

# Thermomechanische Simulation von feuerfesten Zustellungen

Analyse und Vermeidung von Schadensfällen  
Freiberg, 25.04.2018



**H. U. Marschall**

RHI Feuerfest GmbH, Magnesitstrasse 2, Leoben, Österreich

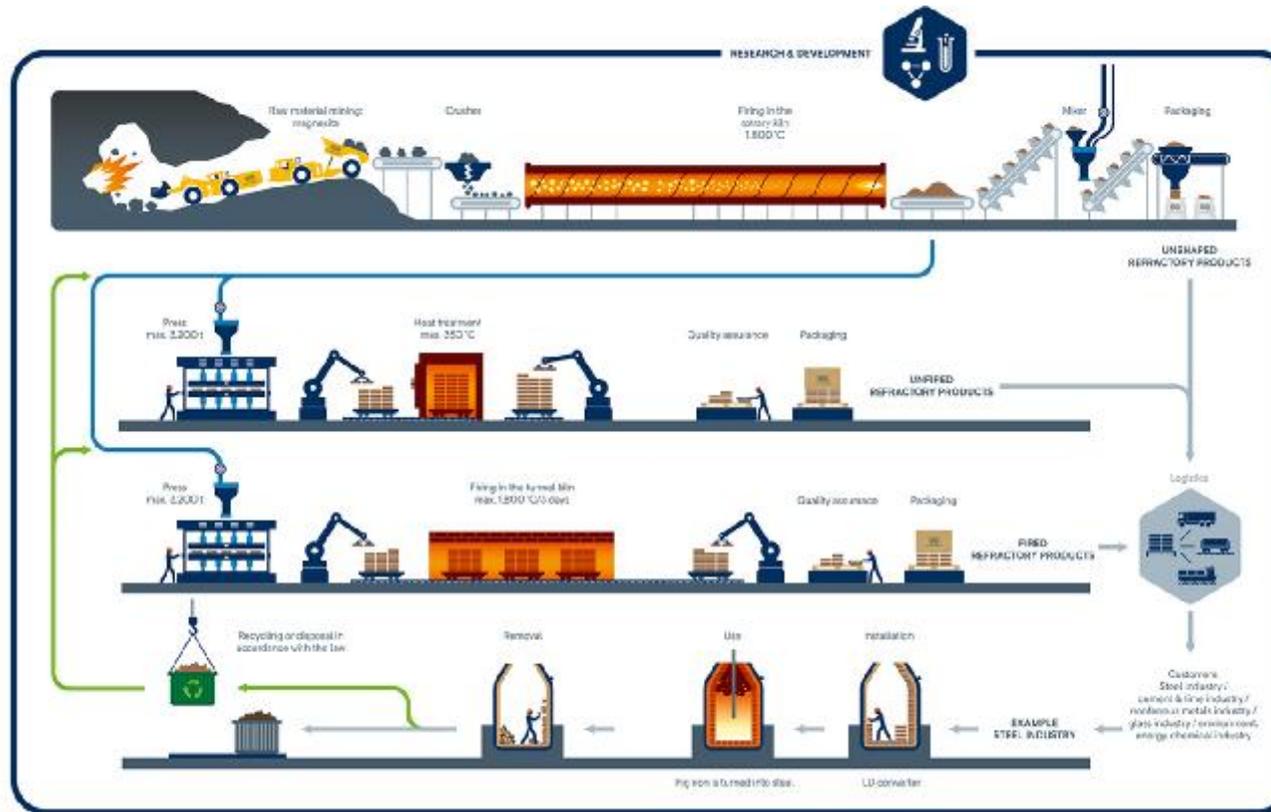
**D. Kreuzer, A. Spanring**

RHI Feuerfest GmbH, Wienerbergstrasse 9, Wien, Österreich



Einleitung

# RHI Magnesita



# RHI Magnesita



---

## Bricks



---

## Monolithics and pre casts



---

## Functional products



# RHI Magnesita



Key industries	Applications	Replacement	Costs
<b>Steel</b>	Basic oxygen-, electric arc furnace casting ladles 	20 minutes to 2 months	~3.0%
<b>Cement/Lime</b>	Rotary Kiln 	Annually	~0.5%
<b>Nonferrous metals</b>	Copper-converter 	1 – 10 years	~0.2%
<b>Glass</b>	Glass furnace 	Up to 10 years	~1.0%
<b>Energy/ Environmental/ Chemicals</b>	Secondary reformer 	5 – 10 years	~1.5%

# RHI Magnesita



## Dienstleistungen

§ ...

§ Konstruktion

§ Simulation

§ Strömungssimulationen

§ Thermochemische Simulationen

§ Finite Elemente Analyse

§ Spannungen und Dehnungen

§ Optimierung

§ Analyse und Vermeidung von Schadensfällen



Key Industries	Applications	Replacement	Costs
Steel	Basic oxygen, electric arc furnace casting ladles 	20 months to 2 months	-3.0%
Cement/Lime	Rotary Kiln 	Annually	-0.5%
Nonferrous metals	Copper converter 	1 – 10 years	-0.2%
Glass	Glass furnace 	Up to 10 years	-1.0%
Energy/ Environmental/ Chemicals	Secondary reformer 	5 – 10 years	-1.5%

