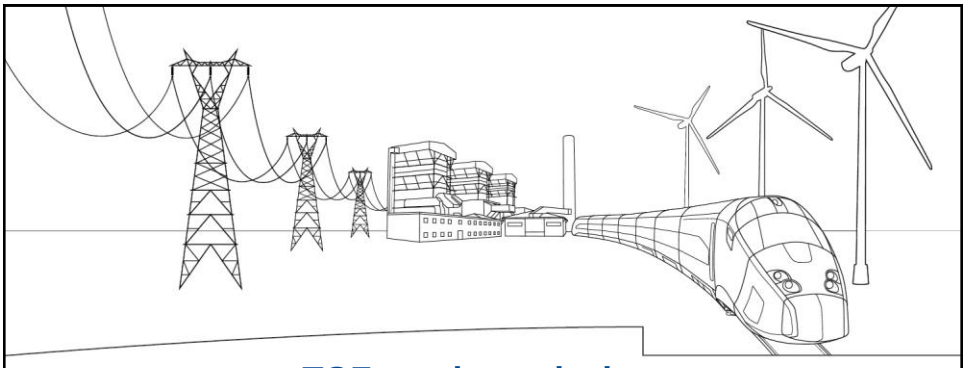
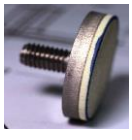


TGF von keramischen Wärmedämmschichten

K.F. Stärk, C.M. Maggi, U. Krasselt, H.-P. Bossmann

Bad Neuenahr, 3./4. 12. 2015

ALSTOM
Shaping the future



TGF von keramischen Wärmedämmschichten

Gliederung

- Definitionen und Zielsetzungen
- Probe, Probenhalter und Kühlung
- Brenner und Zündung
- Pyrometer und Hubtisch
- Prüfstand
- Überwachung und Speicherung
- Steuerung und Messungen
- Zusammenfassung

ALSTOM

TGF von keramischen Wärmedämmschichten

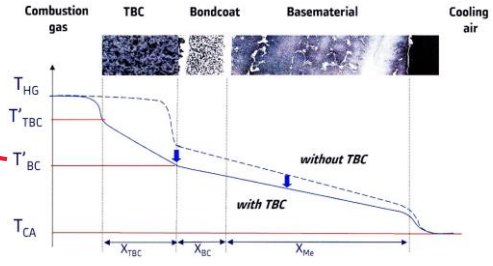
Zielsetzungen für Entwicklungsprojekt

- Prüfung von TBC-beschichteten Proben (Entwicklung)
- Prüfung von TBC-beschichteten Proben (Fertigung)
- Prüfung von TBC-beschichteten Proben (ex-service)
- TBC-Oberflächen-Temperatur bis 1250°C
- TBC-Substrat-Temperatur 600-900°C
- Steady state Haltezeiten bis 30 Minuten
- Soviel Proben wie möglich

ALSTOM

TGF von keramischen Wärmedämmschichten

Definitionen



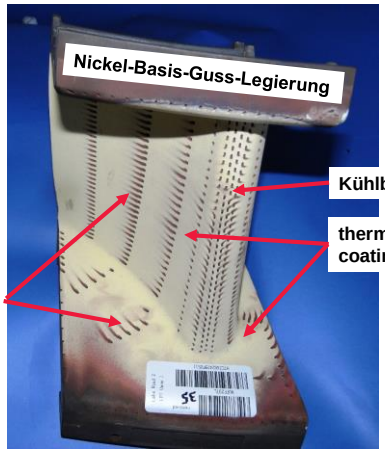
innengekühlte Laufschaufel aus Nickel-Basis-Legierung (Feinguss)

TGF thermal gradient fatigue
Ermüdungsbeanspruchung durch thermische Gradienten

ALSTOM

TGF von keramischen Wärmedämmschichten

Definitionen



innengekühlte Gasturbinen-Leitschaufel mit Filmkühlung (ex-service)

ohne Kühlung kein Temperaturgradient und keine TBC-Temperaturen >1000°C !!

