



Elektrische Hybridbeheizung -
Zusatzheizung mittels
Mikrowellen zum Trocknen
und Brennen sensibler
keramischer Bauteile

Referenten:
Dr. Robert Eder
Dr. Volker Uhlig
M. Reichmann
R. Behrend

IBT
THERMPROCESS

Geschäftsfelder

IBT ist **Komplettendienstleister** im **Sondermaschinen- und Anlagenbau** für **Wärme- und Strahlungstechnik**. Wir gestalten und optimieren thermische Prozesse unter Nutzung von Wärmestrahlung, Konvektion und Wärmeleitung.

Keramiken

Trocknen
Entbindern
Sintern
Wärmebehandlungen

Kunst- und Verbundwerkstoffe

Erwärmen
Tempern
Recyclen
Pyrolyse

Stoffumwandlungen

Veredelung von Biomasse zu energetisch
oder stoffliche nutzbaren Produkten
Pyrolyse
Wasserstoffherstellung

Metalle

Entbindern
Sintern
Vakuum- und Prozessgaslötten
Härten/Glühen

IBT SMART SOLUTION - Baureihen



ContiLine-HEAT:

Der Durchlaufofen für jeden thermo-plastischen Umformungsprozess in Großserie



ContiLine-DRY:

Der Durchlaufprozess für schnelle Lacktrocknung mit Explosionsschutz.



ContiLine-LAB:

Der Laborofen für anspruchsvolle thermische Prozesse im Durchlaufverfahren.



ContiLine-TUBE:

Thermische Bearbeitung von Rohren im Durchlaufverfahren.



ThermoLine-HEAT:

Der Chargenofen für effektive thermische Kunststoffbearbeitung



ThermoLine-DRY:

Im Chargenofen individuell und flexibel trocknen.



ThermoLine-VAC:

Unter Schutzgasatmosphäre zu Höchsttemperaturen



ThermoLine-TUBE:

Thermische Bearbeitung von Werkstoffen innerhalb einer Rohres.

Vakuum- und Prozessgasöfen



Sintern von Metallen

Temperatur: 1400 °C

Prozessvolumen: 100 l

Vakuum bis $5 \cdot 10^{-6}$ mbar

Schutzgase Argon, Stickstoff



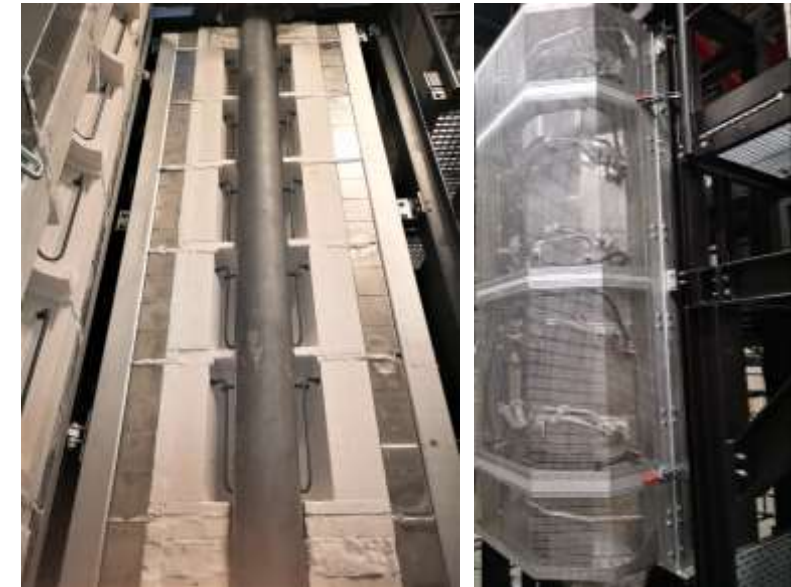
Sintern von Keramiken

Temperatur: 2800 °C

Prozessvolumen: 10 l

Vakuum bis $1 \cdot 10^{-5}$ mbar

Schutzgase Argon, Stickstoff



Herstellung H₂

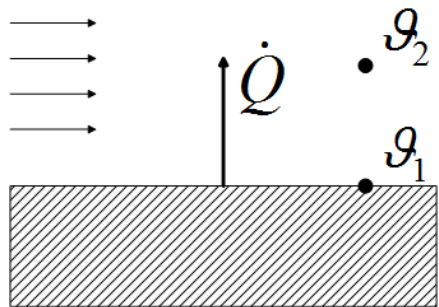
Temperatur: 1600 °C

Beheizte Rohrlänge: 2.000 mm

Schutzgase Stickstoff
Prozessgas Methan, Wasserstoff

Wärme ins Produkt, aber wie? Überblick – Wärmeübertragungsmechanismen

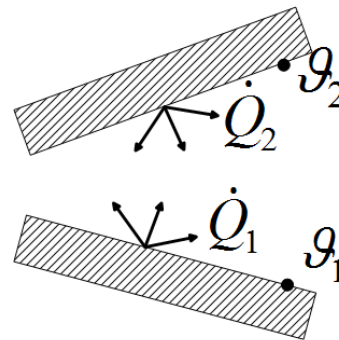
Wärmeübertragung zwischen einer Wand und einem strömenden Fluids nennt man Konvektion



Konvektion zwischen einer Oberfläche und bewegtem Fluid

$$\dot{q} = \alpha * (T_F - T_W)$$

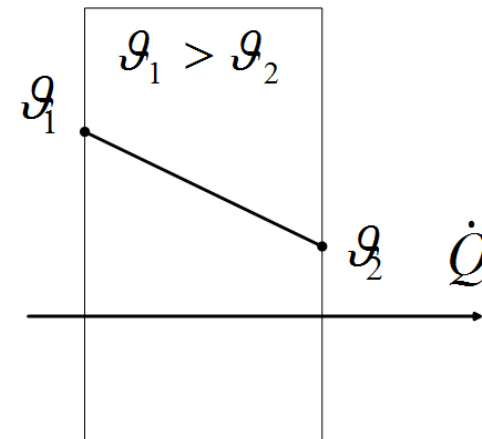
Wärmestrahlung sind elektromagnetische Wellen die Wärme von einer zu einer anderen Oberfläche transferieren



