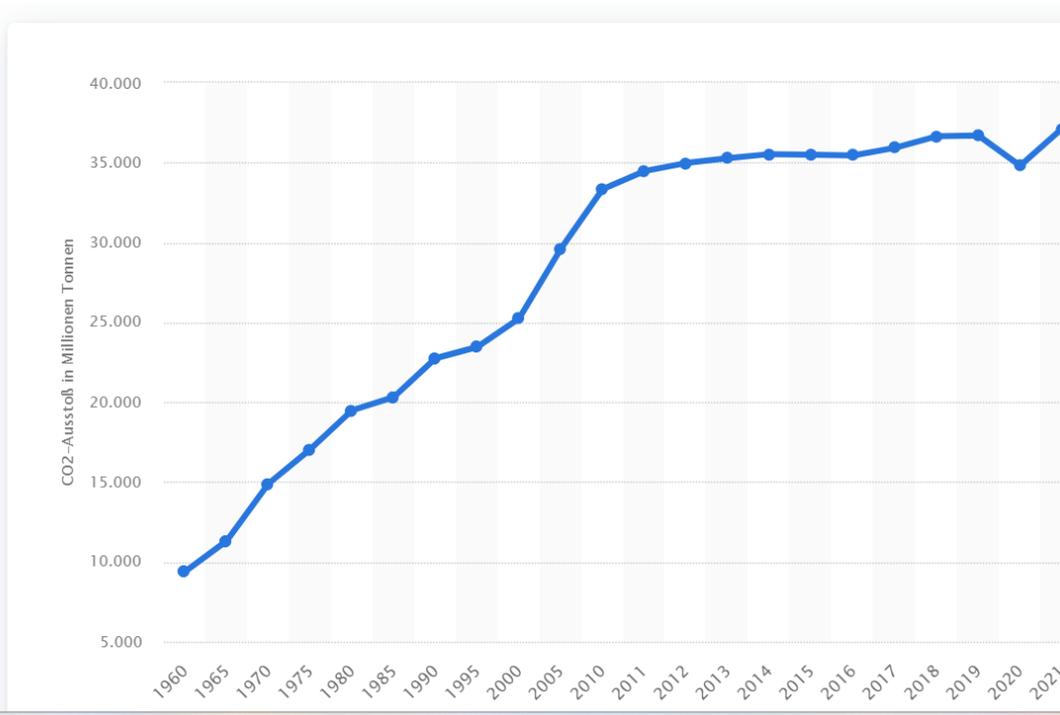


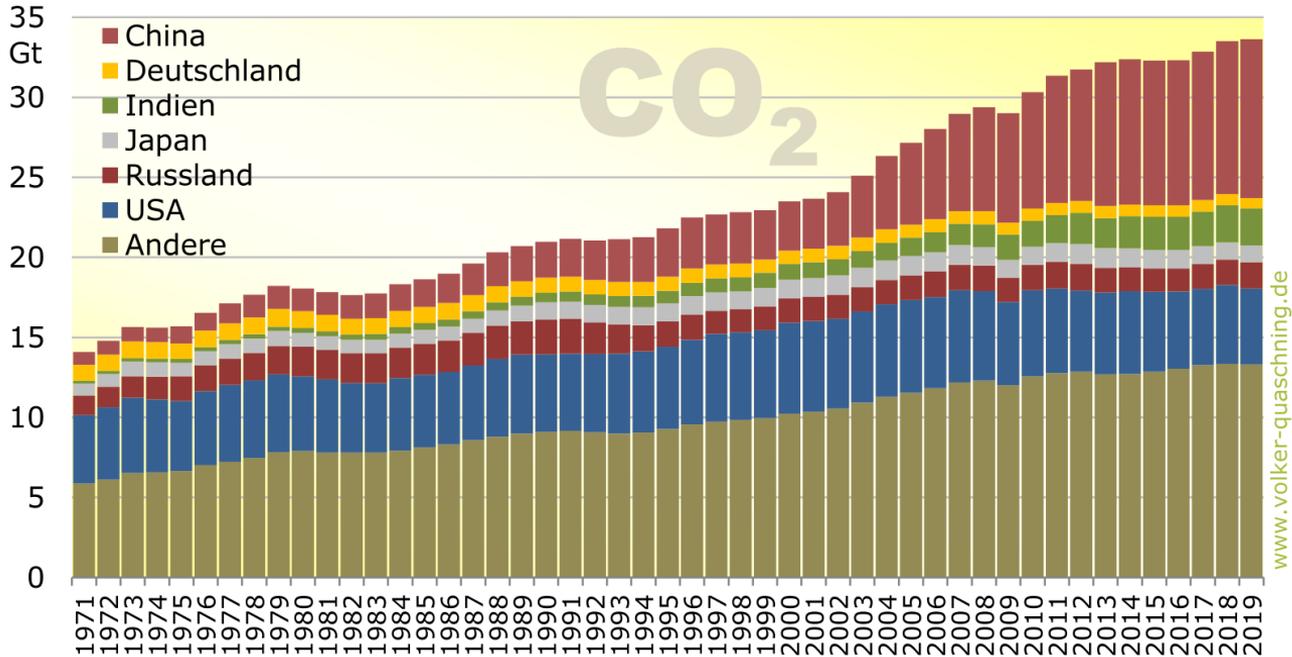
Einsatz von energiesparenden Steinen für die
Zustellung von Drehofenanlagen
Utilization of Energy Saving Refractory Bricks for the
Lining of Rotary Kilns

