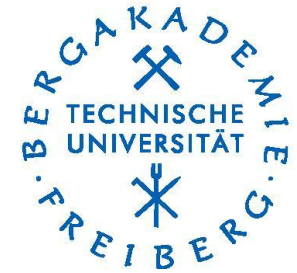
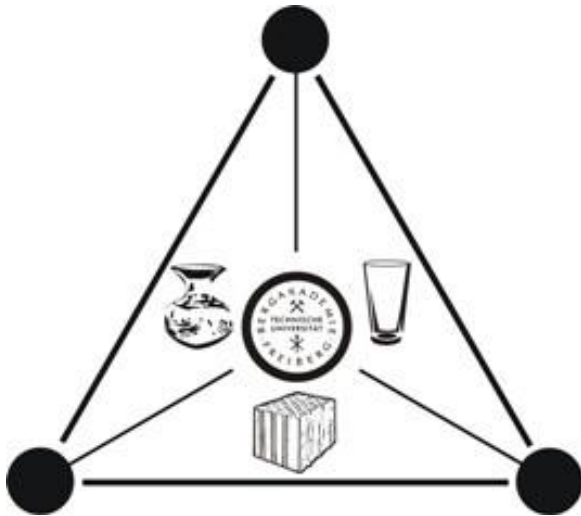




Institut für Keramik, Glas- und Baustofftechnik



„Lebensdauererlängerung von Feuerfestmaterial für die Glasindustrie“



Verteidigung Diplomarbeit – Rolf Weigand

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. H. Hessenkemper

DI H. Landfermann-Hessenkemper



1. Einführung

1.1 Motivation

1.2 Grundlagen

2. Behandlungsprozess

3. Charakterisierung des Behandlungserfolges

4. Fingertests

4.1 statischer Fingertest

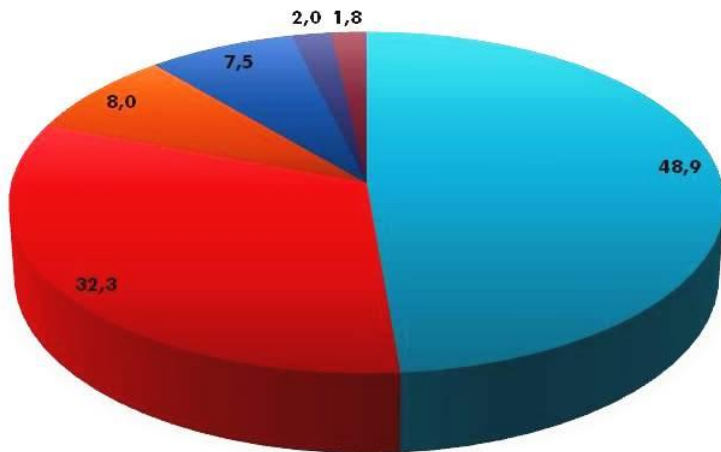
4.2 dynamischer Fingertest

5. Zusammenfassung & Ausblick



Motivation

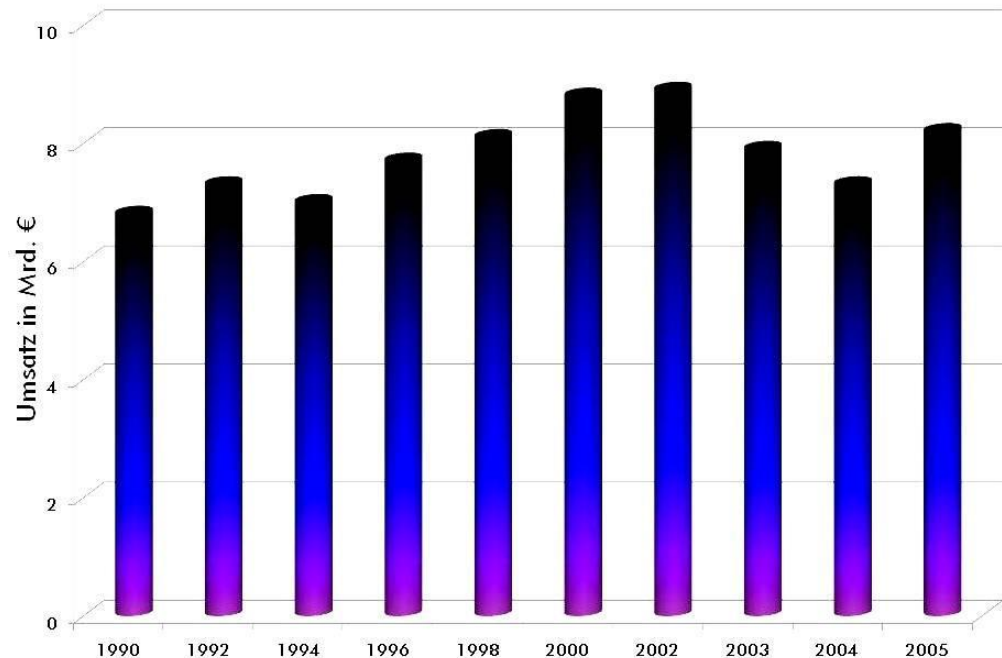
■ Behälterglas ■ Flachglas ■ Glasfasern ■ Spezialglas ■ Kunst- und Kristallglas ■ Glasritzen



