

## Reduzierung von Alkali-Bursting in Aufheizzonen/Ofendecken von Hochbrandtunnelöfen durch Einsatz von basischen Zustellkonzepten sowie weitere Einsatzmöglichkeiten

3. Freiburger Feuerfestsymposium vom 23.-25.04.2018

Dr.-Ing. Uwe Schuhmacher

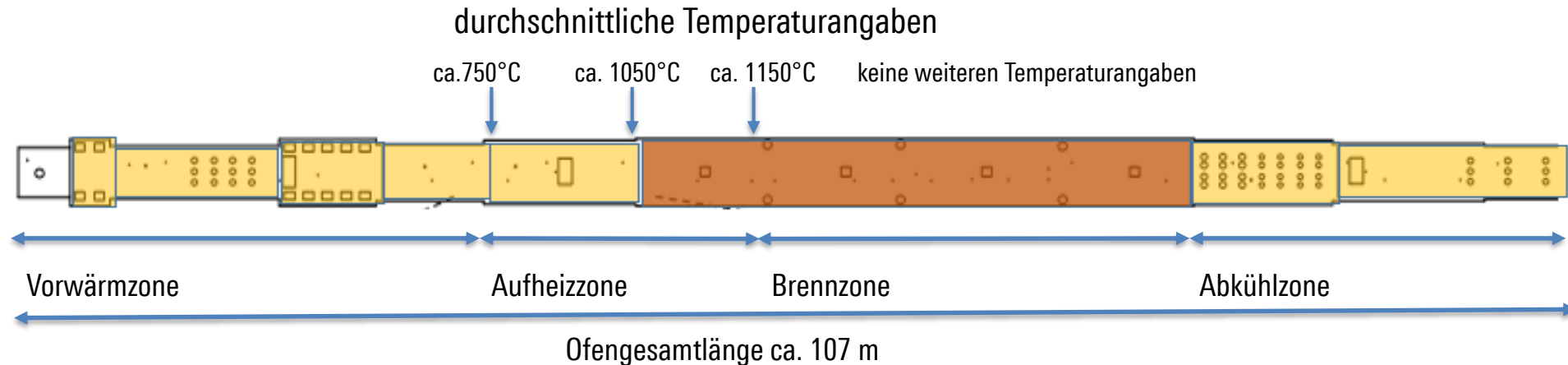
# Agenda

- Einleitung
- Aufbau der Ofendecke im „ursprünglichen“ Hochbrandtunnelofen
- Beschreibung der Problemstellung und 1. Lösungsansatz zur Reduzierung von Alkalibursting im Bereich der Aufheizzone
- Weitere Herausforderungen zur Modifikation der Ofendecke als Folge von Steigerungen der Produktivität, Reduzierung der Energieverbräuche und der gesetzlichen Vorschriften sowie von internen Vorgaben
- Problemlösungen: Auswahl geeigneter Materialien  
Anpassung der Deckenkonstruktion
- Einsatzmöglichkeiten modifizierter Ofendecken in anderen Industrien

## Einleitung

- Im Jahre 1984 wurde im Werk Göttingen der erste Hochtemperaturtunnelofen ( $>1600^{\circ}\text{C}$ ) zum Brand von Magnesiaspinellsteinen errichtet.
- Dieser Tunnelofen hatte im Gegensatz zu bereits bestehenden Öfen eine Flachdecke und kein Gewölbe. Im Laufe der Jahre wurden drei weitere Öfen dieses Typs in den Werken Göttingen und Gochsheim in Betrieb genommen.
- Im ersten Teil des Vortrages wird über Erfahrungen beim Betrieb dieser Öfen berichtet.  
Im Deckenbereich der Aufheizzone trat zunächst Verschleiß gegenüber den restlichen Zonen infolge von Alkali-Bursting auf.  
Ursachen und Lösungen werden nachfolgend erläutert.
- Im zweiten Teil des Vortrages werden Einsatzmöglichkeiten der modifizierten Ofendecken in anderen Industriezweigen aufgezeigt.

## Aufbau der Ofendecke im „ursprünglichen“ Hochbrandtunnelofen



Deckentyp: Vorwärm-, Aufheiz- und Abkühlzone:

Isolierte Flachdecke mit Hängedeckensteinen (Standardtyp)  
 Hängedeckensteine: Tonerde//Schamotte ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gehalt bis 60%)  
 Isolierung: Isolier- und Feuerbetone

Begründung: mögliche Isolierung; vorhandene Erfahrung

Deckentyp: Brennzone

Siemens-Martin-Ofen Hängedecke  
 Magnesia-Chromitsteine (geklebt)  
 Isolierung: Fasermatte und Isolierstein

Begründung: Flachdecke war Wunsch; Erfahrungen mit Siemens-Martin Ofendecken waren bekannt

## Darstellung einer Flachdecke mit Hinterisolierung



Abbildung einer Musterdecke mit mehrschichtiger Hinterisolierung



Abbildung der Hängedeckensteinkonstruktion (Hängersteine und Zwischendeckensteine)