# Der Schadensfall



## Blei Kurztrommelofen

### § Inbetriebnahme

§ Aufheizen auf rund 1200°C

§ „slag washing“

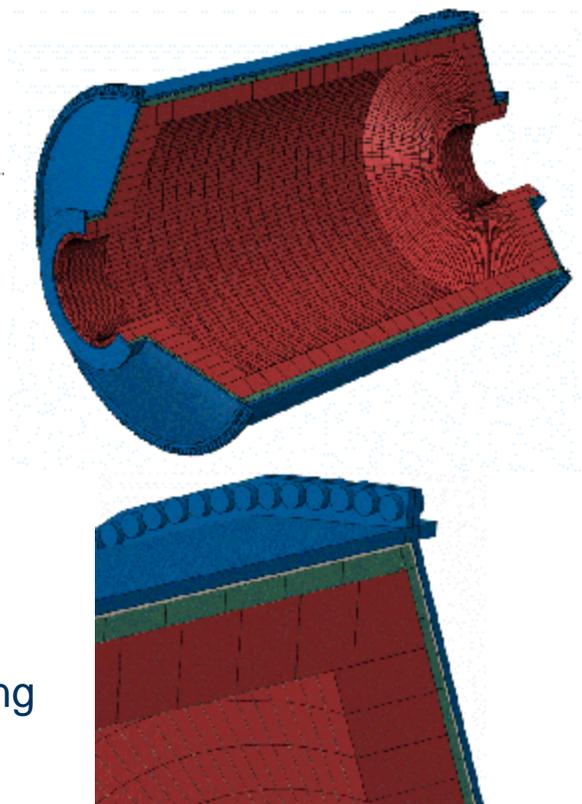
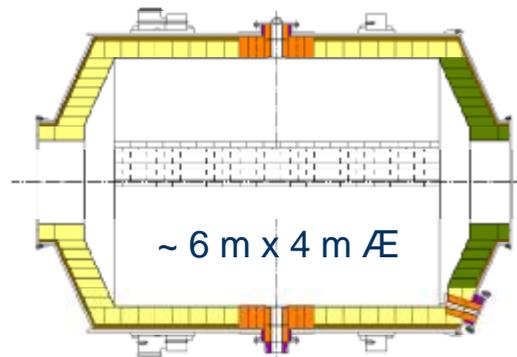
§ Betriebstemperatur rund 850°C

§ 3 Schadensfälle einige Stunden nach Ende des Aufheizens (Absprengung der Schrauben)

§ Jeder Schadensfall führt zu 12 Tagen Betriebsausfall

§ RHI Magnesita war aufgefordert Erklärungen zu finden um diese Schadensfälle zu vermeiden

§ Thermomechanische Simulation mit FEA zur Ursachenfindung



# FEA von feuerfesten Zustellungen

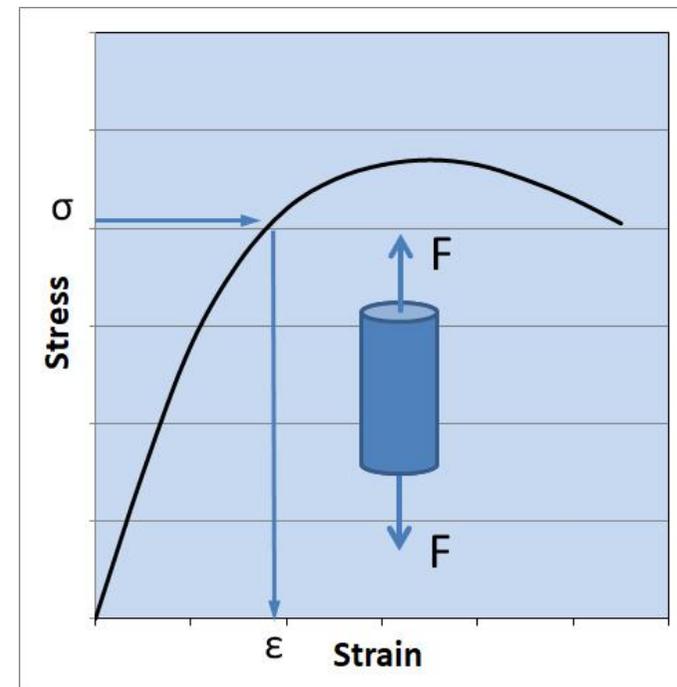
Die Herausforderung

Allgemeiner Maschinenbau:

- § Geometrie
- § Randbedingungen
- § Lasten durch **Kräfte**  
„stress controlled loads“ [1,2]
- § auftretende Spannungen **unabhängig**  
von Material

$$S = \frac{F}{A}$$

§ Vergleich mit zulässige Spannung



[1] Schacht, C (Editor) Refractories Handbook, Marcel Dekker, Inc. 2010  
[2] Schacht, C Refractory linings, themomechanical design and applications, Marcel Dekker, Inc. 2010

# FEA von feuerfesten Zustellungen

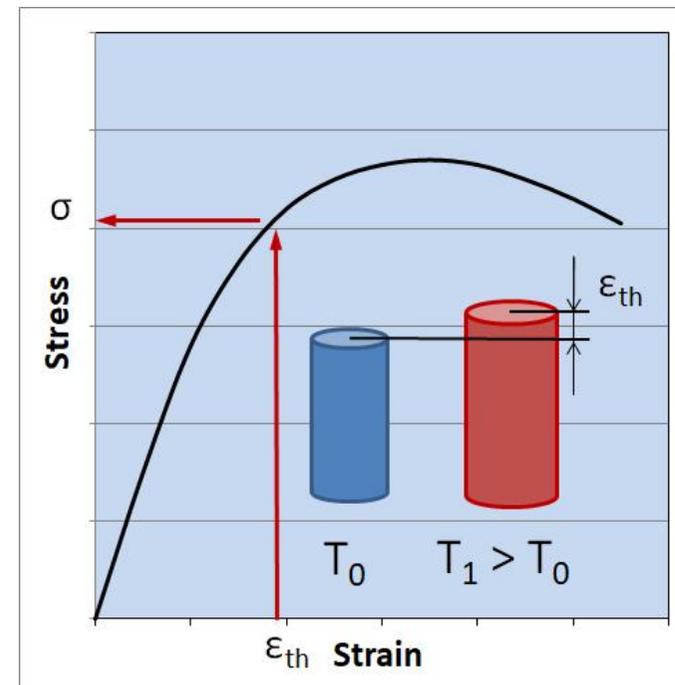
Die Herausforderung

Feuerfestbau:

- § Geometrie
- § Randbedingungen
- § Lasten durch **thermische Dehnungen**  
„strain controlled loads“ [1,2]
- § auftretende Spannungen  
**abhängig** von Material

$$s = Ee_{th}$$

§ ? Vergleich mit zulässige Spannung ?