Quelle: <http://www.ogis.de>; Schäffer, H.A.

deutsche Glasindustrie
machte 2005
ca. 15 Mrd. € Umsatz

2005 ca. 124 Mio. t
Glas produziert

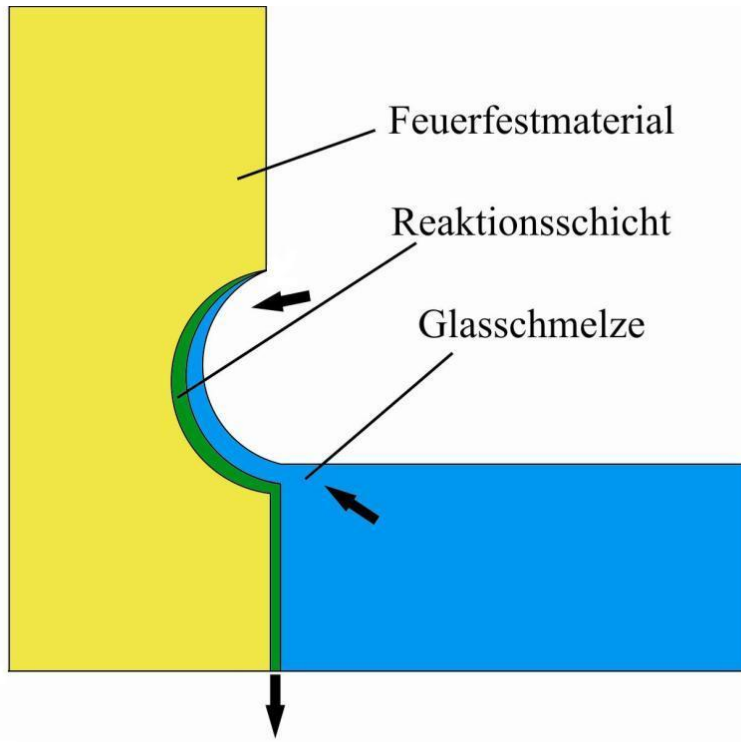


Quelle: <http://www.ogis.de>; Schäffer

Erhöhung der Produktivität durch längere Laufzeiten

Einführung Behandlungsprozess Charakterisierung des
Behandlungserfolges Fingertests Zusammenfassung & Ausblick

Grundlagen – Korrosion



- Korrosion infolge Diffusion und Konvektion
 - Reaktion der Glasschmelze mit dem Feuerfestmaterial
 - Glasschmelze spreitet über Grenzflächenglas
- durch Alkalipumpe wird immer wieder frische Glasschmelze an Feuerfestmaterial transportiert

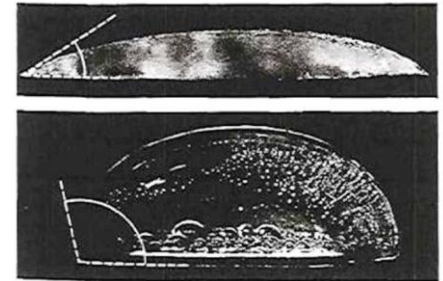


kontinuierlicher Korrosionsvorgang



Grundlagen – Verminderung von Korrosion

- Ziel einer Verbesserung sollte immer Lebensdauerverlängerung sein
- Einsatz von Werkstoffen mit hohem Schmelzpunkt
 - ➔ schmelzgegossene Erzeugnisse
 - ➔ Chrom(III)–oxid haltige Erzeugnisse
- Beschichtung der Feuerfestwerkstoffe
 - ➔ Platinbeschichtung
 - ➔ Beschichtung mit Metalloxiden
- Einfluss der Atmosphäre auf Schmelzbedingung