## Darstellung einer Siemens-Martin-Ofen Hängedecke

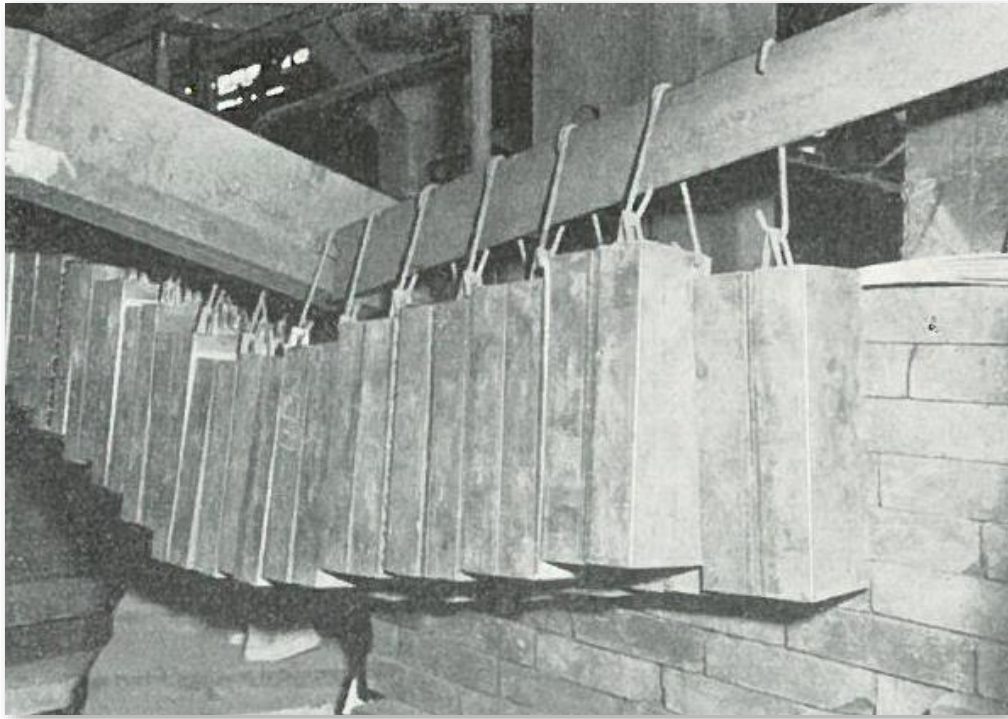
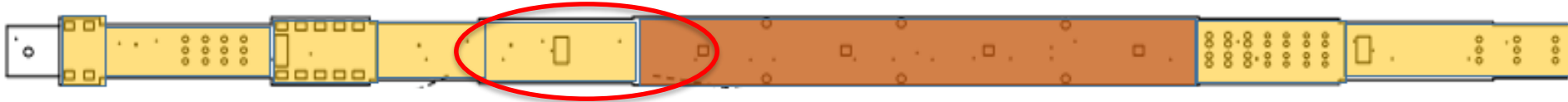


Abbildung einer Siemens-Martin-Ofendecke  
Feuerfestkunde (Harders/Kienow, Seite 782, Abb. 620)



Abbildung der Hängedecke in den Hauptbrennzonen  
Deckentyp: Siemens-Martin-Hängedecke (ohne Hinterisolierung)

## Beschreibung der Problemstellung und 1. Lösungsansatz



Im Bereich der Aufheizzone wurde die Schamotte-/Tonerdedecke aufgrund atmosphärischer Ofenbedingungen und begleitender Heißkorrosion angegriffen.

An der heißen Deckeninnenseite bildete sich eine Reaktionsschicht, die insbesondere bei Änderungen der Schubleistung im Tunnelofen zu Abtropfungen oder Abplatzungen infolge von Alkali-Bursting führte.

Nach einer Laufzeit von 6-7 Jahren mussten diese Deckenpartie im Rahmen einer Heißreparatur ausgewechselt werden (Dauer ca. 2 Wochen).

Die Magnesia-Chromit-Decke zeigte keinen korrosiven Angriff bzw. Verschleiß.

➡ Verlängerung der Siemens-Martin Ofendecke in die Aufheizzone (1. Lösungsansatz)

## Beschreibung der Problemstellung und 1. Lösungsansatz



Infiltrierte Ofendecke im Bereich der Aufheizzone nach einer Laufzeit von ca. 6-7 Jahren