[1] Schacht, C (Editor) Refractories Handbook, Marcel Dekker, Inc. 2010

[2] Schacht, C Refractory linings, themomechanical design and applications, Marcel Dekker, Inc. 2010

# FEA von feuerfesten Zustellungen

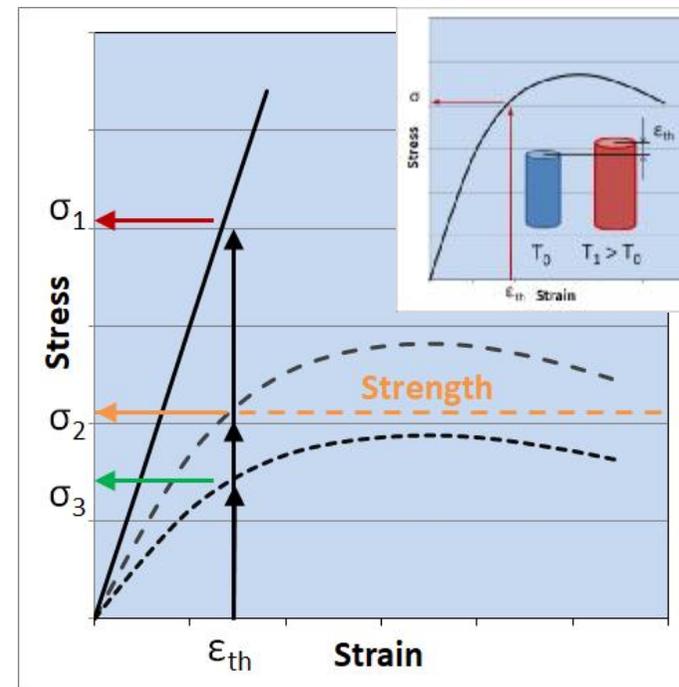
Die Herausforderung

Feuerfestbau:

- § Geometrie
- § Randbedingungen
- § Lasten durch **thermische Dehnungen**  
„strain controlled loads“ [1,2]
- § auftretende Spannungen  
**abhängig** von Material

$$s = Ee_{th}$$

§ ? Vergleich mit zulässige Spannung ?



[1] Schacht, C (Editor) Refractories Handbook, Marcel Dekker, Inc. 2010

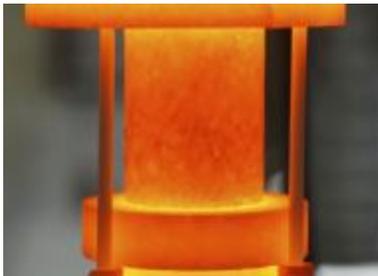
[2] Schacht, C Refractory linings, themomechanical design and applications, Marcel Dekker, Inc. 2010

# FEA von feuerfesten Zustellungen

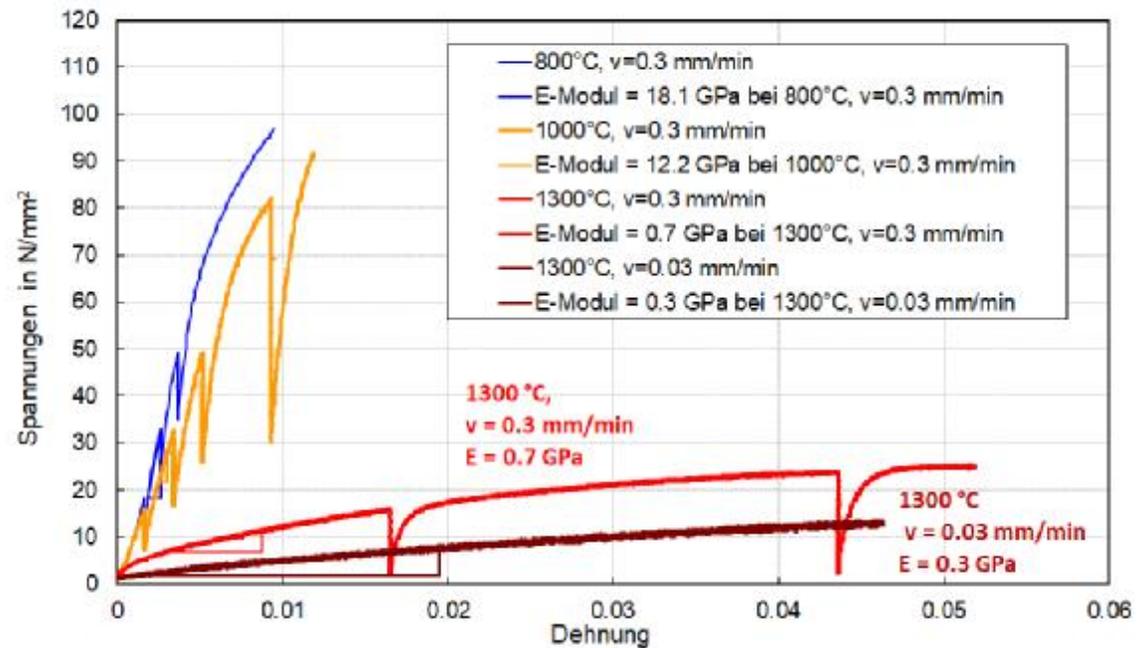
Die Herausforderung

Feuerfestbau:

§ Materialdaten:  
Druckversuch



Druckversuchsdaten

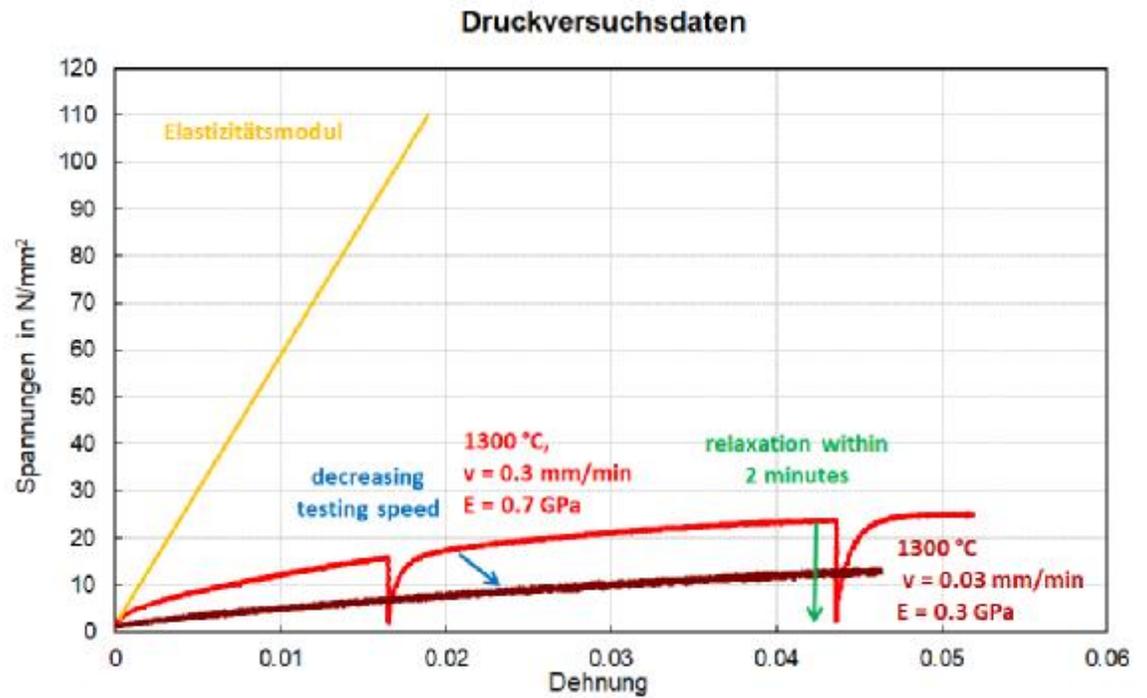


# FEA von feuerfesten Zustellungen

Die Herausforderung

Feuerfestbau:

§ Materialdaten:  
Relaxation



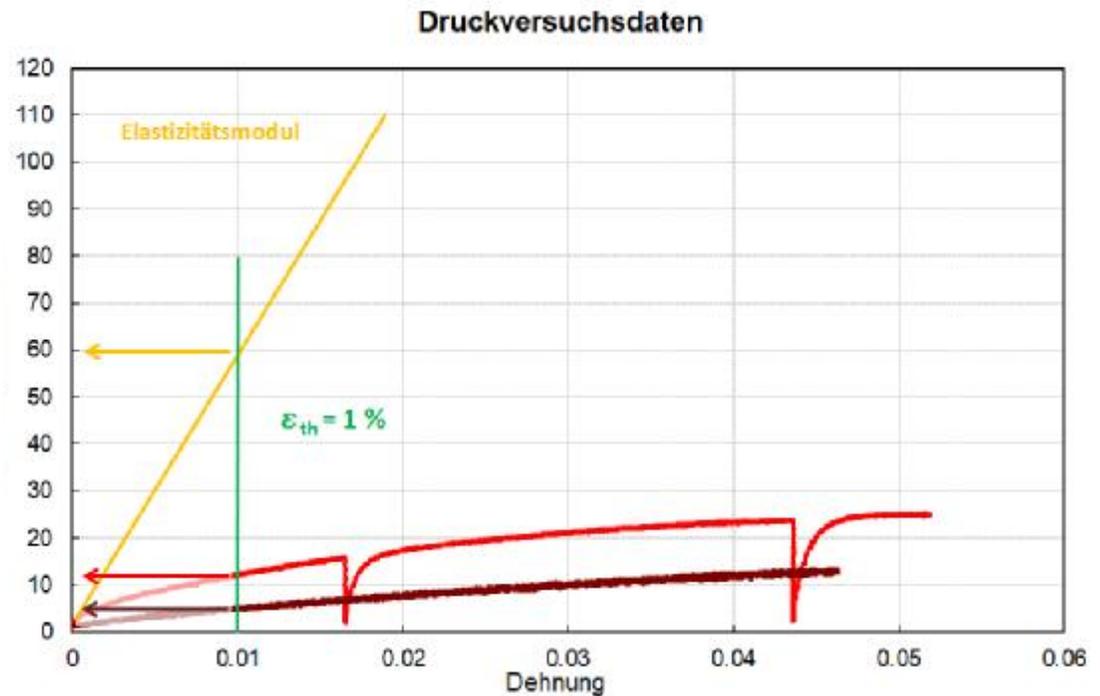
# FEA von feuerfesten Zustellungen

Die Herausforderung

Feuerfestbau:

- § Die Belastung durch thermische Dehnungen führt, abhängig von der Beschreibung des Materials, zu großen Unterschieden in den auftretenden Spannungen.
- § Die absolute Größe von Spannungen ist daher schwer vorherzusagen.

**Dennoch sind FE Simulationen in der Feuerfestindustrie ein wertvolles Werkzeug um optimale Lösungen für Kunden zu entwickeln**



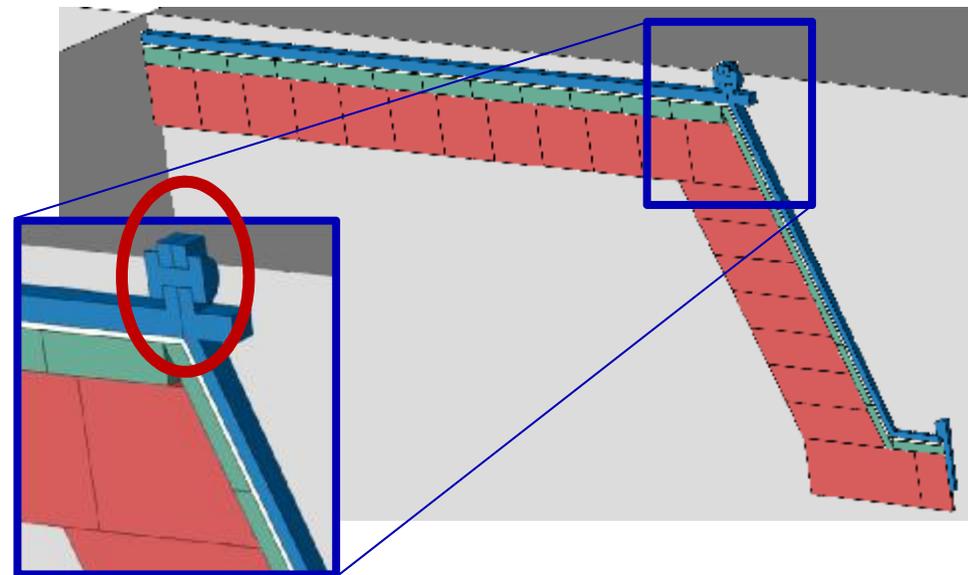
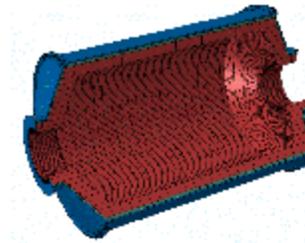
## Blei Kurztrommelofen