ALSTOM

TGF von keramischen Wärmedämmschichten

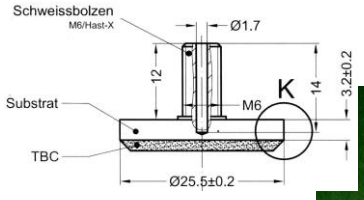
Gliederung

- Definitionen und Zielsetzungen
- Probe, Probenhalter und Kühlung

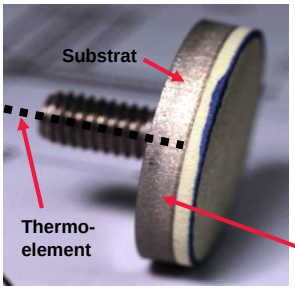
ALSTOM

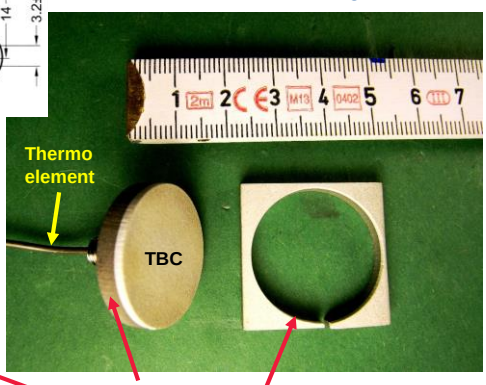
TGF von keramischen Wärmedämmschichten

burner rig Probe



Probenvorbereitung





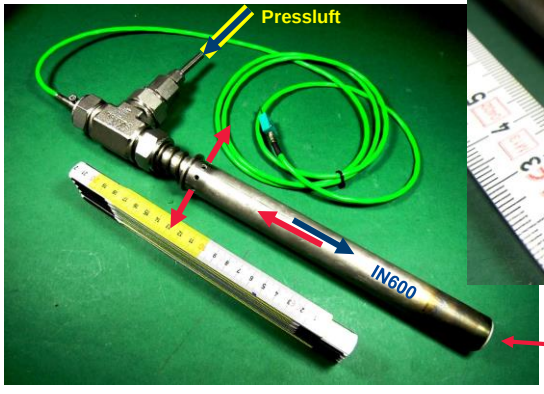
Wasserstrahlschnitt

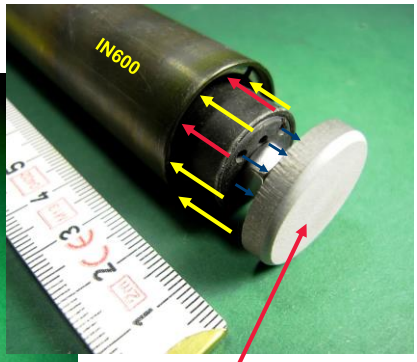
ALSTOM

TGF von keramischen Wärmedämmschichten

Probenhalter

<u>individuell</u> temperaturgeregelte Pressluftkühlung durch 10 Proportionalventile





TBC-Probe

ALSTOM

TGF von keramischen Wärmedämmschichten

Gliederung

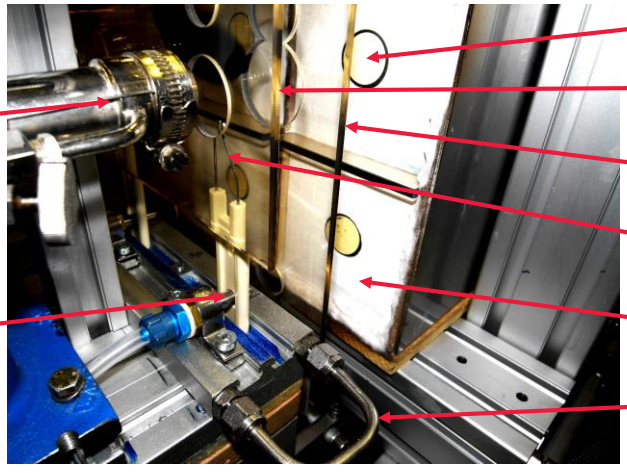
- Definitionen und Zielsetzungen
- Probe, Probenhalter und Kühlung
- Brenner und Zündung