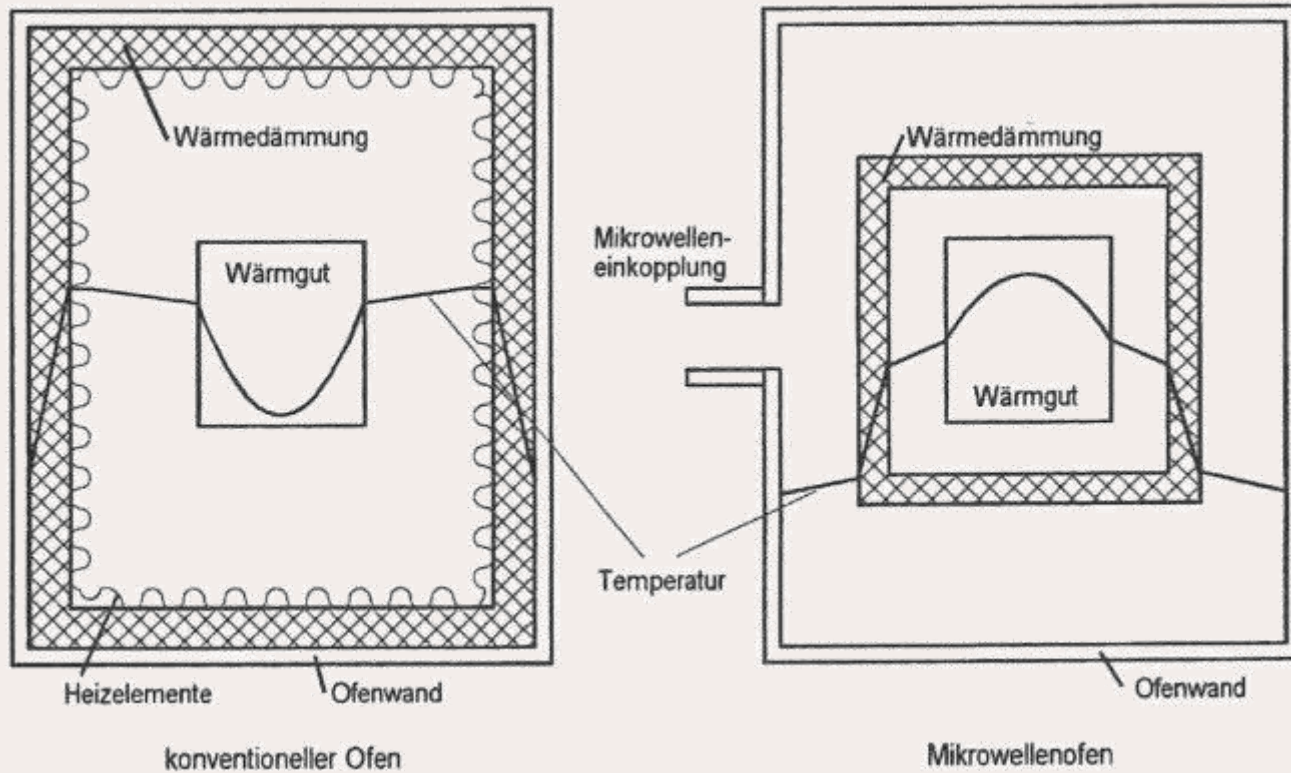
Wärmestrahlung zwischen zwei Oberflächen

$$\dot{Q}_{12} = \epsilon_{12} * \sigma_s * A_1 * (T_1^4 - T_2^4)$$

Wärmeleitung ist das Fließen von thermischer Energie aufgrund eines Temperaturunterschiedes



Wärmeleitung in einem Körper



Wärmeübertragung durch elektromagnetische Wellen

Mikrowellen:

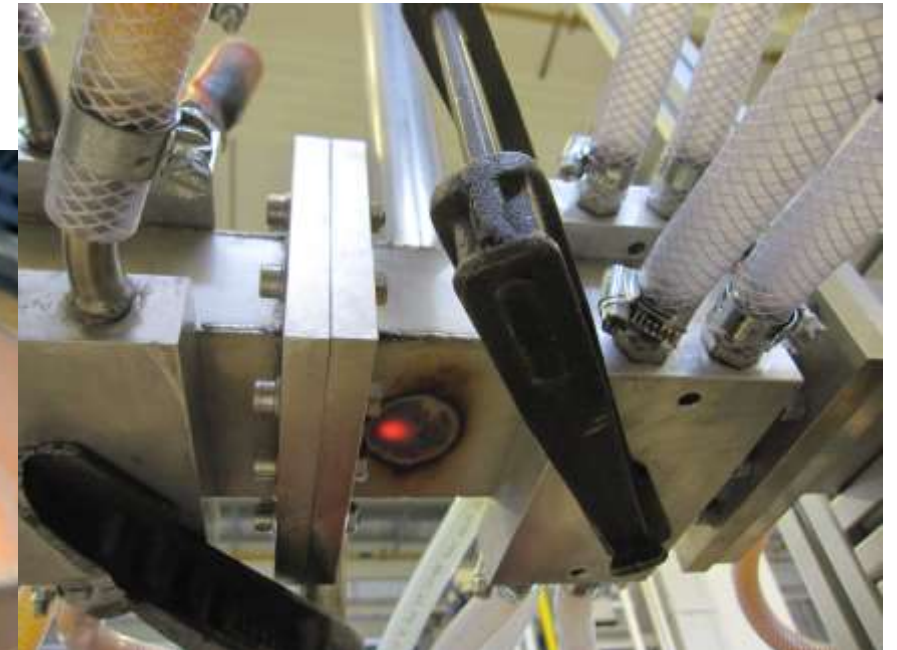
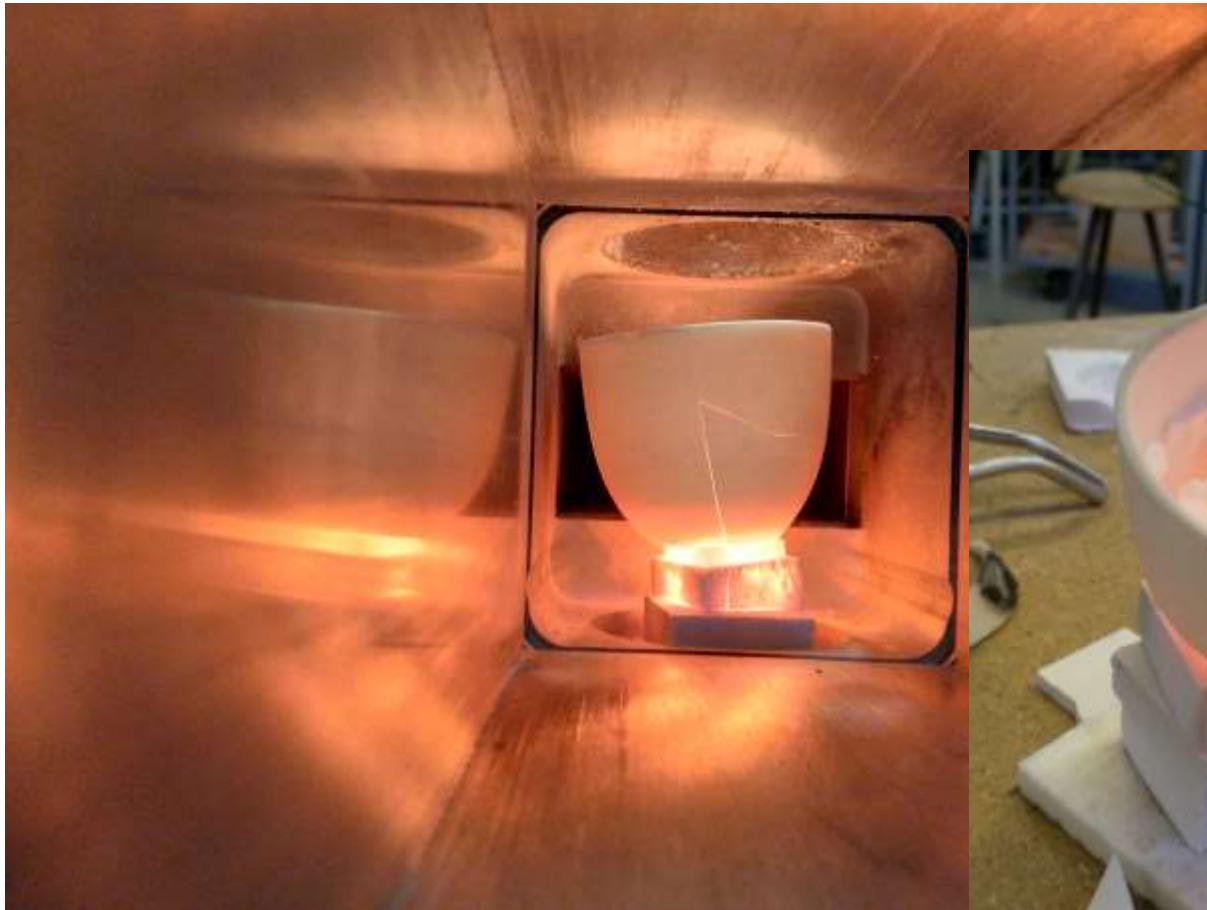
Elektromagnetische Felder bewirken im Innern der Körper

- Schwingungen polarer Moleküle
- Volumetrische Erwärmung
- Temperaturfeld

Höchste Temperatur im Innern

Niedrigste Temperatur an der Oberfläche

→ Inverses Temperaturfeld



Zugelassene Frequenzbänder

Frequenz f	Wellenlänge λ	Rel. Eindringtiefe*
915 MHz	32,8 cm	2,68
2450 MHz	12,2 cm	1,0
5800 MHz	5,17 cm	0,42

Eindringtiefe in dielektrische Werkstoffe:

$$s = \frac{c_0}{2\pi f \sqrt{\epsilon_r'} \tan(\delta)}$$

*Rel. Eindringtiefe auf 2,45 GHz normiert mit der Annahme von frequenzunabhängigen Stoffwerten

→ Kombination von zwei Frequenzen für gleichmäßigere Erwärmung

Anlagenbeispiel: Wunschliste des Anlagenbetreibers für Chargenanlage

1. Trocknung bis 250 °C

- Gereg. Befeuchtung der Umluft
- Gereg. Temperierung der Umluft über Heizregister
- Massegeregelte Trocknung des Produkts
- Mikrowellentrocknung mit 915 MHz und 2,45 GHz
- Geregelt/beschleunigte Abkühlung

2. Sintern bis 1.100 °C

- Mikrowellenbeheizung mit 915 MHz und 2,45 GHz
- Konventionelle Beheizung bis 1.100°C
- Geregelt/beschleunigte Abkühlung