Hans-Jürgen Klischat, Holger Wirsing, Carsten Vellmer
Refratechnik Cement GmbH

Weltweite CO₂ Emissionen von 1960 bis 2021 (in Mio. t)



Weltweite CO₂ Emissionen von 1971 bis 2019 (in Gt)



Cost per ton of carbon dioxide produced (in €)



Konzepte zur thermischen Isolierung von basisch zugestellten Zonen in Drehöfen



Konzept

Typischer Verschleiß

Einfluss des Gefüges auf die Eigenschaften feuerfester Steine

Bezogen auf die Struktur

- Dichte
- Porosität

Einfluss auf



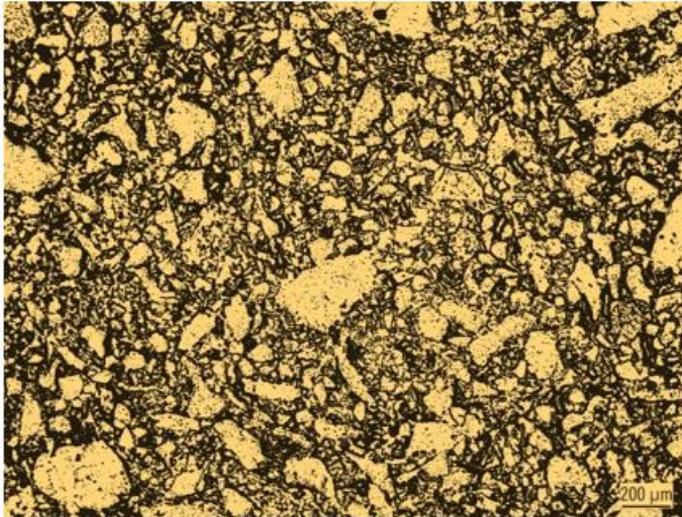
Bezogen auf die Eigenschaften

- Kaltdruckfestigkeit
- Kaltbiegefestigkeit
- Elastische Moduli (E, G, μ)
- Druckerweichen
- Druckfließen
- Gasdurchlässigkeit
- Wärmeleitung
- Chemische Beständigkeit

Gefüge von typischen Magnesiaspinellsteinen und Steinen mit verringerter Wärmeleitfähigkeit (ES-Konzept)