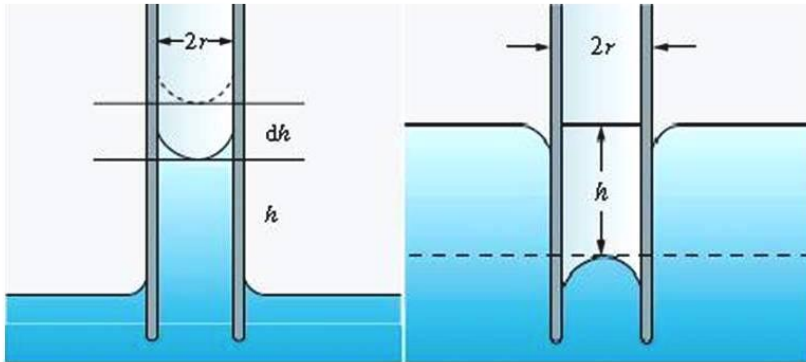
Quelle: Jepsen-Marwedel, Brückner

Erzeugung einer Sauerstoffslenke im Porenraum

Grundlagen – Verminderung von Korrosion

- Sauerstoffsenke erzeugt Kapillardepression
- Sauerstoffsenke schaffen durch:
 - ➔ Gasphase
 - ➔ Metall / Metallverbindung

↪ **Einbringen über Infiltration der porösen Feuerfeststeine**



Quelle: Gerthsen Physik



Vorüberlegung

- Stoff muss Sauerstoffquelle Glasschmelze reduzieren
- zur Auswahl standen:

| Stoff | Li | Na | K | Mg | Ca | Ti | Al | Zn | Sn |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Potential [V] | -3,05 | -2,71 | -2,92 | -2,38 | -2,71 | -1,21 | -1,66 | -0,76 | -0,14 |
| Schmelztemperatur [°C] | 180 | 98 | 64 | 650 | 838 | 1610 | 660 | 419 | 232 |



Auswahl von Aluminium für Untersuchung

- Auswahl von drei Steinsorten für die Untersuchungen:



Behandlungsprozess

- kein Abscheidungserfolg von metallischem Aluminium mit aluminiumhaltigen Lösungen
- einwickeln der Probe in Aluminiumfolie (eine Lage)
- konstante Behandlungszeit (drei Stunden) und Atmosphäre (Formiergas)

Aufheizen

Halten

Abkühlen

- Variation der Temperatur

Temperatur [°C]

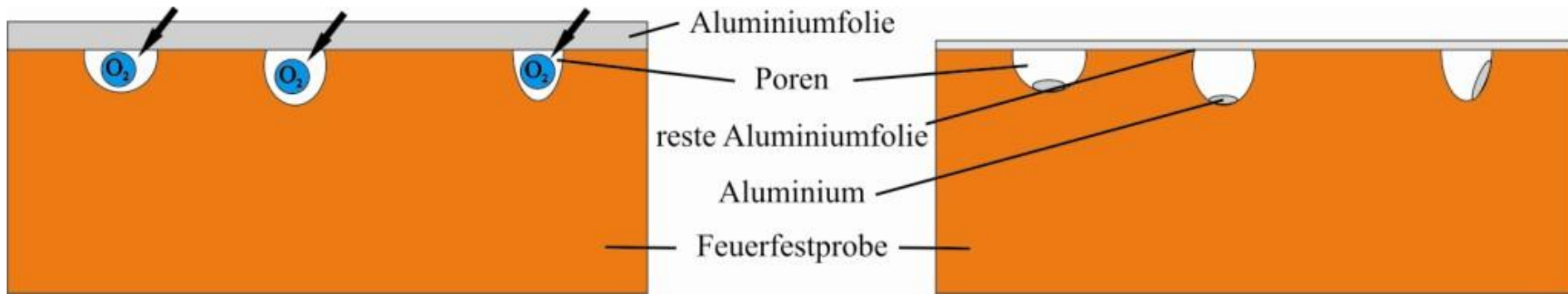
710

910



Behandlungsprozess

- Feuerfestmaterial in Aluminiumfolie gewickelt
- Sauerstoff in Poren reagiert mit Aluminium