### Das Modell:

- § 3D Modell mit  $\frac{1}{2}$  Schraube und  $\frac{1}{2}$  Steinen im zylindrischen Teil.
- § Symmetriebedingungen und „starrten Ebenen“ zur Beschreibung der Zustellung

### Materialdaten:

- § Linear elastisch
- § Temperaturabhängig
- § Unabhängig von Zeit und Deformationsraten, keine Plastizität, Relaxation, Kriechen



## Blei Kurztrommelofen

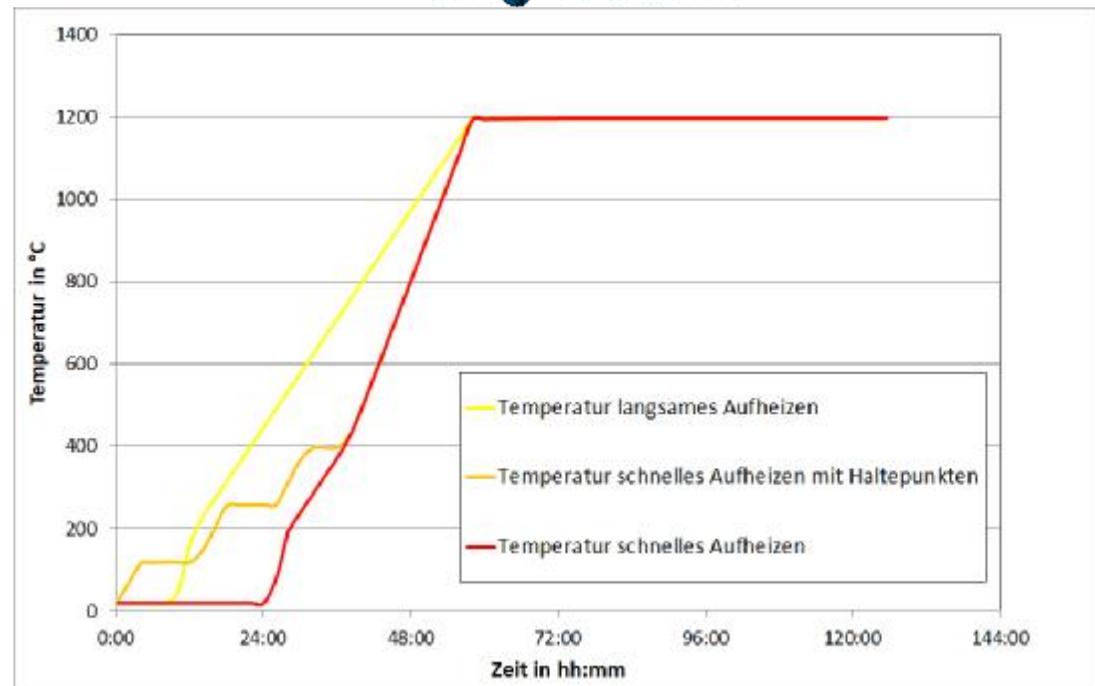
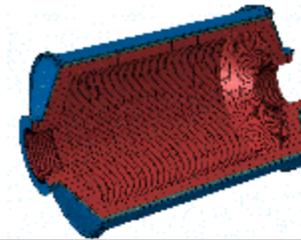
Erklärung der Schadensfälle

Die Fragen:

- § Ist ein zu schnelles Aufheizen für den Schadensfall verantwortlich ?
- § Wieso tritt der Schaden einige Stunden nach Beendigung des Aufheizvorganges auf ?

Modellierungsansatz:

- § Vergleich unterschiedlicher Aufheizkurven



# Blei Kurztrommelofen

Erklärung der Schadensfälle

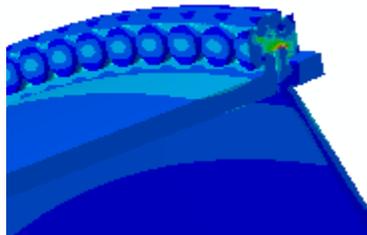
Die Fragen:

§ Ist ein zu schnelles Aufheizen für den Schadensfall verantwortlich ?

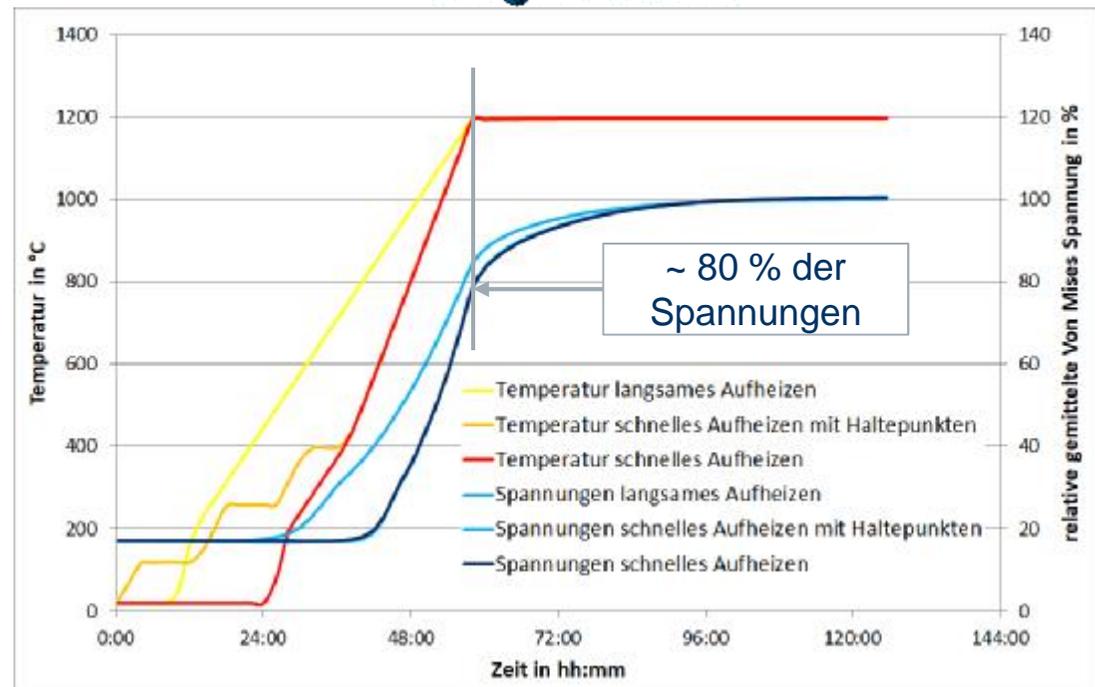
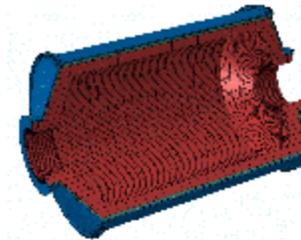
**Nein !**