3. Messtechnik:

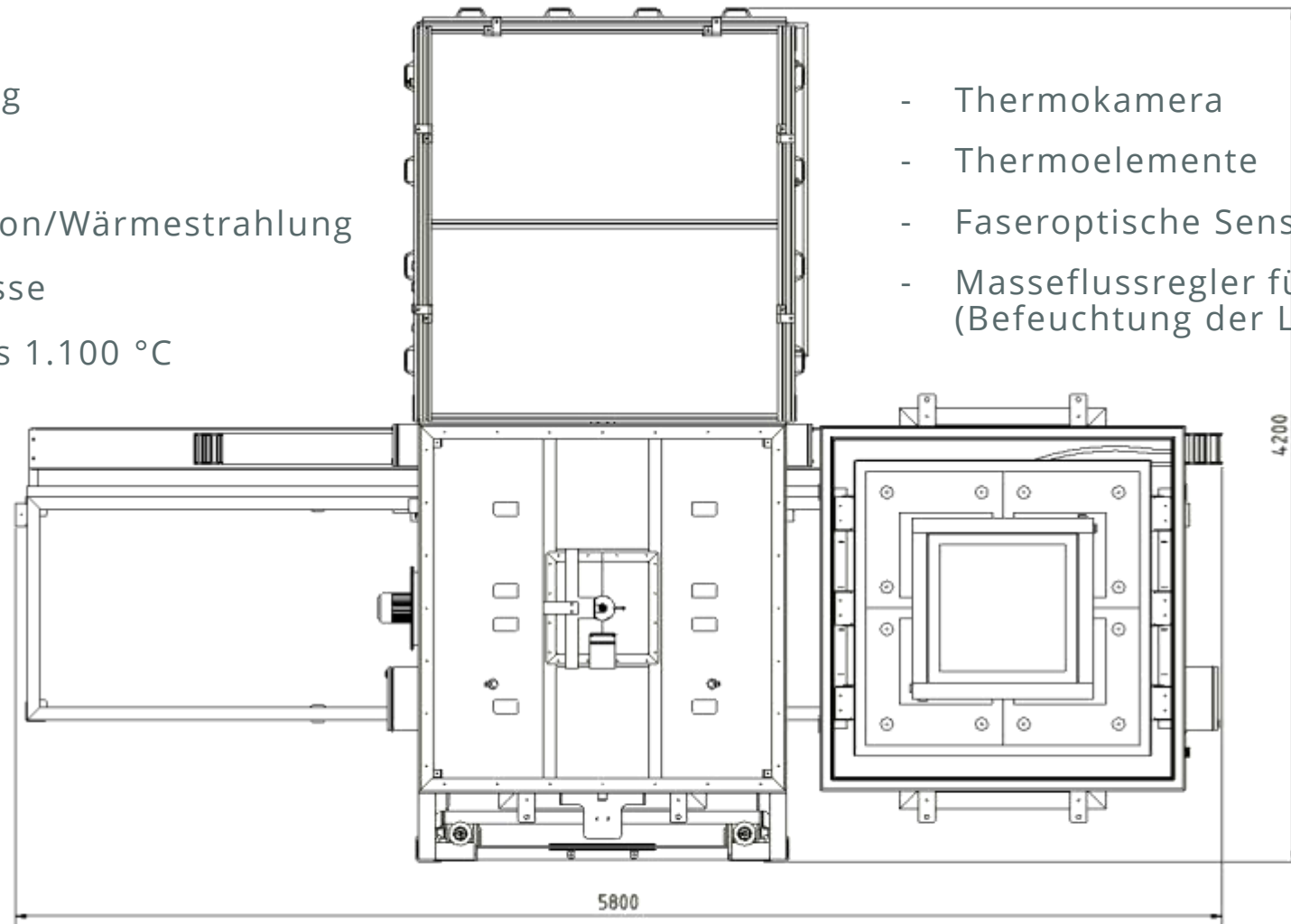
- Thermoelemente und faseroptische Temperatursensoren
- Produktwaage
- Thermokamera
- MFC's

4. ABER: begrenztes Budget ...

Anlagenbeispiel: Design

- Hybride Beheizung
- Mikrowelle
- Heißluft/Konvektion/Wärmestrahlung
- Trocknungsprozesse
- Sinterprozesse bis 1.100 °C

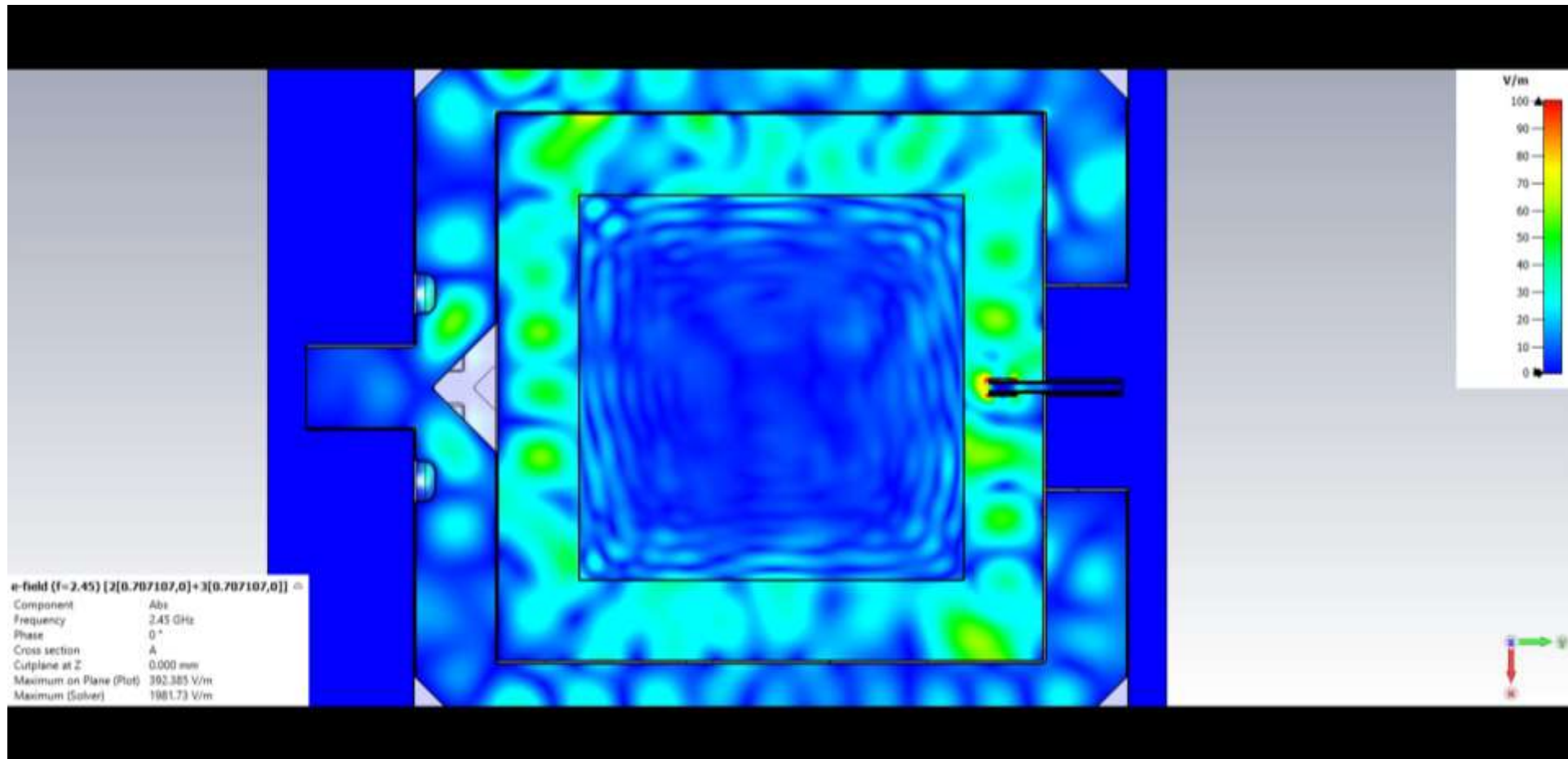
- Thermokamera
- Thermoelemente
- Faseroptische Sensoren
- Masseflussregler für Luft und Wasser (Befeuchtung der Luft)