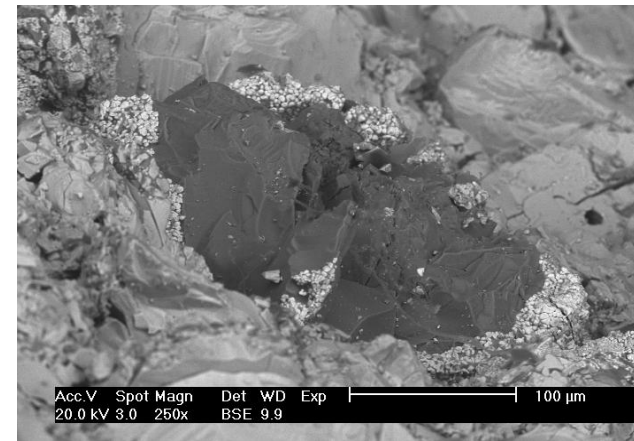
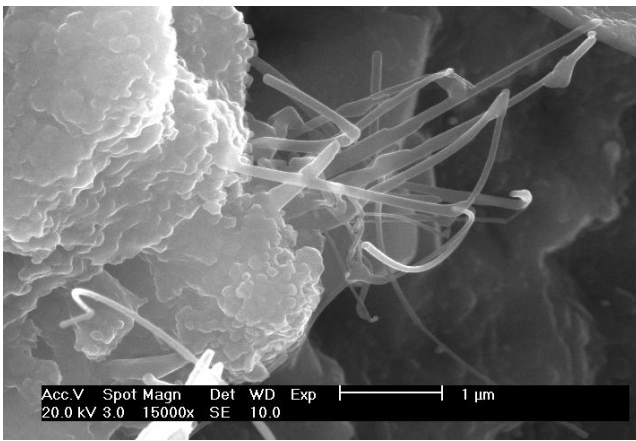


- Sauerstoff in Poren verbraucht
- durch Unterdruck Aluminium in Poren gesaugt



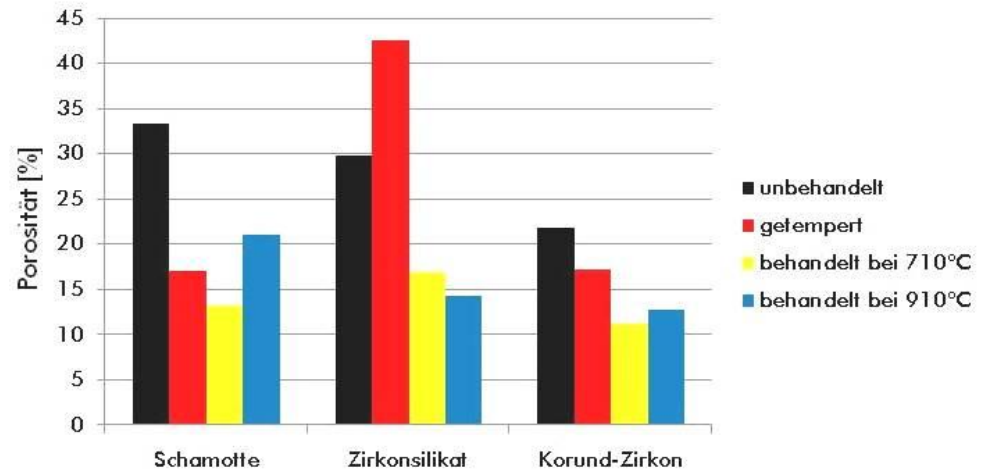
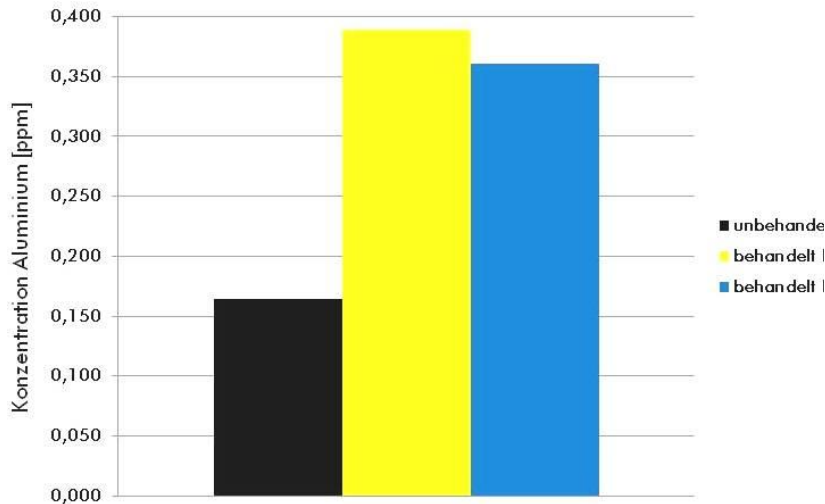
optische Veränderung

- Graufärbung infolge Reduktion der Verunreinigungen
- Anreicherung und Einbau einer Aluminiumverbindung
- Bildung von Aluminiumnitrid durch die Behandlung bei 910°C