§ Wieso tritt der Schaden einige Stunden nach Beendigung des Aufheizvorganges auf ?

**Zeitverzögerter Aufbau der Spannungen !**



15



## Blei Kurztrommelofen

Vermeidung neuer Schadensfälle

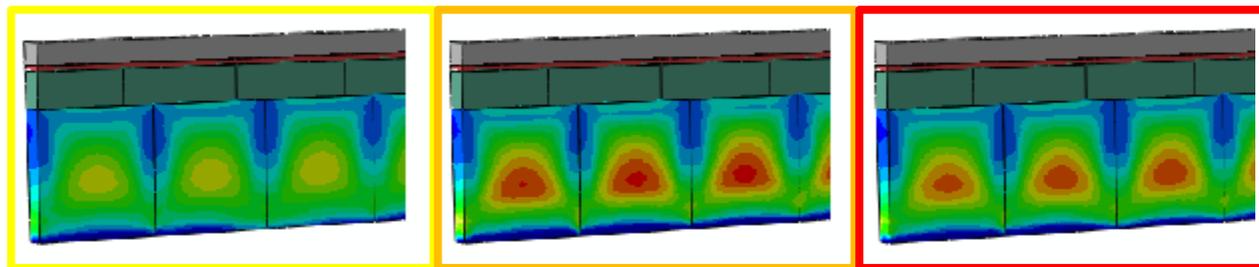
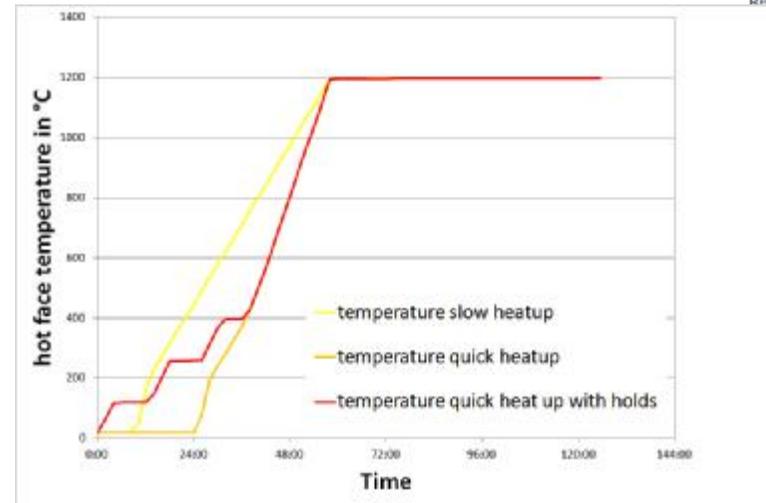
Die Fragen:

§ Ist ein zu schnelles Aufheizen für den Schadensfall verantwortlich ?

**Nein !**

§ Wieso nicht schneller Aufheizen ?

**Spannungen in den Steinen !**



Der Schadensfall

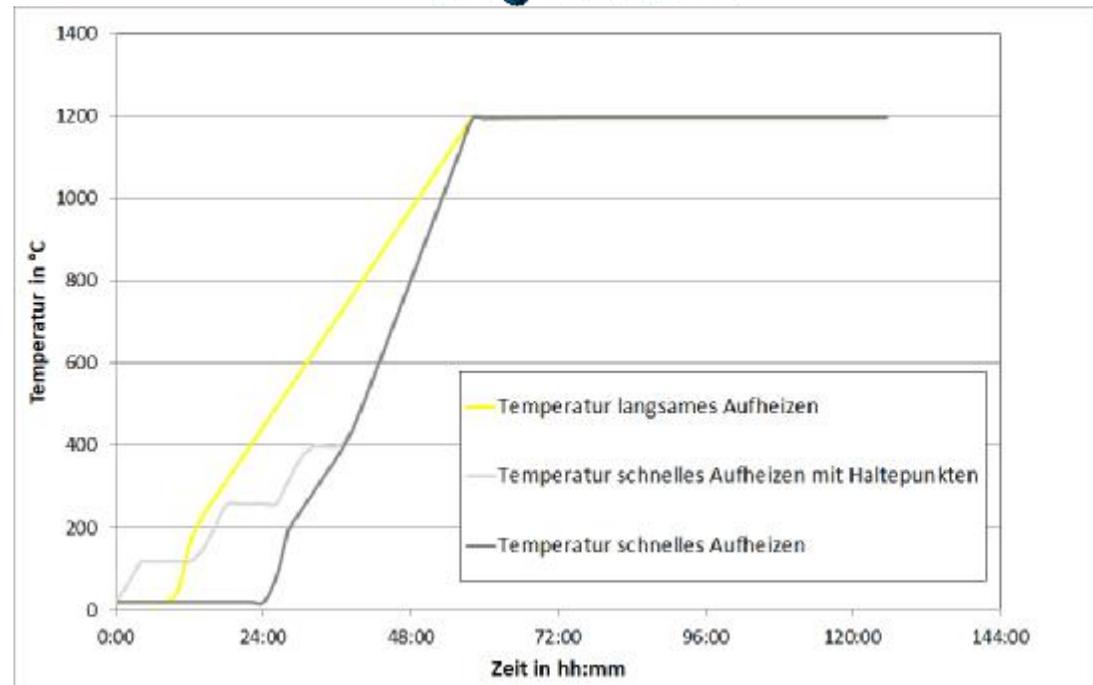
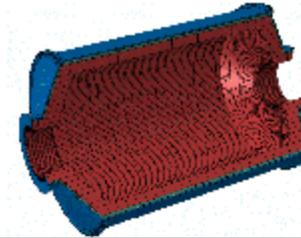
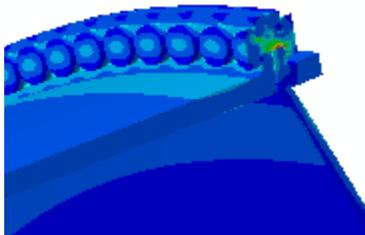
## Blei Kurztrommelofen