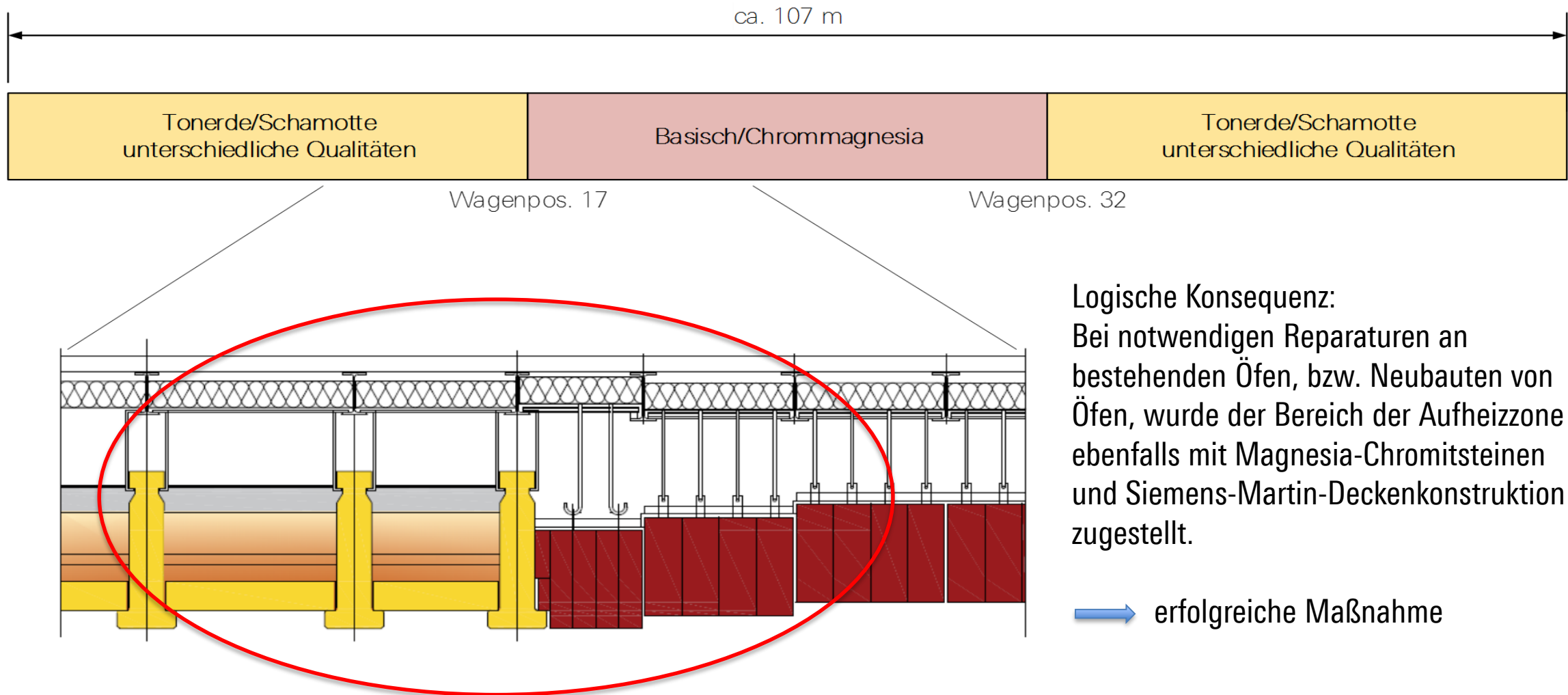
Abgedeckte Tunnelofenwagen, damit ein Ausschuss durch Abtropfungen vermieden werden kann.

Ursache: Alkaliangriff durch Salze, freien Alkalien und weiteren Angriffspartner aus der Ofenatmosphäre



- ➡ Bildung von Feldspäten (Albit [NAS<sub>6</sub>], Sanidin [KAS<sub>6</sub>]) oder Feldspatvertretern (Nephelin [NAS<sub>4</sub>], Leucit [KAS<sub>4</sub>], Kalsilit [KAS<sub>2</sub>]);  
Temperaturbereich für diese Reaktionen: ca. 750-1100 °C
- ➡ Alkali-Bursting infolge einer Volumenzunahme



## Beschreibung der Problemstellung und 1. Lösungsansatz



Weitere Herausforderungen zur Modifikation der Ofendecke als Folge von Steigerungen der Produktivität, Reduzierung der Energieverbräuche und der gesetzlichen Vorschriften sowie von internen Vorgaben.

- Verzicht auf den Einbau von chromhaltigen Feuerfestmaterialien bei Neubauten oder Reparaturen
- Einhaltung der Forderungen der TA-Luft: Reduzierung der Staubemissionen  $<20\text{mg}/\text{m}^3$   
Reduktion von  $\text{SO}_2$  im Rauchgas  $<350\text{mg}/\text{m}^3$   
Reduktion von C-gesamt  $<20\text{mg}/\text{m}^3$   
 Entwicklung eines geänderten Bindemittel
- Änderung der ofenatmosphärischen Bedingungen durch:
  - Geändertes Bindemittel
  - Steigerung der Produktivität
  - Erhöhung des Besatzgewichtes/TOW
  - Erhöhung der max. Schubleitung/d
- Reduktion des spez. Energieverbrauchs  
 Erhöhung der Konzentration korrosiver Komponenten im Rauchgas, vornehmlich Alkalien in unterschiedlichen Formen - Reduzierung der Reparaturzyklen auf ca. 4 Jahre

## Problemlösungen: Auswahl geeigneter Materialien / Anpassung der Deckenkonstruktion

### Eigenschaften

Steintyp 1	Magnesia-Spinell Stein	gute Korrosionseigenschaften, gute TWB, relativ niedrige WLF
Steintyp 2	Magnesia Stein	gute Korrosionseigenschaften, schlechte TWB, hohe WLF

Beide Steintypen wurden labortechnisch untersucht. Aus den Ergebnissen konnten keine Zuordnungen getroffen werden, welcher Steintyp für den Einsatz in den Tunnelöfen unter den vorherrschenden Bedingungen der am besten geeignetste wäre.