ALSTOM

TGF von keramischen Wärmedämmschichten

Brenner

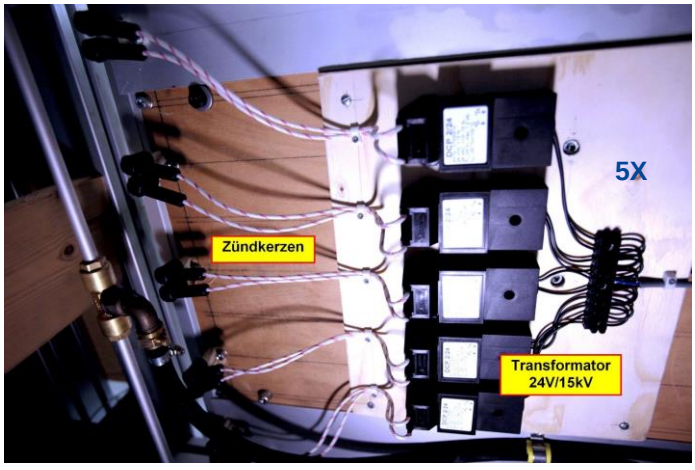
(Leistung, Abstand, Brennfleck, Regelbarkeit)



ALSTOM

TGF von keramischen Wärmedämmschichten

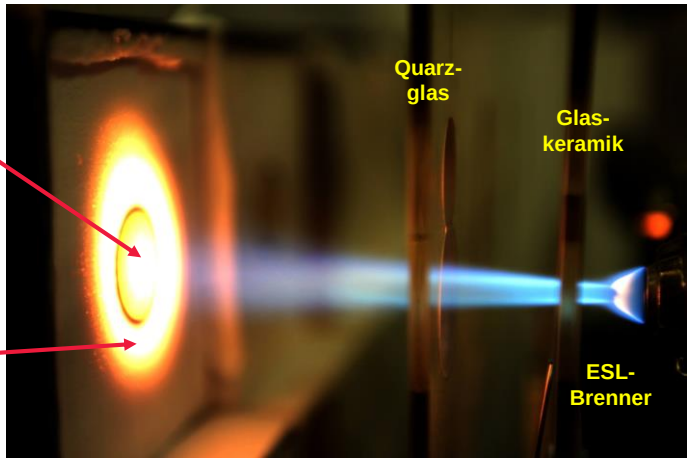
Hochspannungszündung
(Funkenstrecke, Pilotflamme)



ALSTOM

TGF von keramischen Wärmedämmschichten

ESL-Brenner (max. 20 kW)
Erdgas – Sauerstoff - (Press-) Luft



ALSTOM

TGF von keramischen Wärmedämmschichten

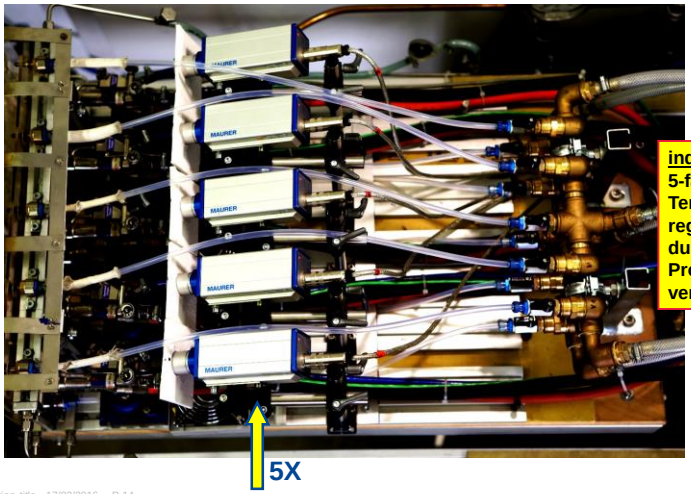
Gliederung

- Definitionen und Zielsetzungen
- Probe, Probenhalter und Kühlung
- Brenner und Zündung
- **Pyrometer und Hubtisch**

ALSTOM

TGF von keramischen Wärmedämmschichten

Pyrometer (langwellig 8-9 µm)