Vermeidung neuer Schadensfälle

Die Fragen: Maßnahmen

§ Zusätzliche Dehnfugen in den Ringen der Endwand ?

§ Zusätzliche Dehnfugen zwischen den Ringen der Endwand ?



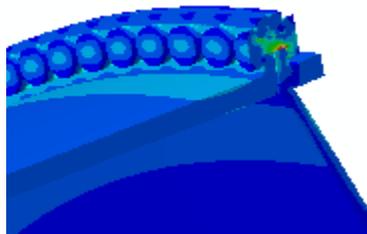
# Blei Kurztrommelofen

Vermeidung neuer Schadensfälle

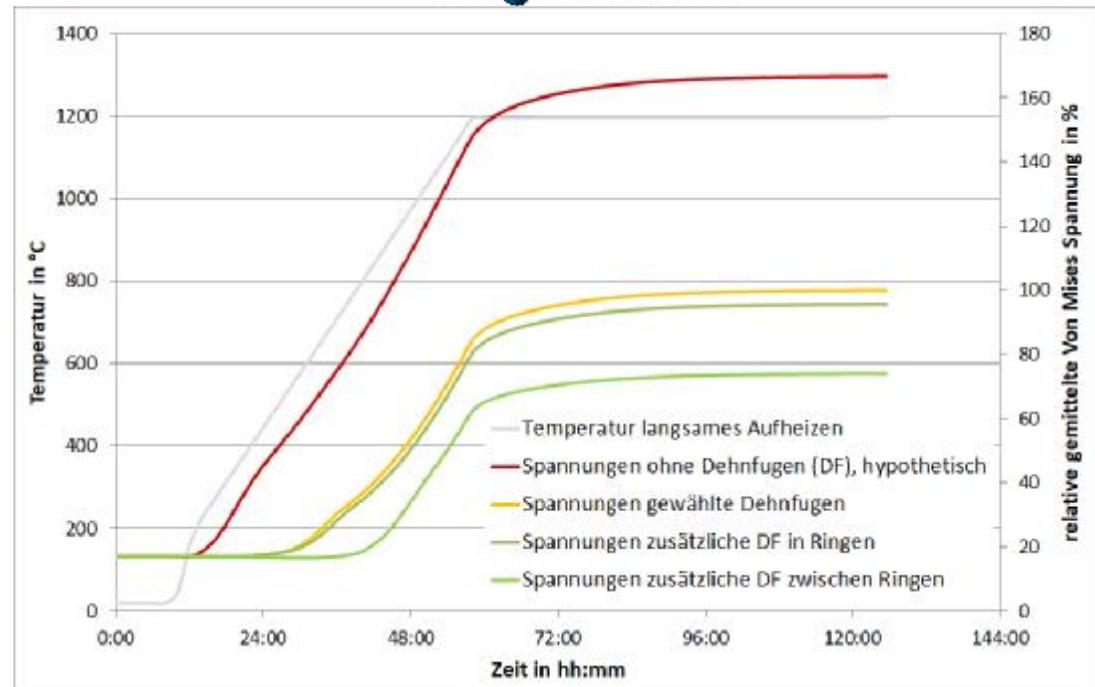
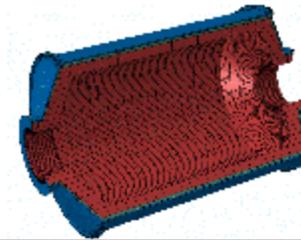
## Die Fragen: Maßnahmen

§ Zusätzliche Dehnfugen in den Ringen der Endwand ?  
**Nicht sehr effektiv !**

§ Zusätzliche Dehnfugen zwischen den Ringen der Endwand ?  
**Deutliche Reduktion der Spannungen !**



18



## Blei Kurztrommelofen

Vermeidung neuer Schadensfälle

### Die Fragen: Maßnahmen

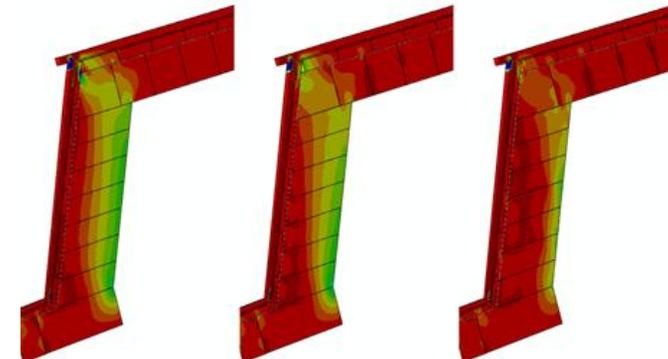
§ Zusätzliche Dehnfugen in den Ringen der Endwand ?  
**Nicht sehr effektiv !**

§ Zusätzliche Dehnfugen zwischen den Ringen der Endwand ?  
**Deutliche Reduktion der Spannungen !**

Druckspannungen in der Zustellung sind erforderlich um eine dichte Zustellung sicherzustellen.