Aus diesem Grunde wurden Feldversuche durch Einbau von Versuchsfeldern im Seitenwandbereich durchgeführt (Ende der Aufheizzone und beginnender Brennzone 1100-1300°C). Hierbei wurden jeweils Wandfelder mit Steintyp 1 und Steintyp 2 als Verschleißmauerwerk eingebaut.

## Problemlösungen: Auswahl geeigneter Materialien - Feldversuch



### Steintyp 1: Magnesiaspinnell Stein

Zerstörung der Mikrostruktur durch Korrosion des Spinnells unter Bildung von  $\text{NaAlO}_2$ ,  $\text{KAlO}_2$  und  $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ . Das Steingefüge wird mürbe und der Stein verliert an Festigkeit.



### Steintyp 2: Magnesiaspinnell Stein

Eine Zerstörung der Mikrostruktur wie beim Steintyp 1 konnte nicht festgestellt werden.

In beiden Steintypen konnten ähnliche Mengen an Salzinfiltrationen nachgewiesen werden (Natrium, Thermo-Natrium, Hanksit, etc.), die zu einer Verdichtung des Gefüges führen, jedoch nicht zu dessen Zerstörung.

## Problemlösungen: Auswahl geeigneter Materialien - Feldversuch

Ergebnis aus dem Feldversuch:

Steintyp1	Magnesia-Spinell Stein	→	Zerstörung der Mikrostruktur durch Korrosion möglich -> Festigkeitsverlust
		→	Infiltration von Salzen möglich -> mögliche Verdichtung des Gefüges, jedoch keine Zerstörung
Steintyp2	Magnesia Stein	→	Infiltration von Salzen möglich -> mögliche Verdichtung des Gefüges, jedoch keine Zerstörung

Ergebnis: Steintyp 2 wurde als Feuerfestmaterial für die weiteren Zustellungen ausgewählt  
(zukünftige Nennung: Magnesiastein)

Zur Vermeidung von Schäden durch Hydratation der Infiltrierten Steine bei möglichen Stillständen sollten die Oberflächen inhibiert werden.

## Problemlösungen: Auswahl geeigneter Materialien / Anpassung der Deckenkonstruktion

- Einbau der Siemens-Martin Ofendecke in der Aufheizzone – notwendige Modifikationen am Engineering
- Einbau einer vorgespannten Flachdecke als mögliche Alternative
- Einbau von Wirbelstufen in die Siemens-Martin Ofendecke
- Modifikation der isolierten Flachdecke (Standardtyp) mit Wirbelstufen

## Problemlösungen: Änderung der Deckenkonstruktion

- Verlängerung der Siemens-Martin Ofendecke in den Bereich der Aufheizzone

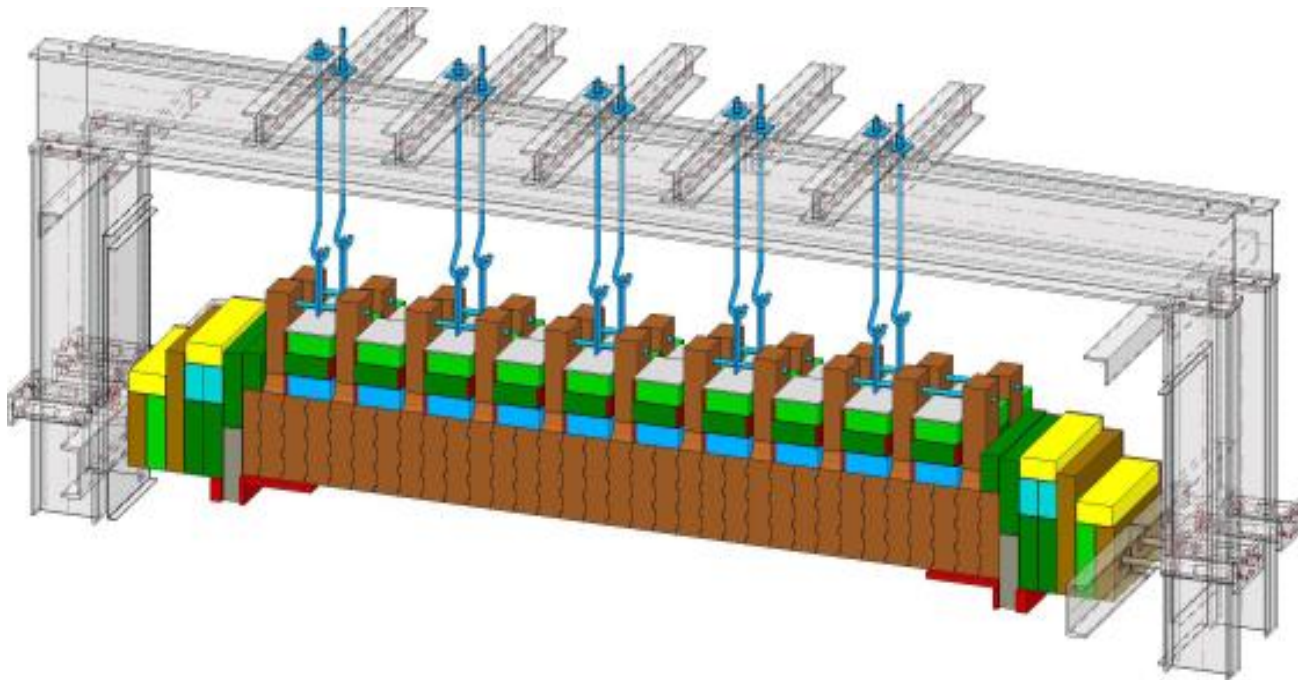


- Modifikationen:
  - Einbau von direkt-gebundenen Magnesiasteinen als Feuerfestmaterial
  - Anpassung der Dehnfugendimensionierung an die Ausdehnungskoeffizienten
- Optional:
  - Änderung der Stahlsorte für die metallischen Anker
  - Änderung der Mörtelsorte
- Vorteil:
  - geringer Kostenaufwand, geringes Risiko
- Nachteil:
  - geringfügig erhöhte Wärmeverluste