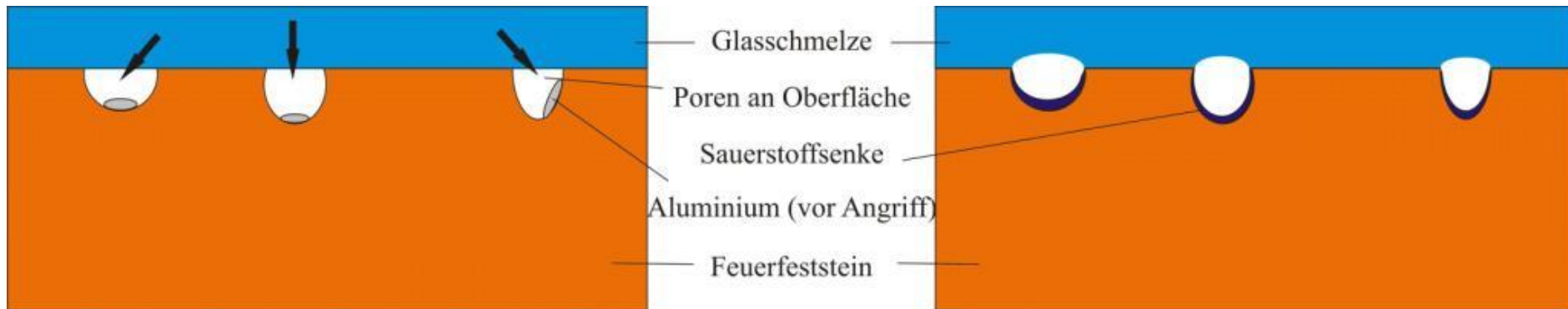
Charakterisierung & Nachweis

- Abnahme der Porosität infolge der Behandlung
 - Zustand Aluminium ungeklärt
- ↩
- Aufschluss der Proben mit Salzsäure
 - Erhöhung der Aluminiumkonzentration in der Lösung durch die Behandlung



Wirkung des Aluminiums

- Aluminium wirkt als Sauerstoffsенke und erzeugt Kapillardepression in den Poren

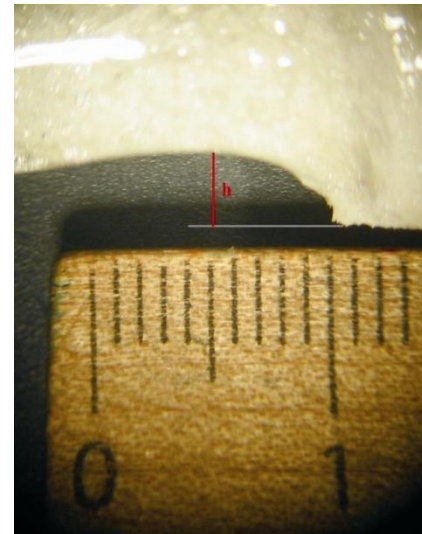
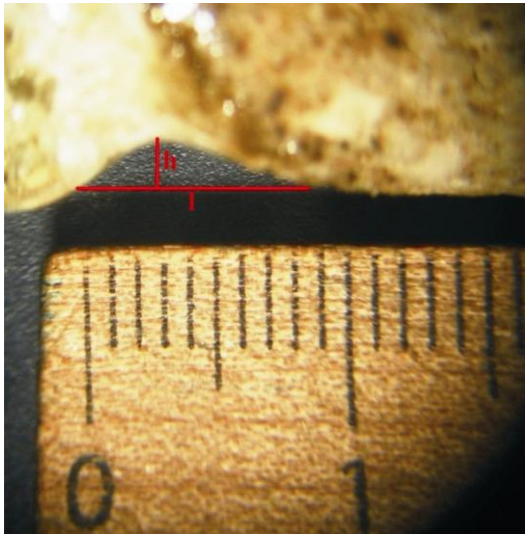
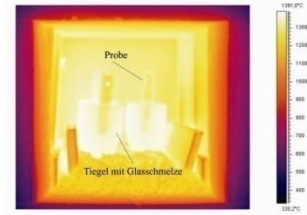