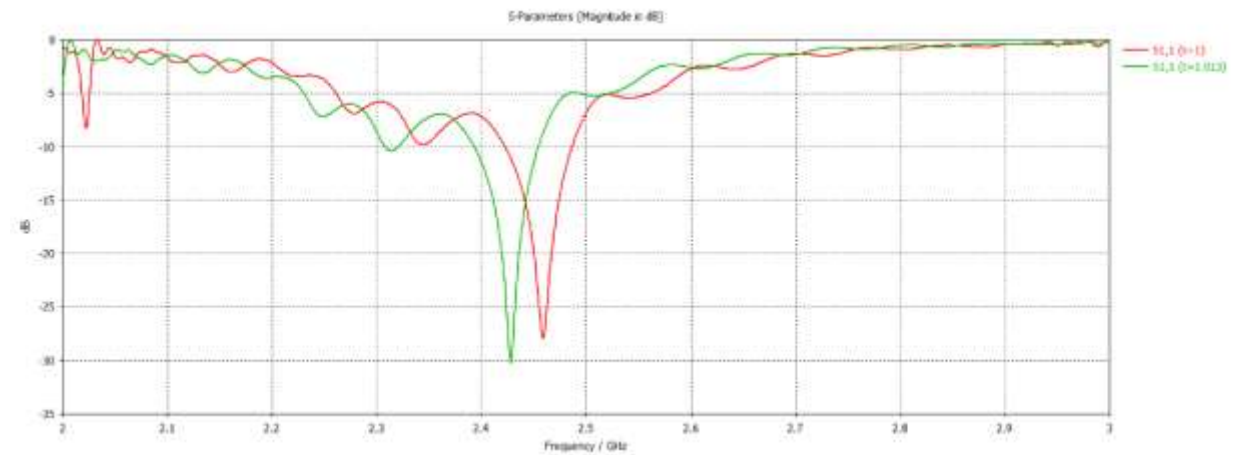
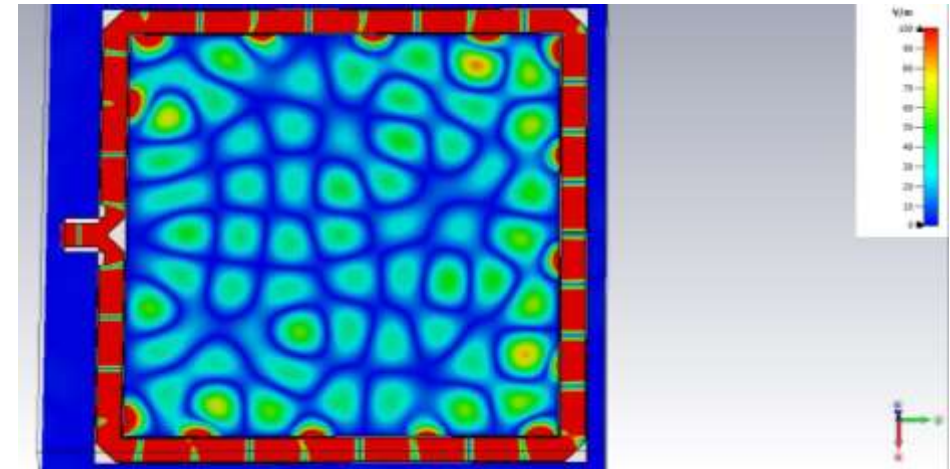
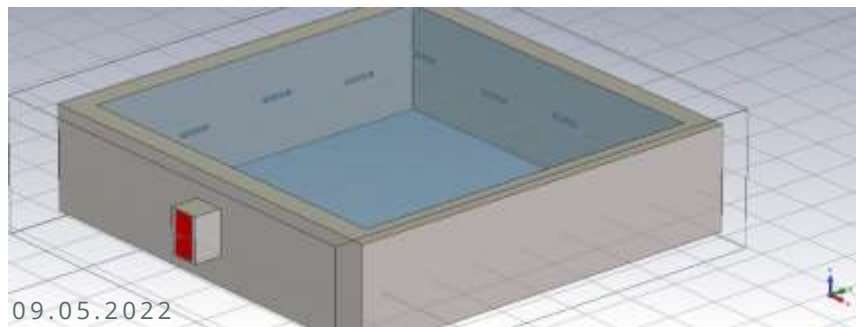
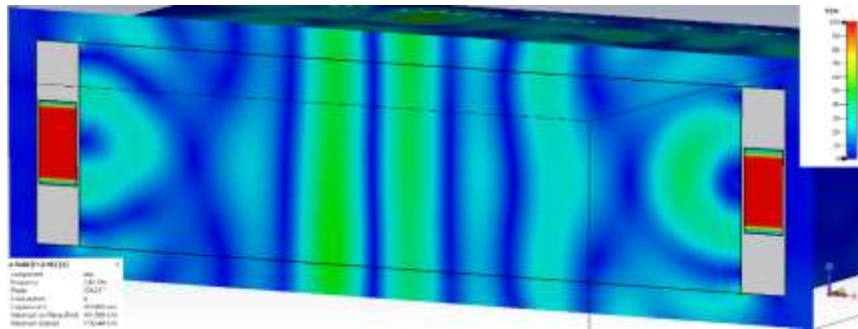
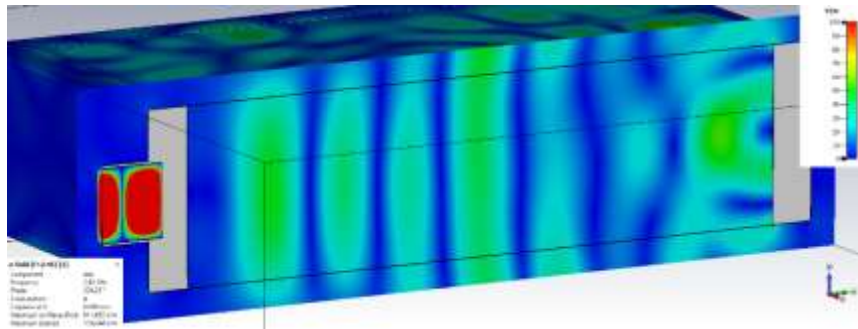
Anlagenbeispiel: Gestaltung der Applikatorkammer