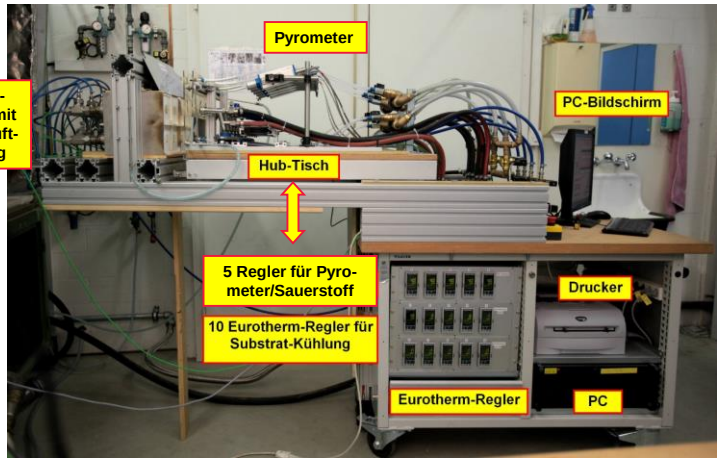


individuelle 5-fach TBC-Temperatur-regelungen durch 5 O_2-Proportional-ventile

ALSTOM

TGF von keramischen Wärmedämmschichten

Hubtisch (Schrittmotor)



ALSTOM

TGF von keramischen Wärmedämmschichten

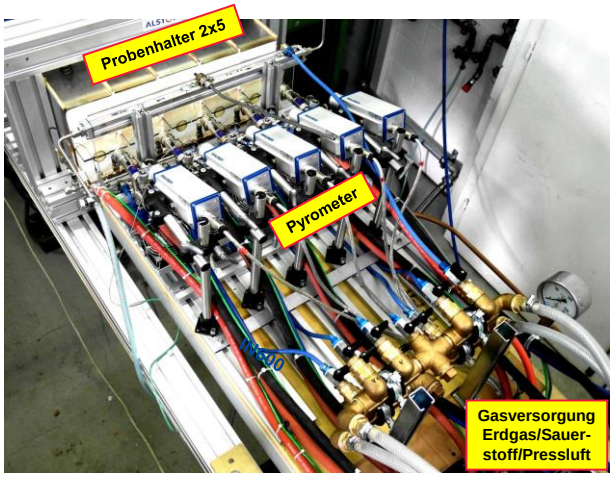
Gliederung

- Definitionen und Zielsetzungen
- Probe, Probenhalter und Kühlung
- Brenner und Zündung
- Pyrometer und Hubtisch
- Prüfstand

ALSTOM

TGF von keramischen Wärmedämmschichten

Prüfstand



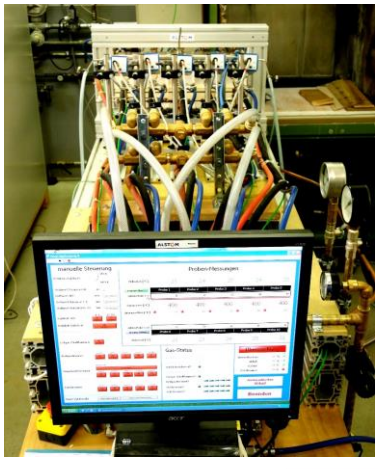
ALSTOM

TGF von keramischen Wärmedämmschichten

Prüfstand

im Betrieb

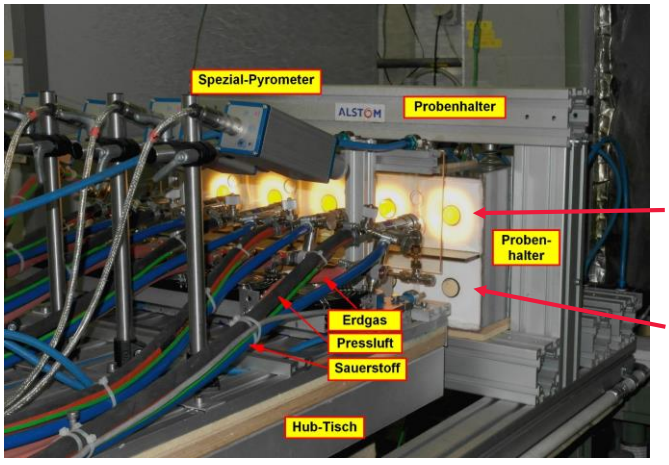
Steuerung



ALSTOM

TGF von keramischen Wärmedämmschichten

Prüfstand (Betriebszustand)



Hubtisch
oben

d.h.