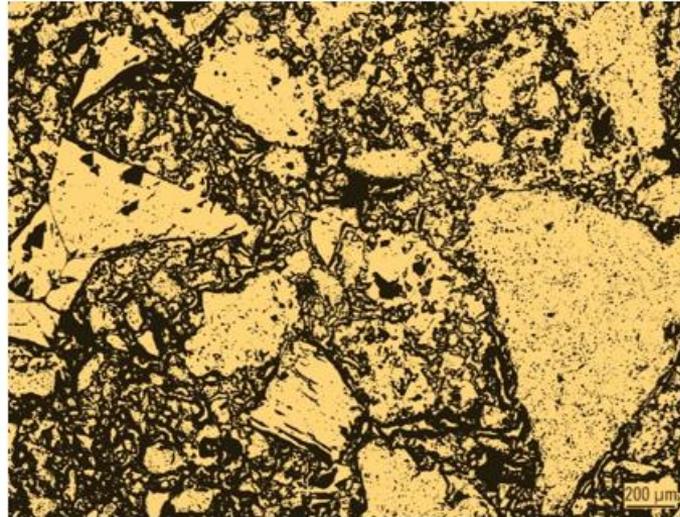
ES-Konzept

Offene Porosität 23.4 %



Magnesiaspinellstein

Offene Porosität 16.4 %

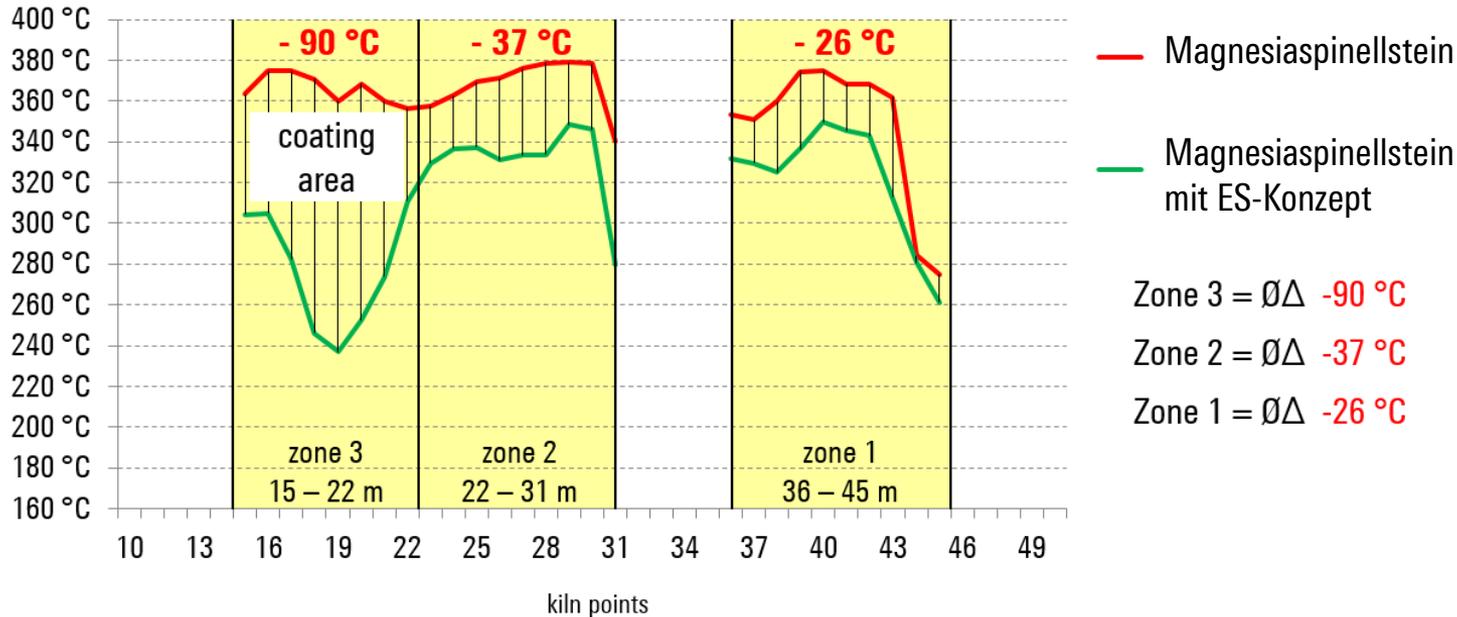


ALMAG[®] A1 ES und ALMAG[®] ES

Magnesiaspinellsteine mit verringerter Wärmeleitung

Typische Eigenschaften		Magnesiaspinellstein (typische Bereiche aller Produkte)	ALMAG [®] ES	ALMAG [®] A1 ES
Dichte	g/cm ³	2.90-3.05	2.70	2.74
Kaltdruckfestigkeit	MPa	60-90	75	75
Kaltbiegefestigkeit	MPa	4-6.5	6	6.5
Offene Porosität	Vol-%	14-17	23	22
Gasdurchlässigkeit	nPm	1.4-4.5	1.5	1.2
Druckerweichen T _{0.5}	°C	1700	1680	1650
Wärmeleitung (1000 °C)	(W/(mK))	2.7-3.0	2.1	2.0