↪ Erhöhung der Korrosionsbeständigkeit



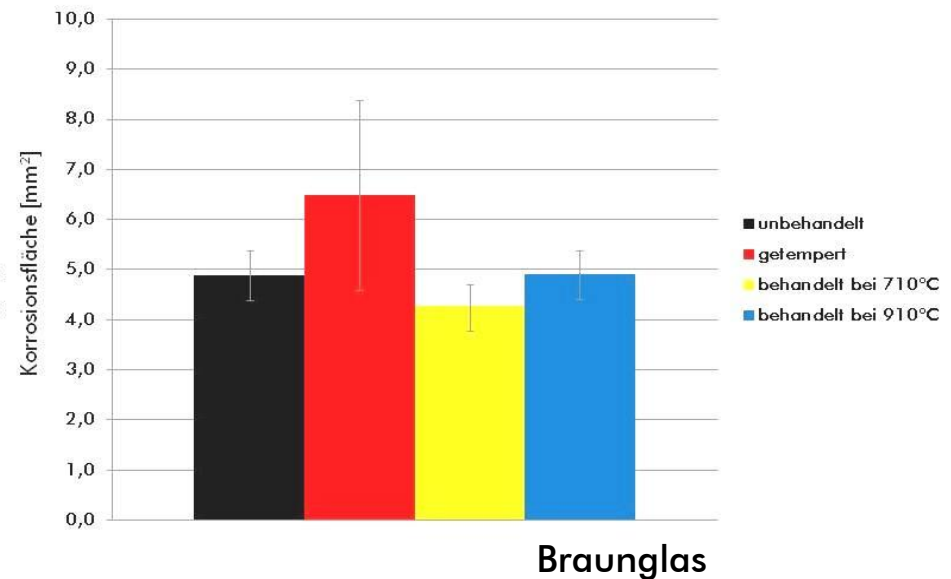
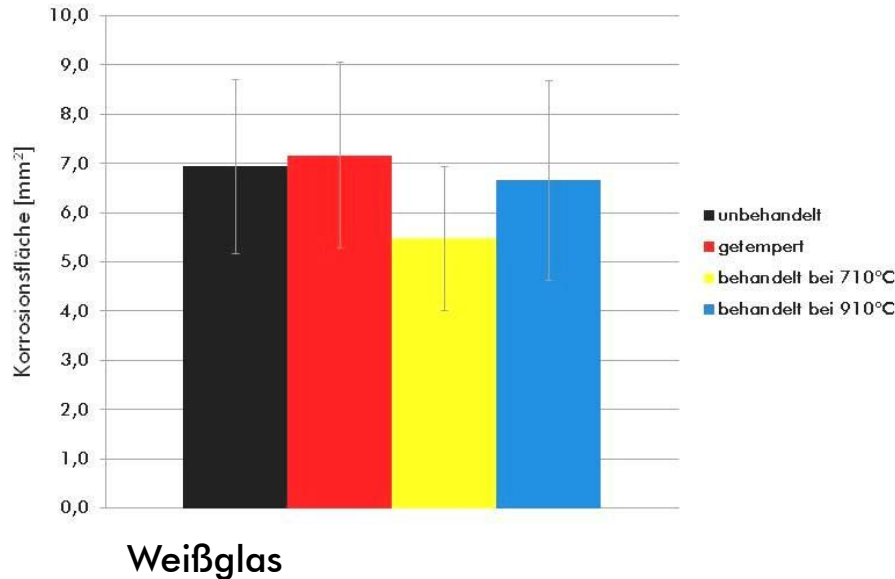
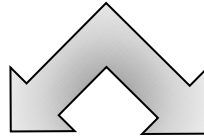
statischer Fingertest – Grundlagen

- Proben bei 1360°C in Schmelze getaucht
- nach Zwanzigstundenangriff Proben aus Schmelze genommen und kontrolliert abgekühlt
- optische Auswertung des Korrosionsausmaßes