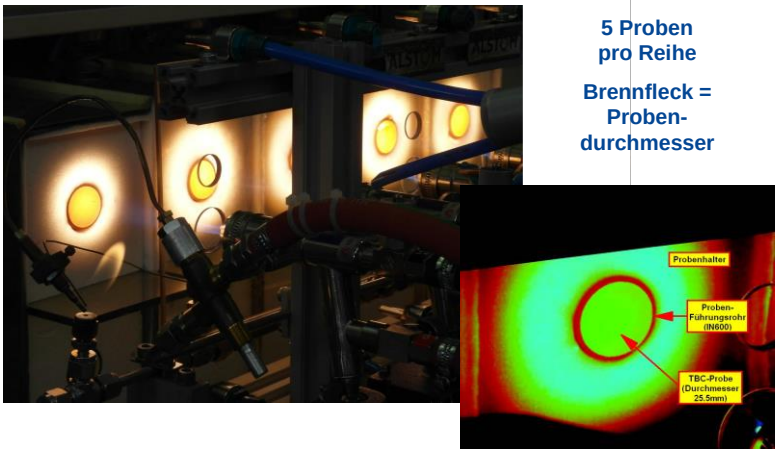
obere
Reihe 1-5
heizen

untere
Reihe 6-10
kühlen

ALSTOM

TGF von keramischen Wärmedämmschichten

Prüfstand



5 Proben
pro Reihe

Brennfleck =
Proben-
durchmesser

ALSTOM

TGF von keramischen Wärmedämmschichten

Gliederung

- Definitionen und Zielsetzungen
- Probe, Probenhalter und Kühlung
- Brenner und Zündung
- Pyrometer und Hubtisch
- Prüfstand
- Überwachung und Speicherung

ALSTOM

TGF von keramischen Wärmedämmschichten

Überwachung

Prüfstand- und Brennertemperaturen

+ Kühlwasser Alu-Profile
+ Kabine
+ Abgas
+ Kamin
+ Brennerkopf (5x)
+ Pyrometer (3x)
+ Frontplatten (6x)

Probentemperaturen

+ Max. Temperatur Substrat (10x)
+ Aufheizgeschwindigkeit Substrat (10x)
+ Aufheizgeschwindigkeit TBC (10x)

zur

Brennerüberwachung und TBC-Versagensanalyse

ALSTOM

TGF von keramischen Wärmedämmschichten

Speicherung

Steuerprogramm (auf Befehl)

+ Ist-Zeit und ges. Laufzeit
+ Individuelle Zyklenzahlen (10x)
+ Substrat-Temperaturen (10x)
+ TBC-Temperaturen (10x)
+ Substrat-Solltemperatur
+ TBC-Solltemperatur
+ Aufheizgradient Substrat (10x)
+ Operator-Kommentare

Operator (on demand alle 3s)

+ Ist-Zeit und ges. Laufzeit
+ Individuelle Zyklenzahlen (10x)
+ Substrat-Temperaturen (10x)
+ TBC-Temperaturen (10x)
+ TBC-Solltemperatur

ALSTOM

TGF von keramischen Wärmedämmschichten

Gliederung

- Definitionen und Zielsetzungen
- Probe, Probenhalter und Kühlung
- Brenner und Zündung
- Pyrometer und Hubtisch
- Prüfstand
- Überwachung und Speicherung
- Steuerung und Messungen