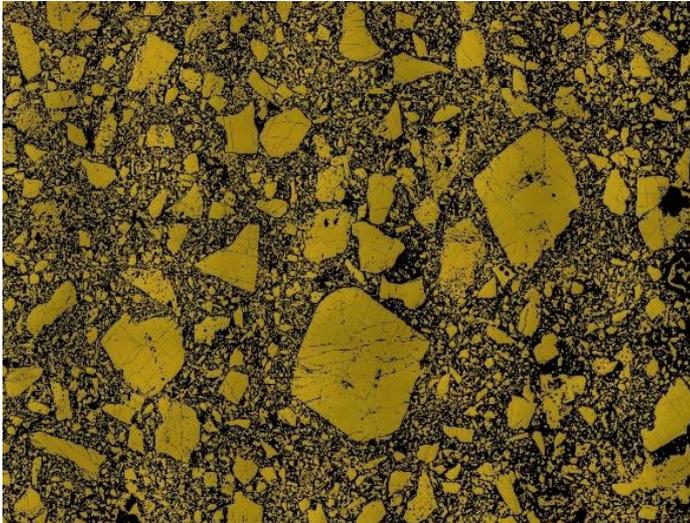
Senkung der Ofenmanteltemperatur durch Anwendung des ES-Konzeptes in einem Zementklinkerdrehofen



Gefüge von typischen Andalusitsteinen und Steinen mit verringerter Wärmeleitfähigkeit (ES-Konzept)