➡ Erfolgreiche Maßnahme

## Problemlösungen: Änderung der Deckenkonstruktion

- Einbau einer vorgespannten Flachdecke im Bereich der Aufheizzone - Alternativlösung -



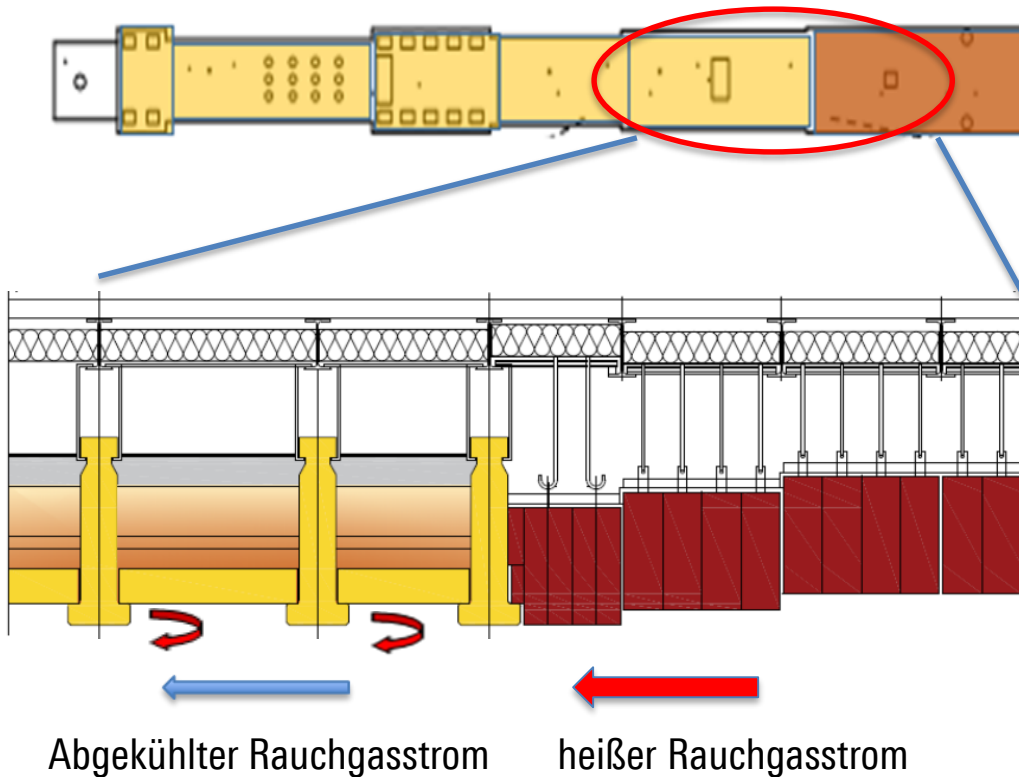
- Einbau von Magnesiasteinen als Verschleißschicht
- Vorteil: mögliche Einsparung an Energiekosten (derzeitige Überprüfung)
- Nachteil: Hoher Kostenaufwand bei Umbauten an den bestehenden Öfen durch Anpassung der Decken- und Seitenwandkonstruktion

➔ Erfolgreiche Maßnahme



## Problemlösungen: Änderungen der Deckenkonstruktion

- Einbau von Wirbelstufen in die Siemens-Martin Ofendecke



Erläuterung der Maßnahme und Ausgangsgedanken:

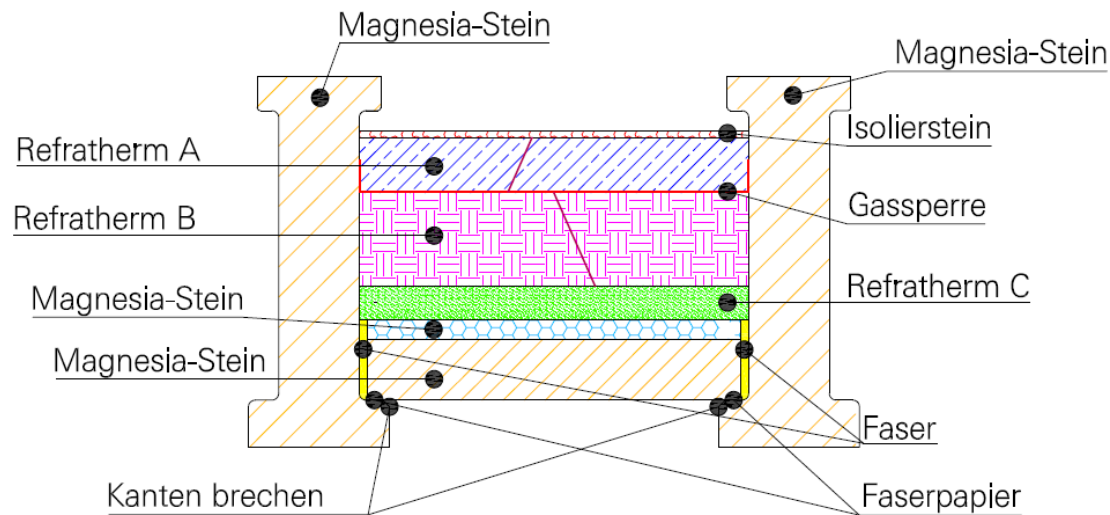
- Der Rauchgasvolumenstrom wird im Bereich der Brennzone aufgrund der höheren Temperaturen größer. Der Ofenquerschnitt kann nur minimal vergrößert werden
- Im Bereich der Aufheizzone ist der Volumenstrom deutlich reduziert.
- Der Wärmeübergang im Bereich der Aufheizzone erfolgt hauptsächlich durch Konvektion.
- Eine Verbesserung des Wärmeüberganges vom Rauchgas auf das Brenngut soll durch Einbau von Wirbelstufen erzielt werden.

- ursprüngliche Philosophie -

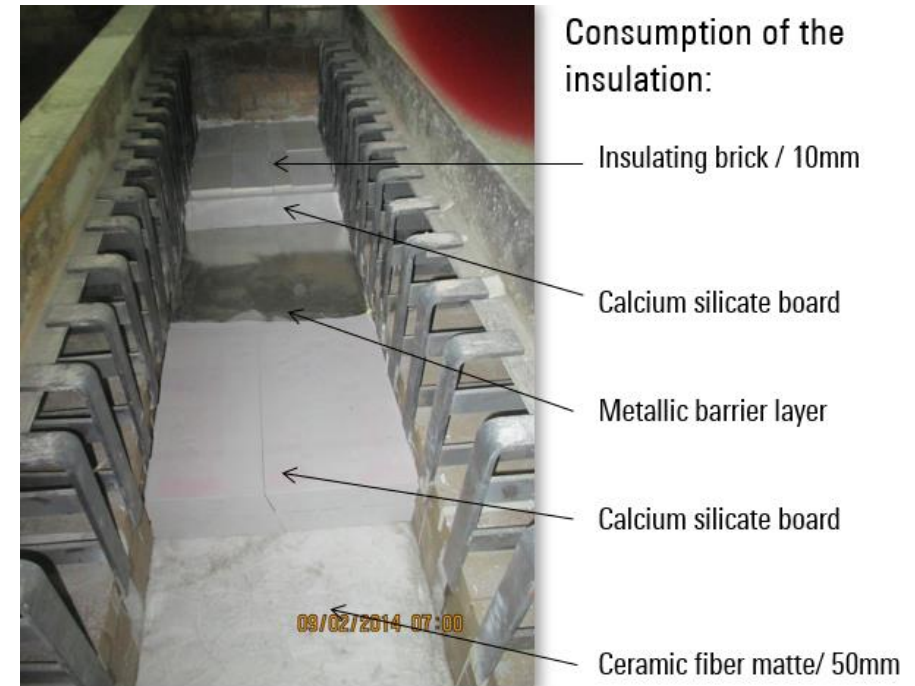


## Problemlösungen: Änderungen der Deckenkonstruktion

- Modifikation der isolierten Flachdecke (Standardtyp) mit Wirbelstufen



Schnitt durch den Deckenaufbau

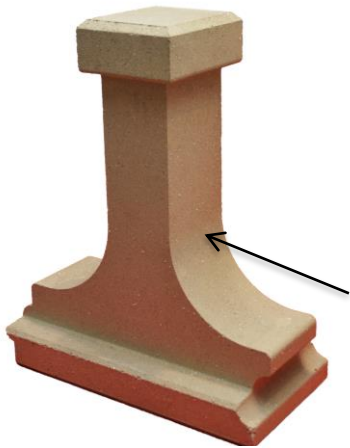


Schichtaufbau der Isolierung

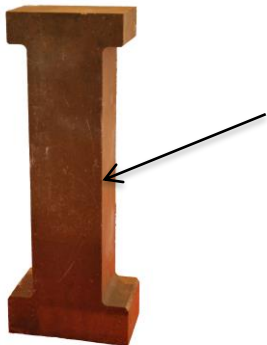
Das bisherige Deckensystem einer isolierten Flachdecke auf Tonerdebasis wurde an die Spezifika von Magnesiasteinen angepasst. Die Isolierung besteht aus einem mehrschichtigen Aufbau unterschiedlicher Fasermaterialien.