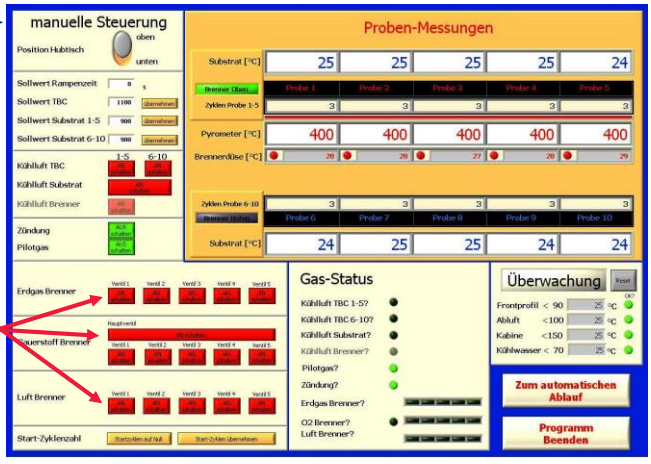
ALSTOM

TGF von keramischen Wärmedämmschichten

LabView gesteuerter
<u>manueller</u> Ablauf

Soll-Werte

Hand-steuerung aller Ventile



Proben

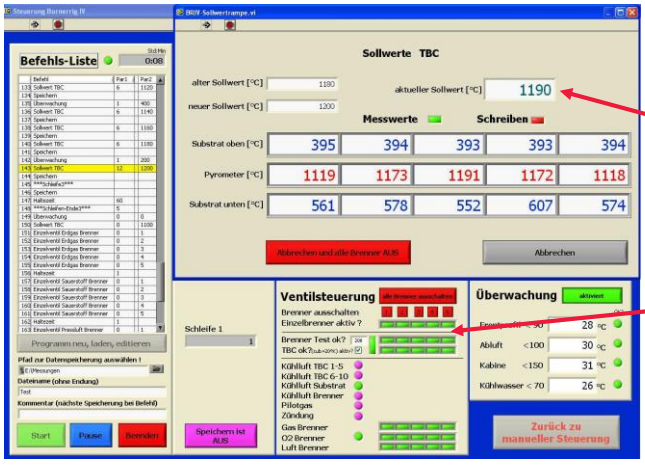
1 ÷ 5

6 ÷ 10

ALSTOM

TGF von keramischen Wärmedämmschichten

LabView gesteuerter
<u>automatischer</u> Ablauf



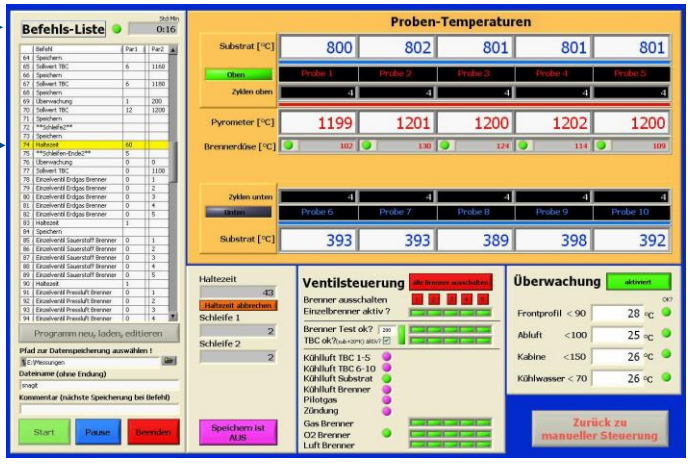
stufenweises Anheben auf TBC-Sollwert

Brenner- und TBC-Über-wachung

ALSTOM

TGF von keramischen Wärmedämmschichten

LabView gesteuerter
<u>automatischer</u> Ablauf 1200/800 °C



Pro-gramm Ablauf-steue-rung

Proben

oben
1 ÷ 5
heizen

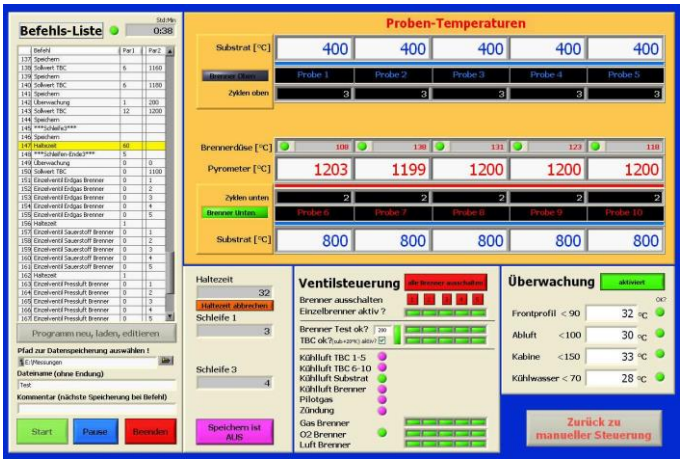
unten
6 ÷ 10
kühlen

Prüf-stand-über-wachung

ALSTOM

TGF von keramischen Wärmedämmschichten

LabView gesteuerter
<u>automatischer</u> Ablauf



oben
1 ÷ 5
kühlen

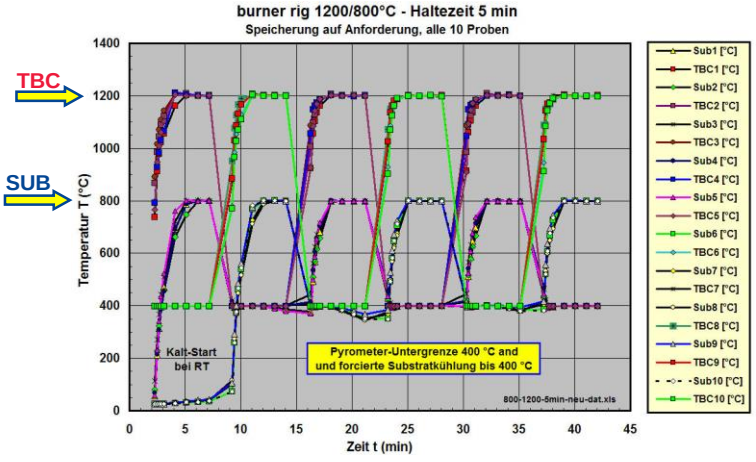
unten
6 ÷ 10