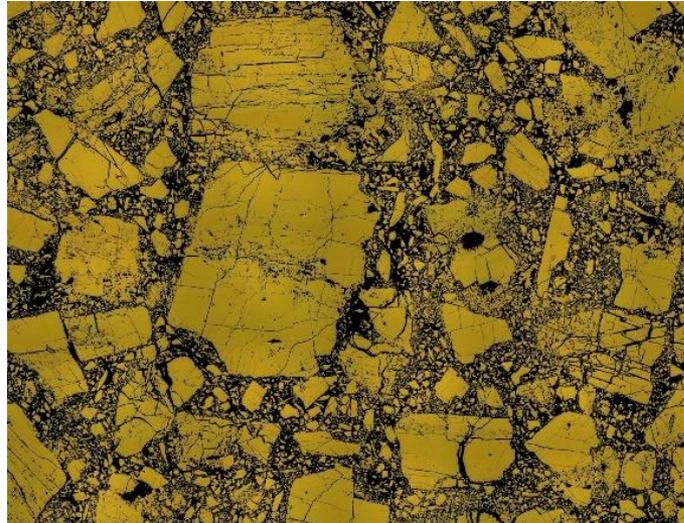
Andalusitstein mit ES-Konzept

Offene Porosität 19.5%



Andalusitstein

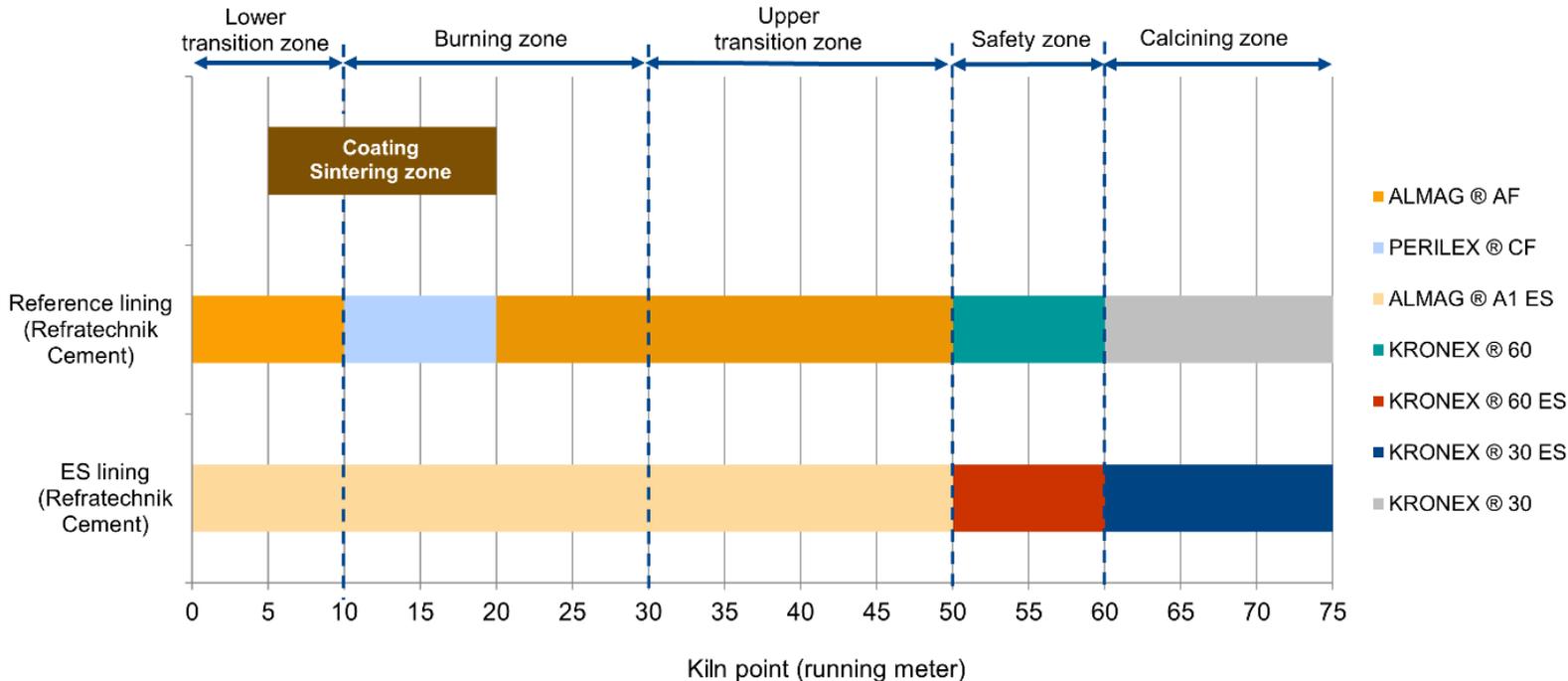
Offene Porosität 13.7%



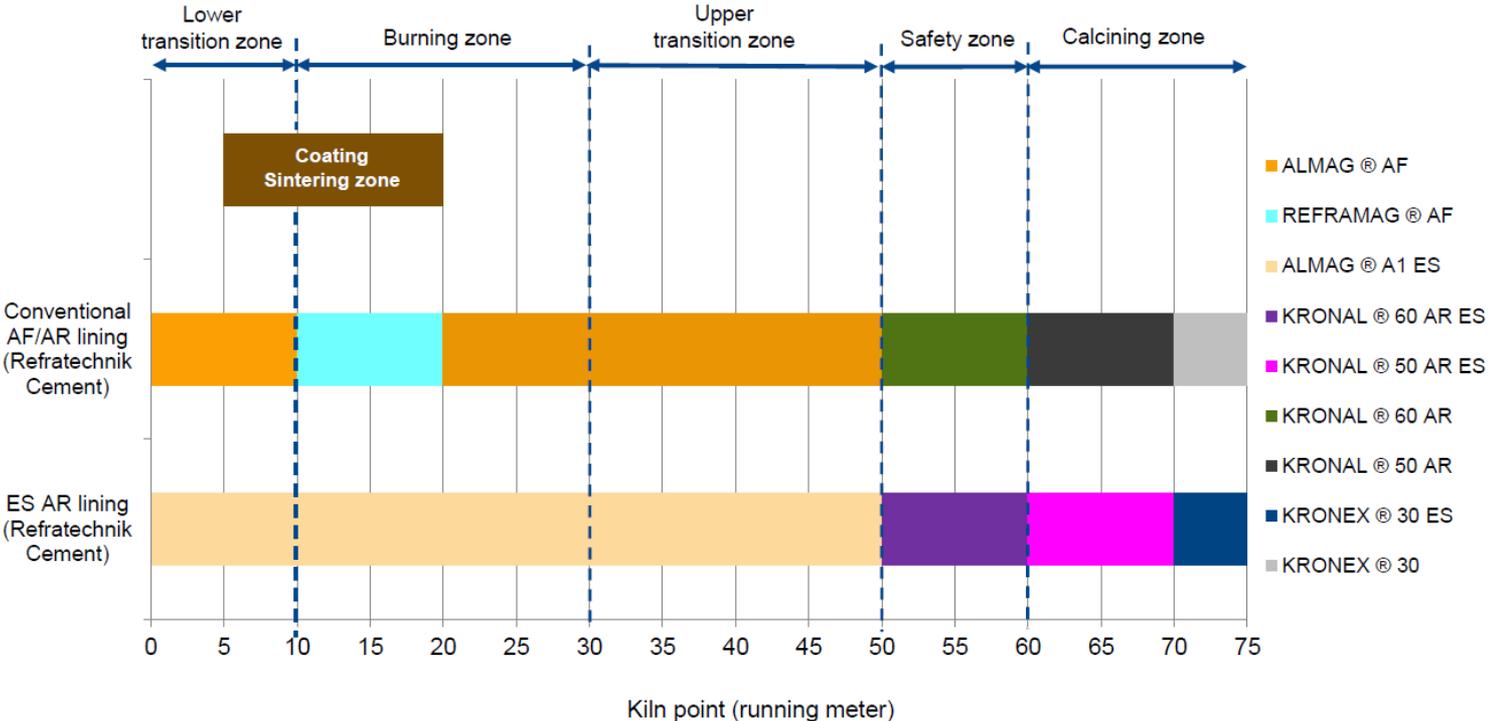
REFRALUSIT® ES- Andalusitstein mit verringerter Wärmeleitung