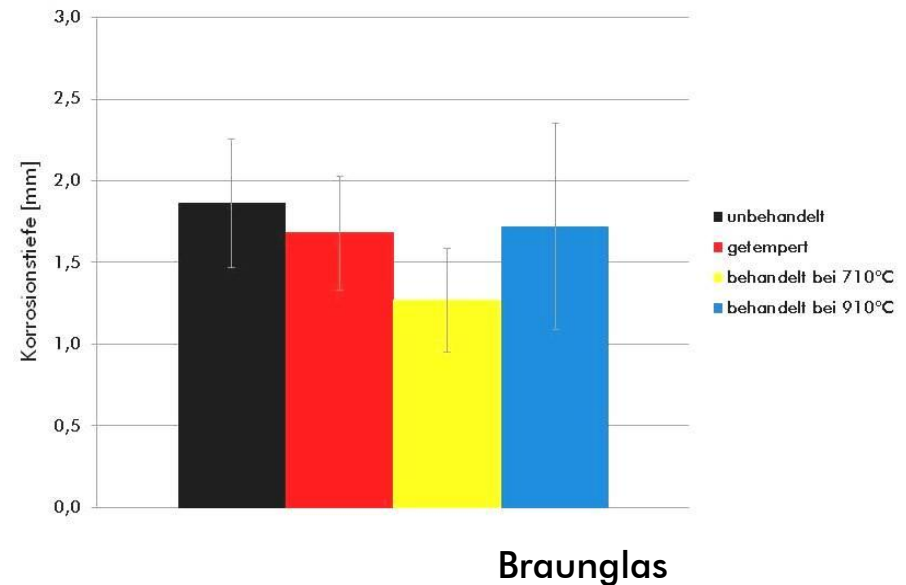
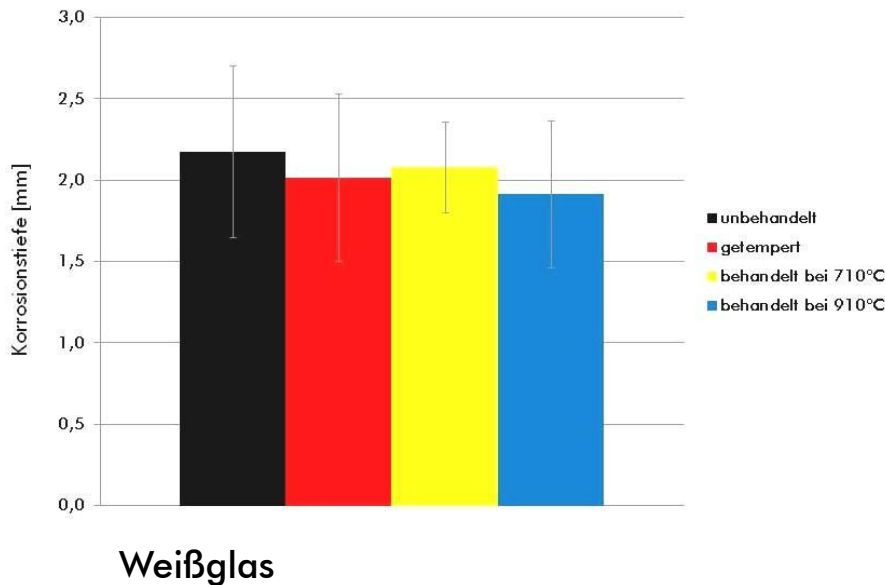
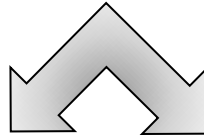
statischer Fingertest – Ergebnisse

- Erhöhung der Beständigkeit von Schamotte um bis zu 20% in Weißglas durch die Behandlung



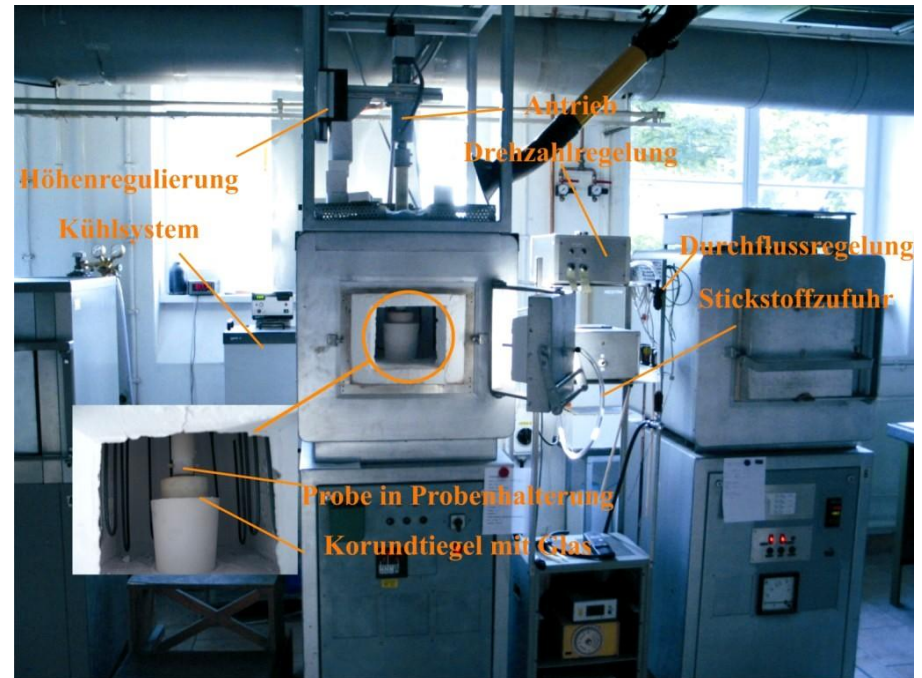
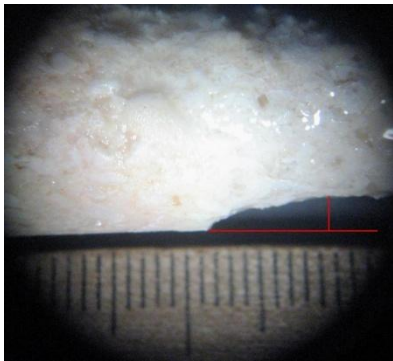
statischer Fingertest – Ergebnisse