heizen

Proben

ALSTOM

TGF von keramischen Wärmedämmschichten

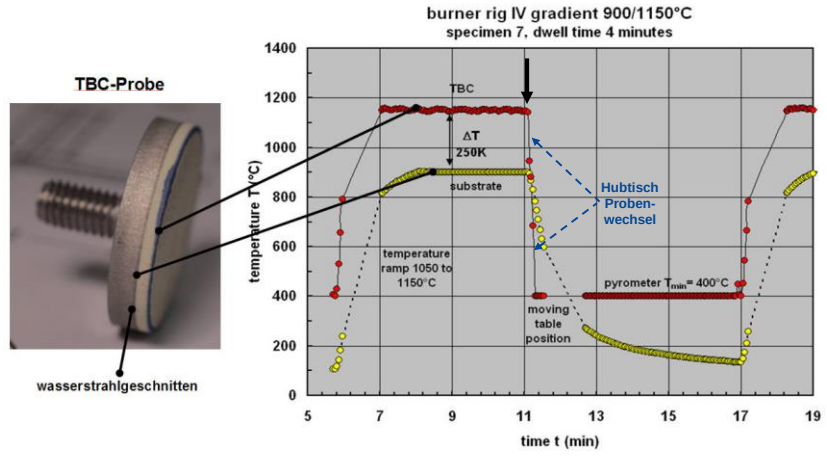
Messungen



ALSTOM

TGF von keramischen Wärmedämmschichten

Messungen

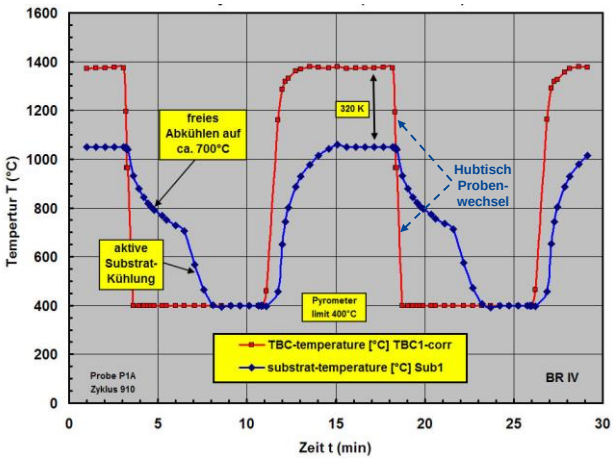


ALSTOM

TGF von keramischen Wärmedämmschichten

Messungen

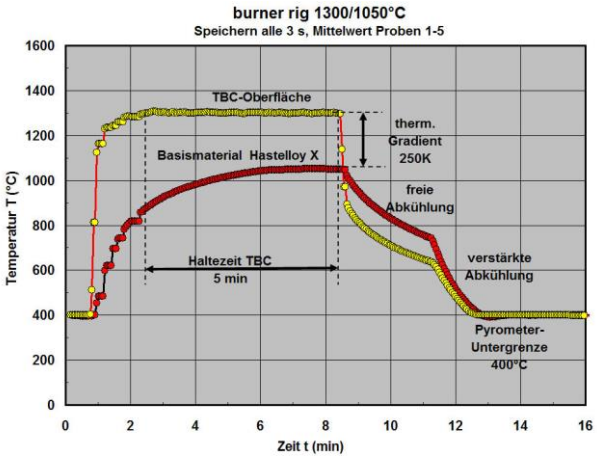
1370/1050 °C 5 min Haltezeit



ALSTOM

TGF von keramischen Wärmedämmschichten

Messungen

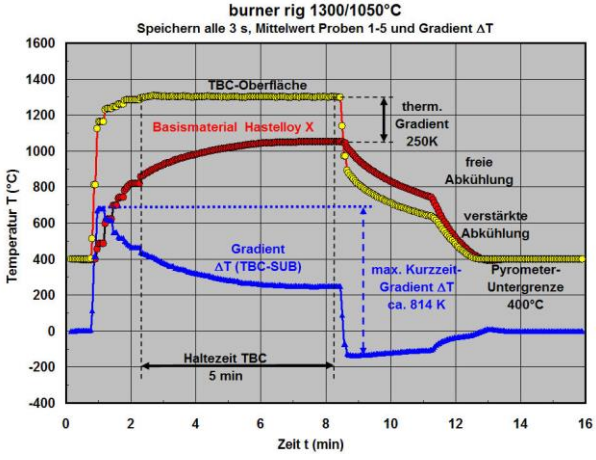


Kalt-Start

ALSTOM

TGF von keramischen Wärmedämmschichten

Messungen



Kalt-Start

ALSTOM

TGF von keramischen Wärmedämmschichten

Gliederung

- Definitionen und Zielsetzungen
- Probe, Probenhalter und Kühlung
- Brenner und Zündung
- Pyrometer und Hubtisch
- Prüfstand
- Überwachung und Speicherung
- Steuerung und Messungen
- Zusammenfassung

ALSTOM

TGF von keramischen Wärmedämmschichten

Zusammenfassung