Typische Eigenschaften		Dichter Andalusitstein	REFRALUSIT® ES	REFRALUSIT® ES
Dichte	g/cm ³	2.67	2.38	
Kaltdruckfestigkeit	MPa	81	78	
Kaltbiegefestigkeit	MPa	8.6	11.0	
Offene Porosität	Vol-%	13.8	20.2	
Gasdurchlässigkeit	nPm	1.3	1.4	
Druckerweichen T _{0.5}	°C	1600	1500	
Wärmeleitung (1000 °C)	(W/(mK))	1.6	1.3	

Konventionelle und energiesparende Zustellung von Zementklinkeröfen, normale Anforderungen



Konventionelle und energiesparende Zustellung von Zementklinkeröfen, hohe Anforderungen



Ersparnisse durch Anwendung des ES-Konzeptes

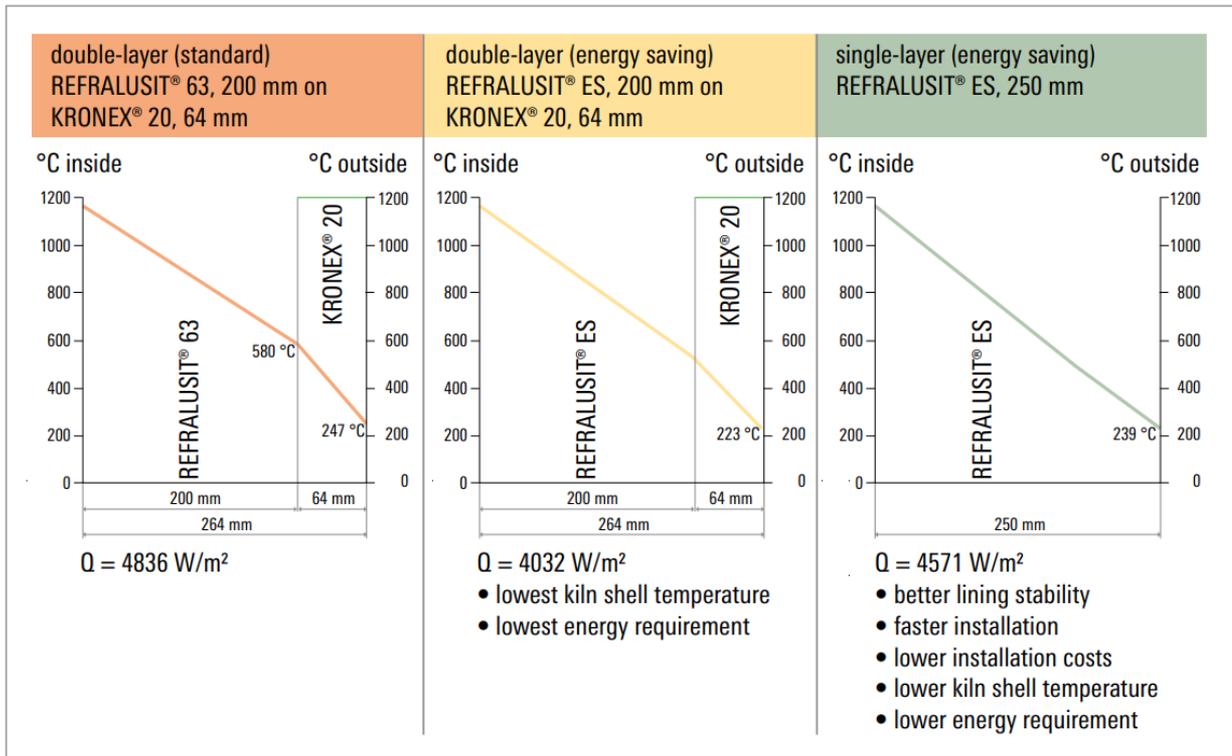
	Normale Ofenbedingungen	ES-Konzept	Schwere Ofenbedingungen	A1 ES Konzept
Gesamtersparnis		1.8%		1.5%
Verluste Ofenwand kJ/s	11760	8832	12331	9256
CO ₂ Emissionen t CO ₂ /T _{cl}	0,819	0.814	0,820	0.815
Einsparung Kohle t/a		3429		2875
Einsparung CO ₂ t CO ₂ /a		7927		7331