- Erhöhung der Beständigkeit von Zirkonsilikat um bis zu 32% in Braunglas durch die Behandlung



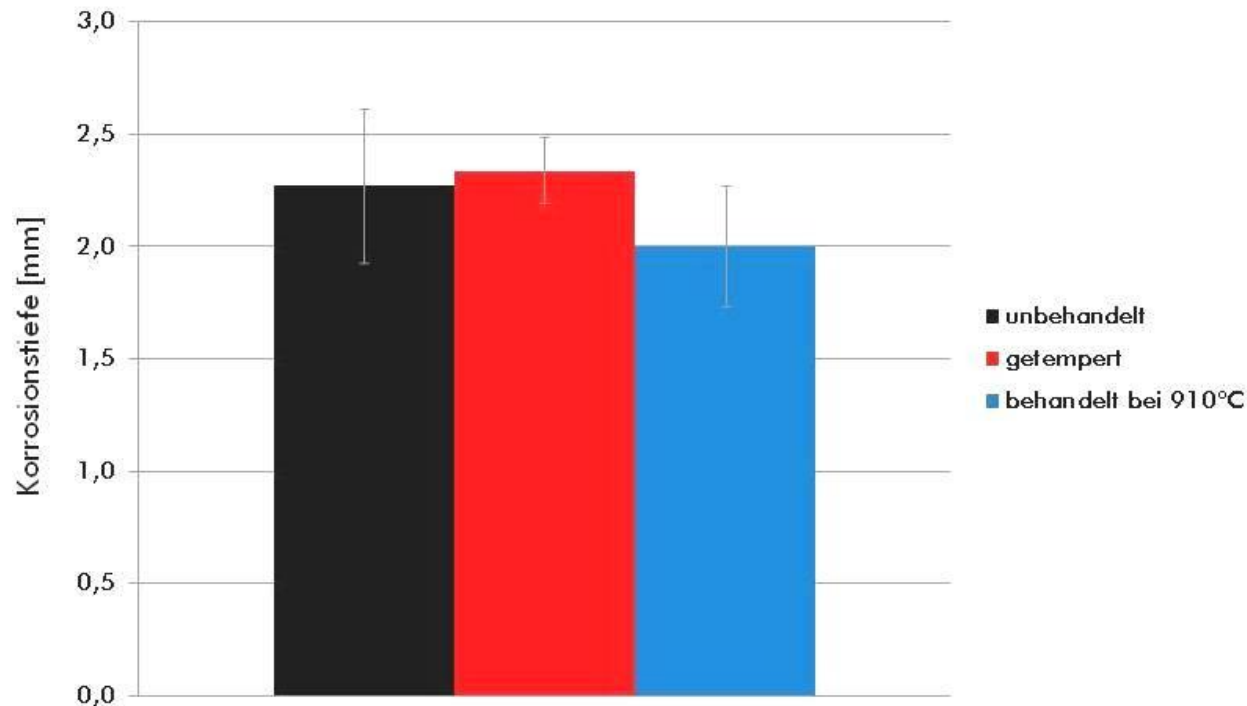
dynamischer Fingertest – Grundlagen

- Proben bei 1475°C in Schmelze getaucht
- 24h-Angriff mit 65 U_{min} in N₂-Atmosphäre
- Abtropfen der Schmelze nach dem Angriff
- Auswertung des Korrosionsausmaßes analog zum Zirkonsilikat



dynamischer Fingertest – Ergebnisse

- Behandlung nur bei 910°C durchgeführt
- Erhöhung der Beständigkeit von Korund-Zirkon um bis zu 12% in Weißglas durch die Behandlung



Zusammenfassung

- Anreicherung von Aluminium in porösem ff-Material ist möglich → Graufärbung
- Einbau von Aluminium in des Gefüge durch Mullitbildung und Entstehung von AlN-Whiskern bei der Behandlung bei 910°C
- Erzeugung einer Kapillardepression im Porengefüge durch das Aluminium
- Erhöhung der Korrosionsbeständigkeit um 12...32%
- Verbesserung ist abhängig von der jeweiligen Glasschmelze und Steinsorte



Ausblick

- weitere Stoffe für die Behandlung verwenden
- Auswirkung der Infiltrationsprodukte untersuchen
- weitere Langzeittests nötig
- Variation der Behandlungs- und Angriffsbedingungen nötig, um Temperatur- und Zeitabhängigkeit zu klären.
- Bezogen auf 10% Verbesserung können kalkulatorische Investitionskosten von $\approx \frac{1}{2}$ Mio. € pro Jahr bei einer mittleren Anlage (≈ 50 Mio. € Investitionskosten) eingespart werden.



**Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit !**

