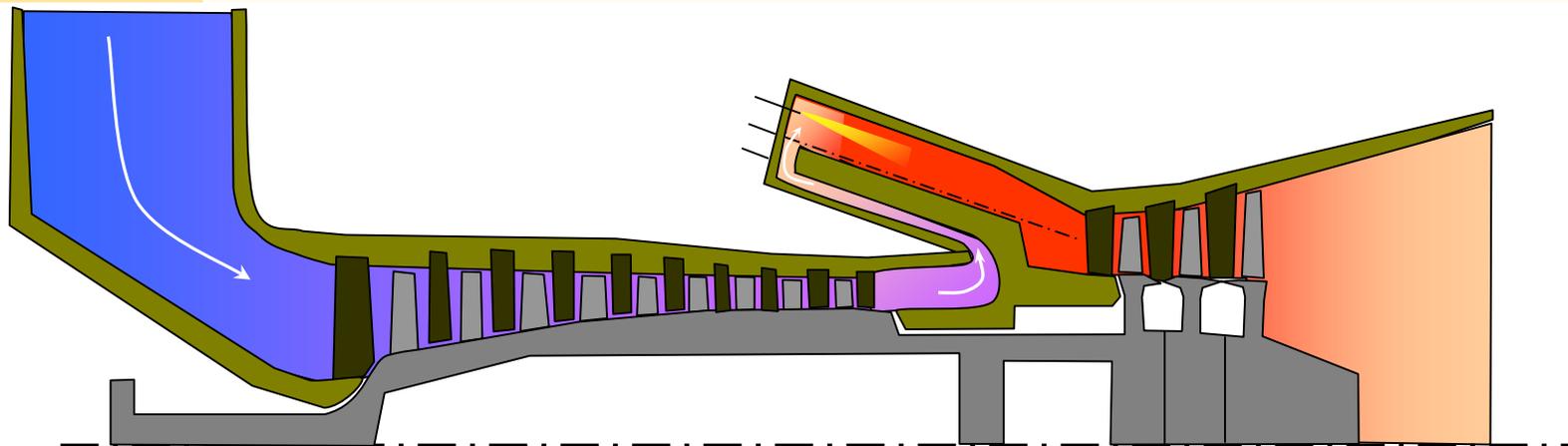
- Ordnungsgemäßer Einbau der Filter
- Regelmäßige Kontrolle der eingesetzten Filter
- Einsatz angepasster Filter

2/3. Einspritzwasser:

- Kontinuierliche Überwachung des Wassers
- Kontrolle der Wasseraufbereitung

4. Brennstoff:

- Wahl eines geeigneten Brennstoffs
- Regelmäßige Kontrolle des Brennstoffs





LESSONS LEARNED (2/2)

- Sobald sich einmal eine Heißgaskorrosion in einer Gasturbine ausgebildet hat, ist sie **nicht mehr** aufzuhalten. Das Material muss dann so weit abgetragen werden, dass keine Sulfide mehr im Gefüge verbleiben sind.
- Schutzschichten gegen Heißgaskorrosion bieten einen gewissen Schutz, aber nur so lange sie unversehrt sind.
- Bei häufigen An- und Abfahrten kann es jedoch zu Rissen in den Schutzschichten kommen.
- Bei manchen äußerlichen Szenarien wie einem Sandsturm ist der einzig sinnvolle Schutz der Gasturbine das Abschalten.



Dr. Johannes Stoiber

Geschäftsführung

Allianz Risk Consulting GmbH
Allianz Zentrum für Technik

Telefon: +49 893 800 6329

Email: johannes.stoiber@allianz.com



Dr. Bernhard Persigehl

Turbomaschinen, Kraftwerkstechnik

Allianz Risk Consulting GmbH
Allianz Zentrum für Technik

Telefon: +49 89 3800 13702

Email: bernhard.persigehl@allianz.com

VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT!

© Allianz Global Corporate & Specialty SE 2018.

All rights reserved. Information contained in this document is provided without liability for information purposes only and is subject to change without notice. No representation or warranty is given or to be implied as to the completeness of information or fitness for any particular purpose. Reproduction, use or disclosure to third parties, without express written authority, is prohibited.