- Applikator (Cavity) für zwei Frequenzen: **915** MHz und **2,54** GHz
- Numerische Simulation der Verteilung der elektrischen Feldstärke mit Berücksichtigung der geplanten Probengeometrie mit Berücksichtigung der thermischen Dehnung der Cavity
- Ringförmiger Hohlleiter mit Schlitzeinlässen in die Cavity
- Metallische Cavity aus Nickelbasis-Legierung (Heißwandapplikator)
- Symmetrischer Aufbau zur Probe der Hohlleiter in xy-Ebene
- Erprobter Verschluss der Cavity:
 - Verzahnung (Verlängern der „Dichtlinie“)
 - $\lambda/4$ -Fallen für beide Frequenzen
 - Komplettes metallisches Gehäuse des Ofens
- Felldrührer (Stirrer) an einer Cavity-Wand
- Konventionelle Beheizung der Cavity von außen

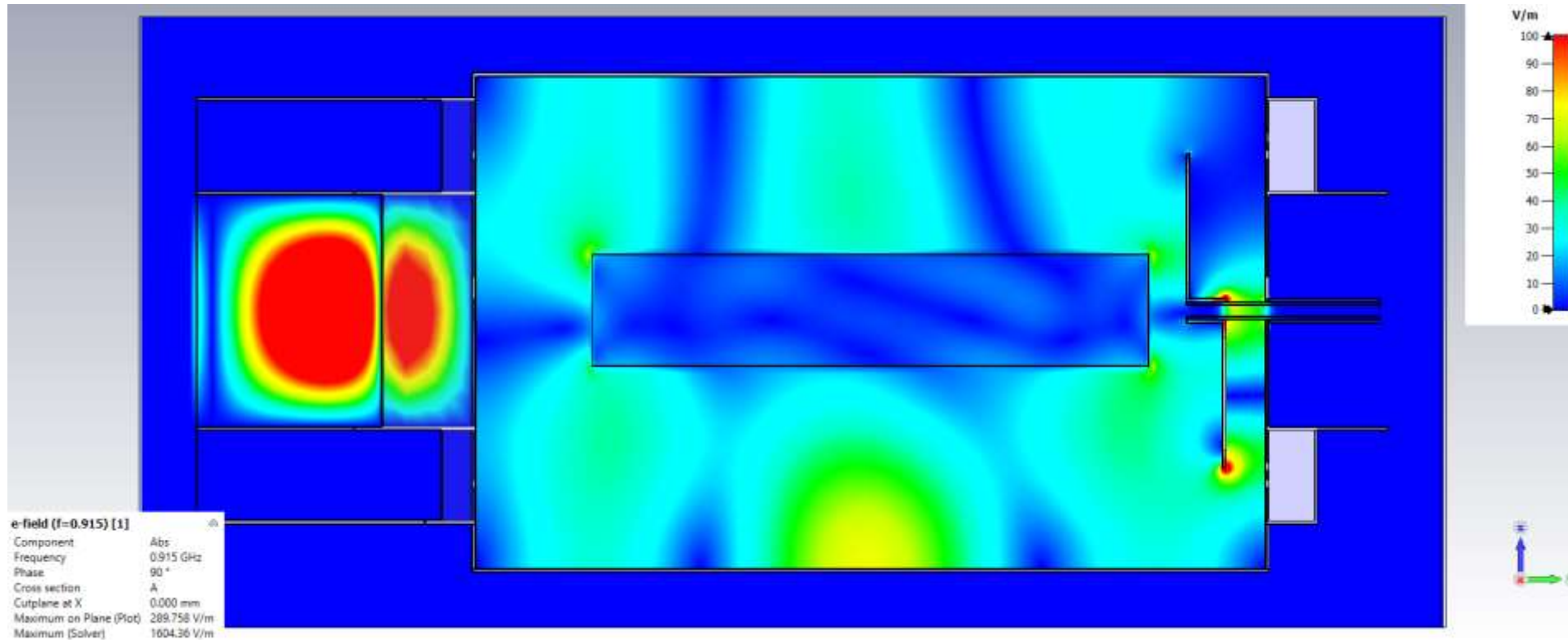
Anlagenbeispiel: Simulation I



Anlagenbeispiel: Simulation II

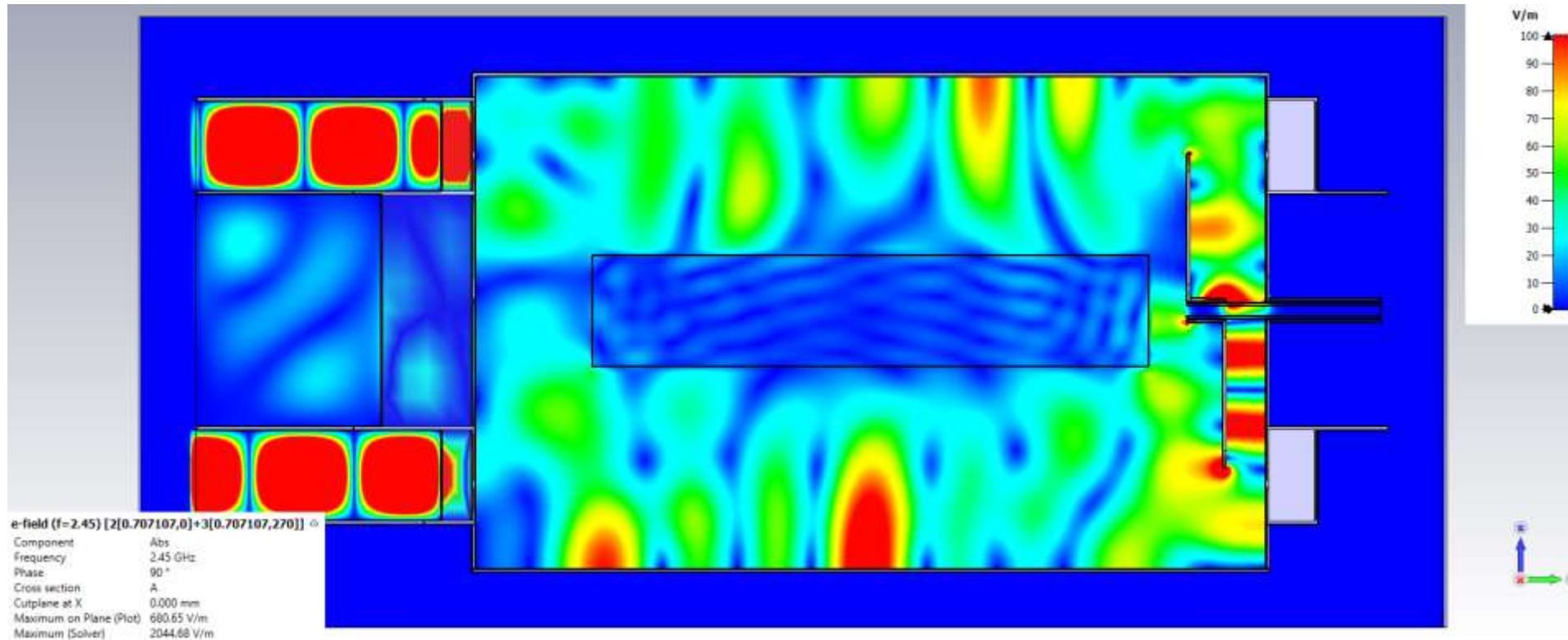


Vertikale Verteilung der elektrischen Feldstärke



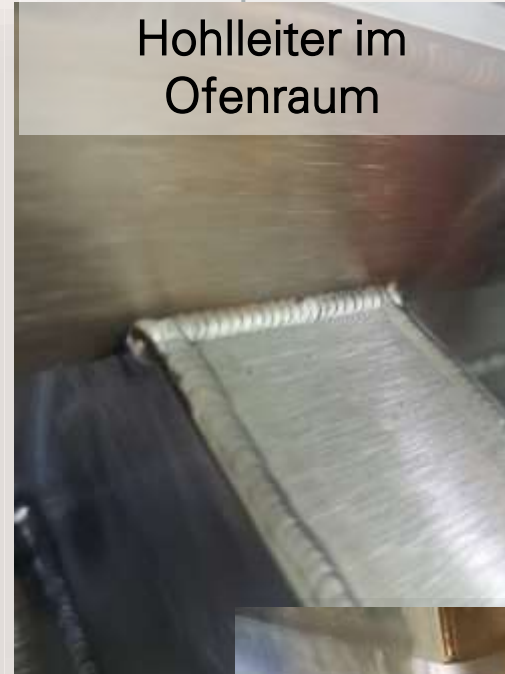
Mittelebene, 915 MHz

Vertikale Verteilung der elektrischen Feldstärke

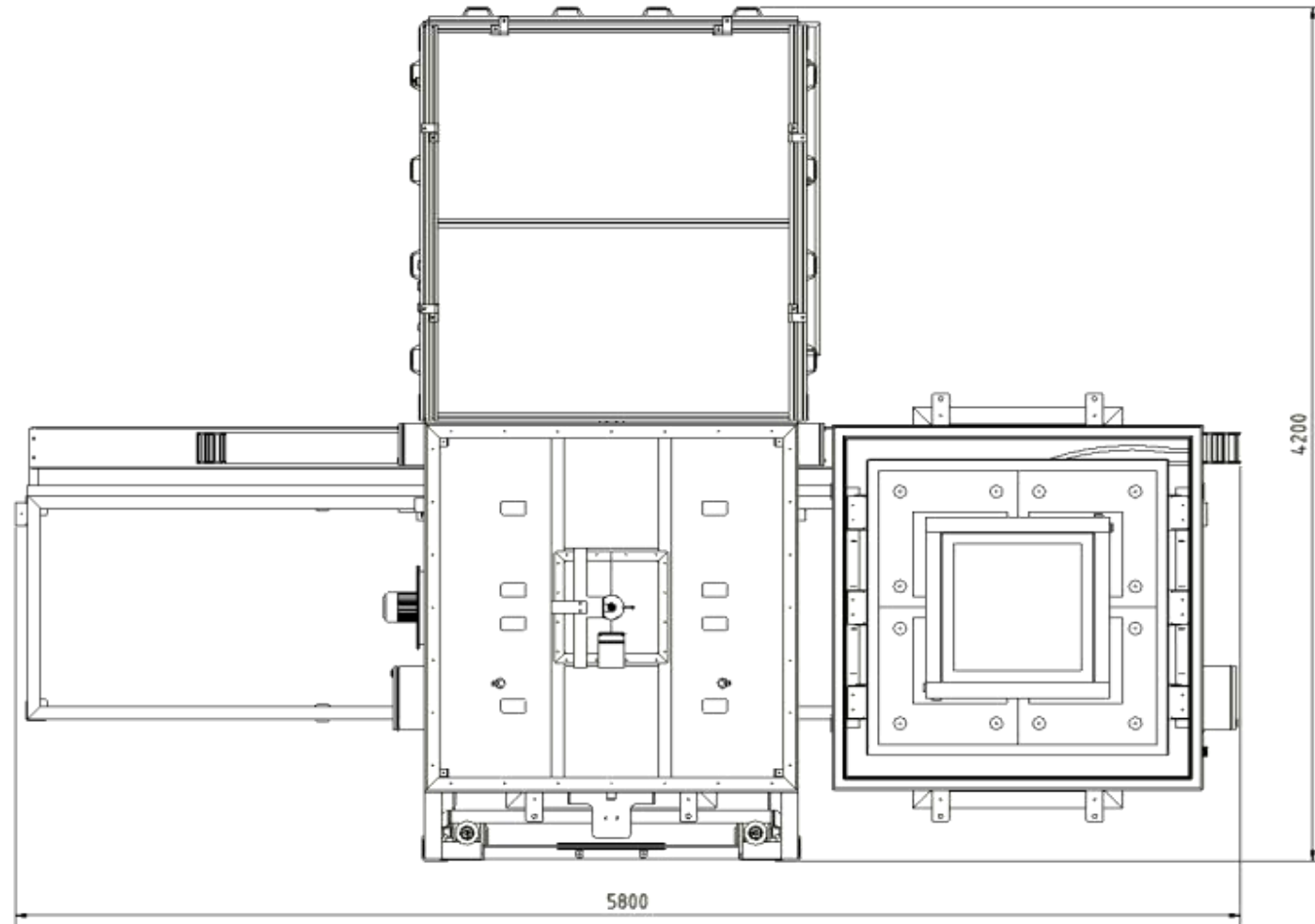
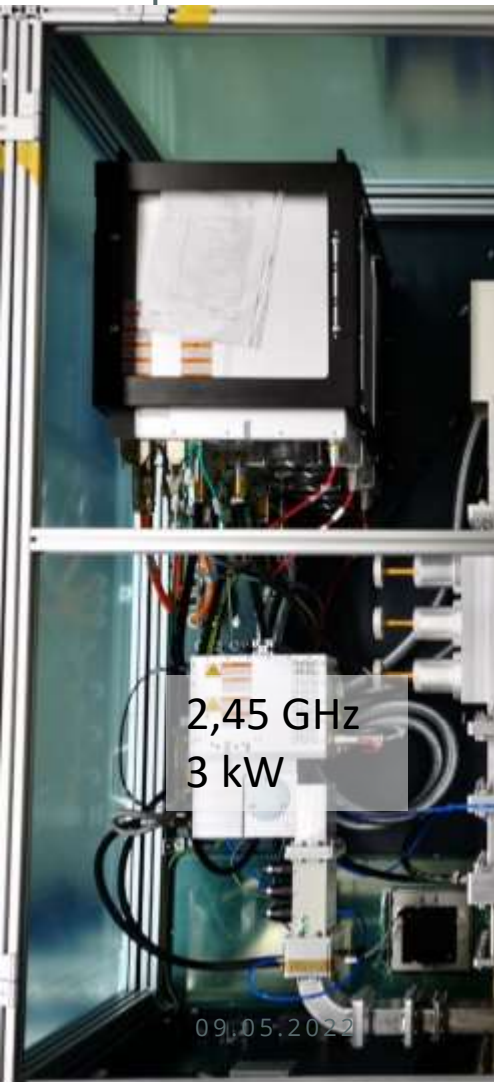


Mittelebene, 2,45 GHz

Realisierung – Cavity aus 2.4633



Realisierung - Mikrowellentechnik



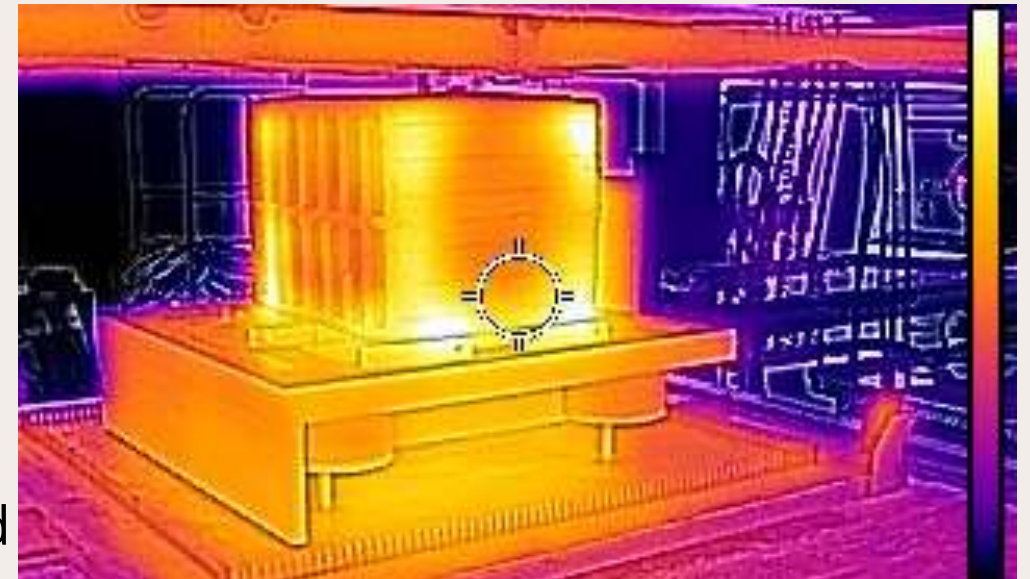
Gesamtanlage



Trocknung grobkeramischer Bauteile – Erste Tests



Vergleich Realbild – IR-Bild



//

*Liebes IBT-Team,
bei dieser Gelegenheit möchte ich mich auch noch
bei Euch/Ihnen für das große Engagement bedanken,
dass die Anlage nun endlich ins Laufen kommt. [...] Wir sind begeistert, dass diese Anlage jetzt wirklich alle Anforderungen aus der Leistungsbeschreibung erfüllt, da steckt wirklich viel IBT-Know-How drin! Für uns ist völlig klar, dass IBT auch im derzeit geplanten Folgeprojekt wieder dabei sein muss.*

IBT Kunde

VIELEN DANK!

IBT GmbH

Am St. Niclas Schacht 13

09599 Freiberg

03731.16 83 24

r.eder@ibt.de

www.ibt.de



IBT.

Thermoprocesstechnik