Druckspannungen in der Zustellung

in radialer Richtung

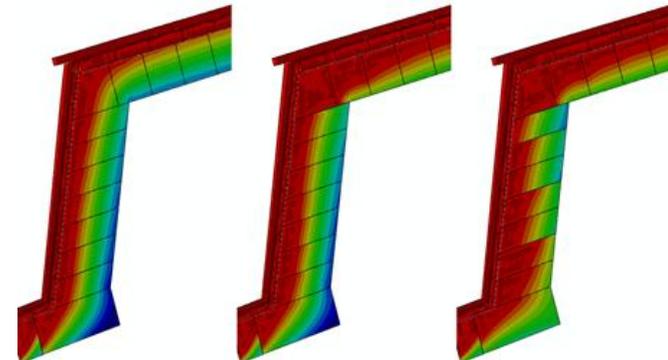


keine

Dehnfugen gewählte

zusätzlich zw.

in Umfangsrichtung



## Blei Kurztrommelofen



### Zusammenfassung

- § Ein zu schnelles Aufheizen war nicht für den beobachteten Schaden verantwortlich.
- § Durch das, wie in der Simulation gezeigte, verzögerte Ansteigen der Spannungen in den Schrauben wird das Versagen dieser einige Stunden nach dem Ende des Aufheizens erklärbar.
- § Ein zu schnelles Aufheizen muss vermieden werden um eine Schädigung der Steine zu Vermeiden.
- § Ein angepasstes Dehnfugendesign reduziert die Spannungen deutlich.
- § Druckspannungen an der Heißseite der Zustellung stellen einen dichten Steinverbund sicher.

**Thermomechanische Simulationen mit der Finite Elemente Methode sind trotz aller Herausforderungen im Feuerfestbau ein wichtiges Werkzeug.**

# FEA von feuerfesten Zustellungen



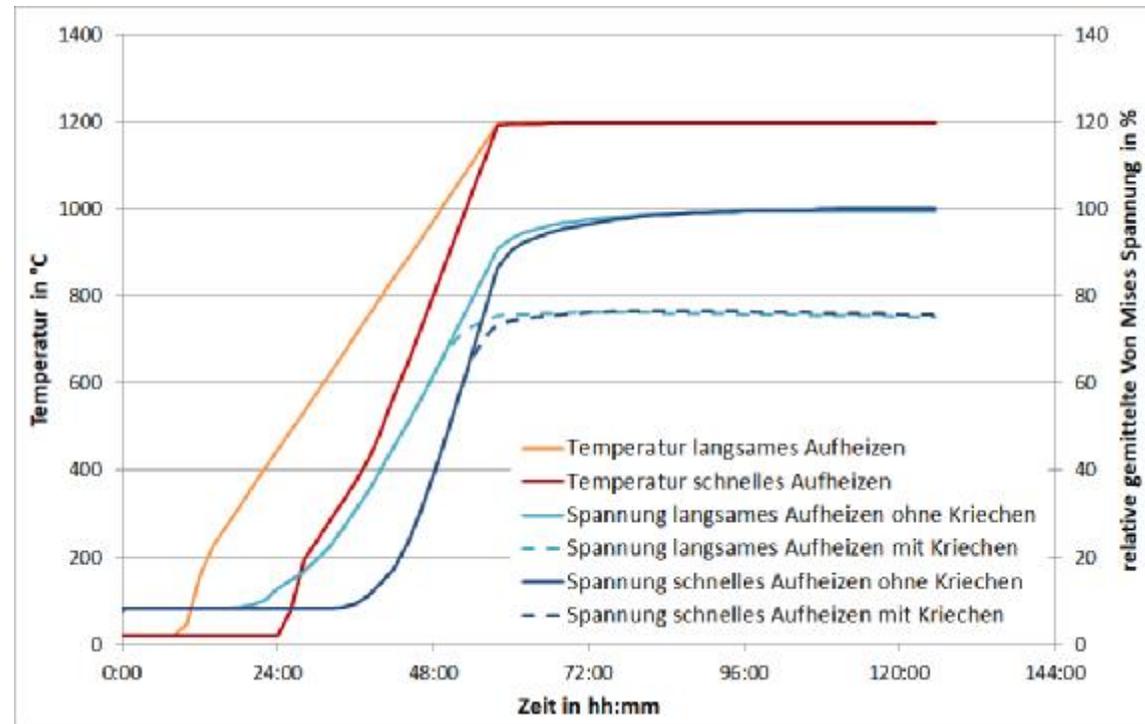
## Ausblick

§ Simulationen unter Berücksichtigung der Relaxation von feuerfesten Werkstoffen

Kriechen: konstante Last

Relaxation: konstante Verformung

Hier: „Kriechen“ bis zunehmende thermische Dehnung und damit Last abgebaut sind



## Get in touch

Dr. Hans Ulrich Marschall  
Project Manager, Modelling & Simulation  
Magnesitstrasse 2  
8700 Leoben Austria  
E-mail: [ulrich.marschall@rhimagnesita.com](mailto:ulrich.marschall@rhimagnesita.com)  
[rhimagnesita.com](http://rhimagnesita.com)

### Important notice:

These materials do not constitute or form part, or all, of any offer of invitation to sell or issue, or any solicitation of any offer to purchase or subscribe for, any securities in any jurisdiction in which such solicitation, offer or sale would be unlawful, nor shall part, or all, of these materials form the basis of, or be relied on in connection with, any contract or investment decision in relation to any securities.

These materials contain forward-looking statements based on the currently held beliefs and assumptions of the management of RHI Magnesita N.V. or its affiliated companies, which are expressed in good faith and, in their opinion, reasonable. These statements may be identified by words such as "expectation" or "target" and similar expressions, or by their context. Forward-looking statements involve known and unknown risks, uncertainties and other factors, which may cause the actual results, financial condition, performance, or achievements of RHI Magnesita N.V. or its affiliated companies to differ materially from the results, financial condition, performance or achievements express or implied by such forward-looking statements. Given these risks, uncertainties and other factors, recipients of this document are cautioned not to place undue reliance on these forward-looking statements. RHI Magnesita N.V. or its affiliated companies disclaims any obligation to update these forward-looking statements to reflect future events or developments.