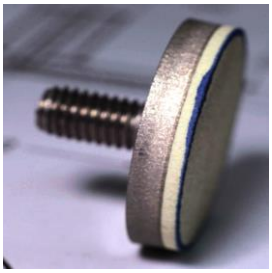
Prüfstand - IST- Parameter

Probendurchmesser	25.5mm
Probenzahl	1 bis 10
Heizung TBC	Erdgas/Luft/Sauerstoff
Kühlung Substrat	Pressluft
Maximaltemperatur TBC	1500°C
Temperatur Substrat	600-1100°C
Haltezeit	beliebig
Steuerung	LabView

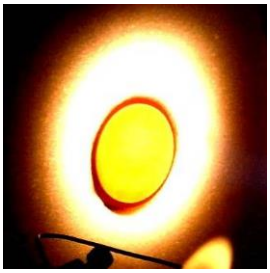
ALSTOM

Tobias Stärk Compositing/Film & Animation/ Graphic Design

ALSTOM



burner rig
Entwicklung

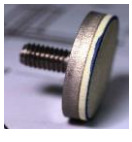


Thermal gradient fatigue von keramischen Wärmedämmschichten

Danke Thank you!

Dr.-Ing. Klaus F. Stärk Untersiggenthal/Schweiz
klaus.staerk@swissonline.ch

ALSTOM



TGF von keramischen Wärmedämmschichten

Fragen und Anregungen

an:

Dr.-Ing.
Klaus F. Stärk

Langacherstr. 11
CH-5417 Untersiggenthal/Schweiz
T. +41 (0)56 288 2467
klaus.staerk@swissonline.ch
www.staerk-erdwaerme.ch

Beratung, Messungen, Präsentationen, eigene Anlage

ALSTOM