## Problemlösungen: Änderungen der Deckenkonstruktion

- Anpassung der Magnesiahängersteine an die Notwendigkeiten einer Hängedeckenkonstruktion



Hängedeckenstein  
auf Tonerdebasis  
Gewicht: >30kg



Hängedeckenstein  
auf Basis Magnesia  
Gewicht: 25kg

Anforderungen an Design und die Produktion von Hängersteinen aus Magnesia im Gegensatz zu Tonerde ( $\leq 60\% \text{ Al}_2\text{O}_3$ )

- Tonerde-/Schamotte: "filigraneres" Design ist aufgrund von höheren Anteilen an Tonkomponenten in der Bindephase möglich.
  - niedriger spezifischer Pressdruck notwendig
  - homogenes Gefüge ist leicht erreichbar
- Magnesiastein: Pressen von Formsteinen mit "einfachem" Design
  - Grund: geringer Anteil an Bindemittel (meist organisch)
  - sehr hoher spezifischer Pressdruck notwendig
  - homogenes Gefüge ist nicht leicht erreichbar

## Problemlösungen: Änderungen der Deckenkonstruktion

- Modifikation der isolierten Flachdecke (Standardtyp) mit Wirbelstufen



- Korrosiver Verschleiß in Form von Abtropfungen war an den Decken nicht erkennbar.
- Auf den Rauchgasstrom abgewandten Seiten der Wirbelstufen konnten bei Inspektionen Risse festgestellt werden, deren Ausbildung infolge von Hydratation der Salzinfiltrate nach dem Abkühlen verstärkt wurden.
- Die Salzinfiltrationen sind in den „flachen“ Deckenbereichen unauffällig.
- Aus den bisherigen Erfahrungen ist kein signifikanter Angriff auf die Faserisolierung (Calciumsilikat) feststellbar. Aus Erfahrungen ist bekannt, dass bei Infiltrationen die Festigkeit zunimmt, da die Poren die Salze aufnehmen, jedoch Schmelzphasen nicht gebildet werden.

Fazit: Zukünftig sollte auf Wirbelstufen verzichtet werden, da der verfahrenstechnische Vorteil den Nachteil, der durch Salzinfiltrationen entsteht, nicht aufwiegen kann.

## Auswahl geeigneter Materialien, Änderung / Anpassung der Deckenkonstruktion

### Abschlussbemerkungen:

- Mit dem Einbau von direktgebundenen Magnesiasteinen in den Aufheizzonen kann die Gefahr von Alkali-Bursting in den beschriebenen Ofenanlagen deutlich reduziert werden.
- Der Einbau von Flachdecken ohne Wirbelstufen ist zu bevorzugen.
- Der konstruktive Aufbau möglicher Flachdecken wurde anhand zweier Systeme vorgestellt.
- Das System einer isolierten Flachdecke wird weiter entwickelt, da es erhebliche Potentiale bietet.
- Hydrothermale Bedingungen in der Ofenatmosphäre sollten in diesem Deckenbereich weitestgehend vermieden werden.

## Einsatzmöglichkeiten modifizierter Ofendecken in anderen Industrien

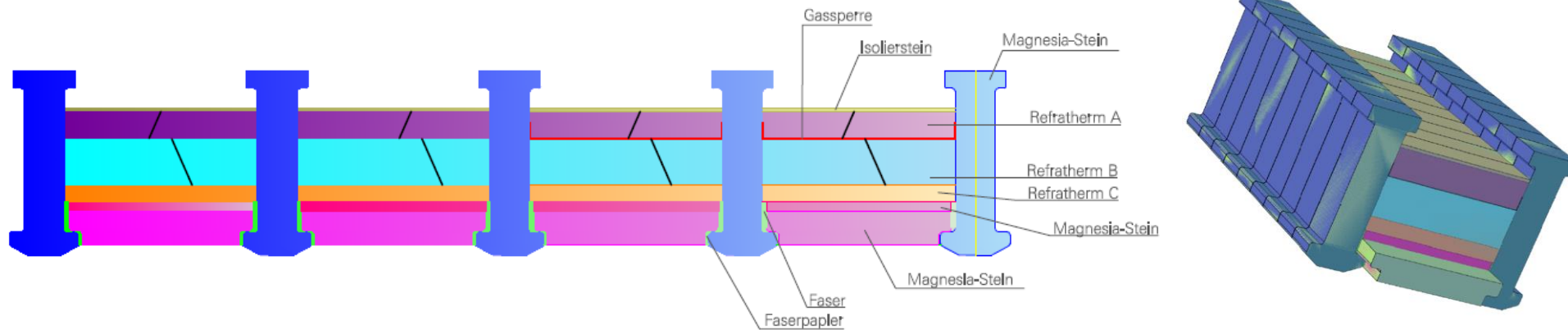
- Basisch isolierte Flachdecke (Standardtyp) ohne Wirbelstufen

### Mögliche Einsatzgebiete:

- Öfen mit erhöhtem Alkaliangriff aufgrund der Ofenatmosphäre und weitestgehend ohne hydrothermalen ofenatmosphärischer Bedingungen
- Öfen, in denen Produkte gebrannt werden, wobei die Energiekosten ein entscheidender Faktor für die Wirtschaftlichkeit sind (In Ziegeleien betragen die Energiekosten >50% der Herstellkosten).
  - Beispielweise in Hauptbrennzonen von Tunnelöfen im Temperaturbereich zwischen 700 -1350°C (keramischen Industrie, Ziegeleien, etc.)