Probleme bei Zweischichtenmauerwerken



- Zustellung mit verschiedenen Steinsorten mit unterschiedlicher Dichte, Formaten und Festigkeiten
- Generell ist die mechanische Stabilität zu beachten
- Höhere Installationskosten und -zeit (ca. 20%)
- Fachkräftemangel für Zweischichtenmauerwerk

Vergleich Ofenmanteltemperaturen durch Anwendung des ES-Konzeptes



Ausblick: Nachhaltigkeit - Carbon Footprint - Kostenreduktion

ES Konzept als neue Lösung für den Drehofen

	Dichte g/cm ³		Wärmedurchgang W/(m·K) bei 1000°C		Einsparung durch das ES-Konzept	
	ES	Standard	ES	Standard	Gewicht	Wärme- durchgang
ALMAG [®] ES	2.68	2.9 - 3.05	2.1	2.9	10 %	28 %
ALMAG [®] A1 ES	2.76	2.9 - 3.05	2.1	2.8	7 %	25 %
REFRALUSIT [®] ES	2.35	2.6 – 2.8	1.3	1.6	13 %	19 %
KRONAL [®] 60 AR ES	2.4	2.5 – 2.7	1.5	2.5	8 %	40 %
KRONAL [®] 50 AR ES	2.27	2.35 - 2.55	1.5	2.0	7 %	25 %
KRONEX [®] 60 ES	2.22	2.4 - 2.6	1.5	1.8	11 %	17 %
KRONEX [®] 30 ES	2.02	2.1 - 2.3	0.9	1.2	8 %	25 %

Zusammenfassung

- Durch Anwendung des ES-Konzeptes ist eine signifikante Energieeinsparung und Senkung der CO₂-Emission möglich
- Durch Senkung des Kohleverbrauchs und der Vermeidung von CO₂-Zertifikaten senken sich die Kosten des Ofenbetriebes
- Durch Senkung der eingebauten Materialmenge (Dichte!) wird Material eingespart, dadurch ein nachhaltiges Konzept
- Steineigenschaften (Festigkeit, Feuerfestigkeit, chemische Resistenz) bleiben erhalten
- Geringeres Steingewicht erleichtert die Installation (Health & Safety Aspects)
- Geringere Stromkosten durch weniger Gewicht und weniger Kühlung
- Zustellung auch im Zweischichtenmauerwerk möglich, aber nicht mehr unbedingt nötig

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Dr. Hans-Jürgen Klischat
Refratechnik Cement GmbH
Rudolf-Winkel-Str. 1
37083 Göttingen
www.refra.com