## Einsatzmöglichkeiten modifizierter Ofendecken in anderen Industrien

- Basisch isolierte Flachdecke (Standardtyp) ohne Wirbelstufen



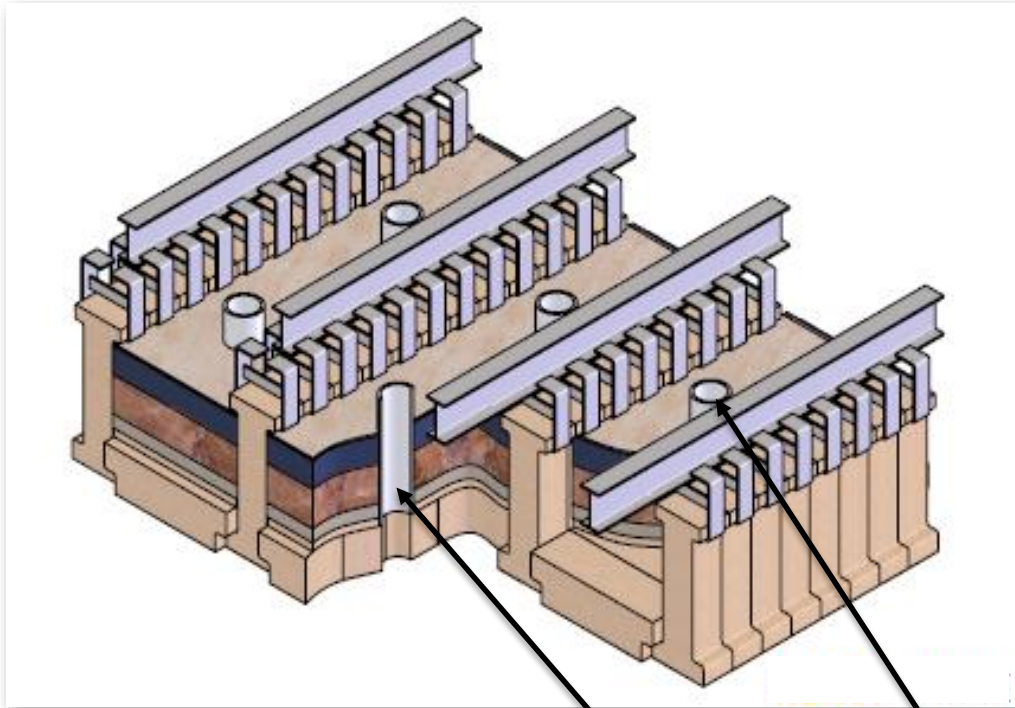
Die Decke ist als Flachdecke ohne Wirbelstufen, bestehend aus Magnesiasteinen und mehrschichtiger Faserisolierung, zu konstruieren. Durch die Verwendung von Fasermaterialien als Isolierung wird die Aufheizdauer deutlich reduziert und das Auftreten schädlicher hydrothormaler Bedingungen vermieden.

Dieses Deckensystem ist auch bei sehr großen Spannweiten einsetzbar.



## Einsatzmöglichkeiten modifizierter Ofendecken in anderen Industrien

- Basisch isolierte Flachdecke (Standardtyp) ohne Wirbelstufen



Der Einsatz von Deckenbrennern ist ebenfalls möglich

Mein herzlicher Dank für die Unterstützung geht an:

Dr. Johannes Södje - Refratechnik Cement

Stefan Schuhmacher - ehemals Fa. J+G Feuerfestbau

Max Müller - ehemals Fa. Lingl

Sowie an alle Kolleginnen und Kollegen, die mich bei den Arbeiten der letzten 16 Jahre unterstützt haben.

Herzlichen Dank für ihre Aufmerksamkeit

## Volumenzunahme einiger Tonerdminerale in Abhängigkeit der chem. Reaktion mit Alkalien

Mineral Name	Chem. Formel	Dichte (g/cm <sup>3</sup> )	Schmelzpunkt (°C)	Bemerkungen
Fireclay	A* <sub>3</sub> S* <sub>2</sub> , S, Glasphase	2,1 - 2,25	beginnt ab 1.250°C	Feuerfestigkeit ist begrenzt in Anwesenheit volatiler Na/K-Anteile > 750°C Bildung von Schmelzphasen
Mullit (3:2)	A <sub>3</sub> S <sub>2</sub>	3,16	> 1.500	> 750°C Bildung von Feldspat und Feldspatvertretern beginnt in Gegenwart von Alkalien → Alkali Bursting
Andalusit	A <sub>3</sub> S <sub>2</sub> , S	3,14	> 1.500	> 750°C Bildung von Feldspat und Feldspatvertretern beginnt in Gegenwart von Alkalien → Alkali Bursting
Albit	N*AS <sub>6</sub>	2,62	1.120	} Feldspat
Sanidin	K*AS <sub>6</sub>	2,57	1.150	
Nephelin	NAS <sub>4</sub>	2,62	1.150	} Feldspatvertreter
Leucit	KAS <sub>4</sub>	2,47	1.150	
Kalsilit	KAS <sub>2</sub>	2,59	923	

\*übliche Abkürzungen in der  
Keramischen Industrie:

A = Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>   S = SiO<sub>2</sub>  
N = Na<sub>2</sub>O   K = K<sub>2</sub>O