Eine neue Methode zur Bestimmung von Emissionsgraden bei hohen Temperaturen mittels aero-akustischer Levitation

Fabian Greffrath

RWTH Aachen University, Institut für Gesteinshüttenkunde

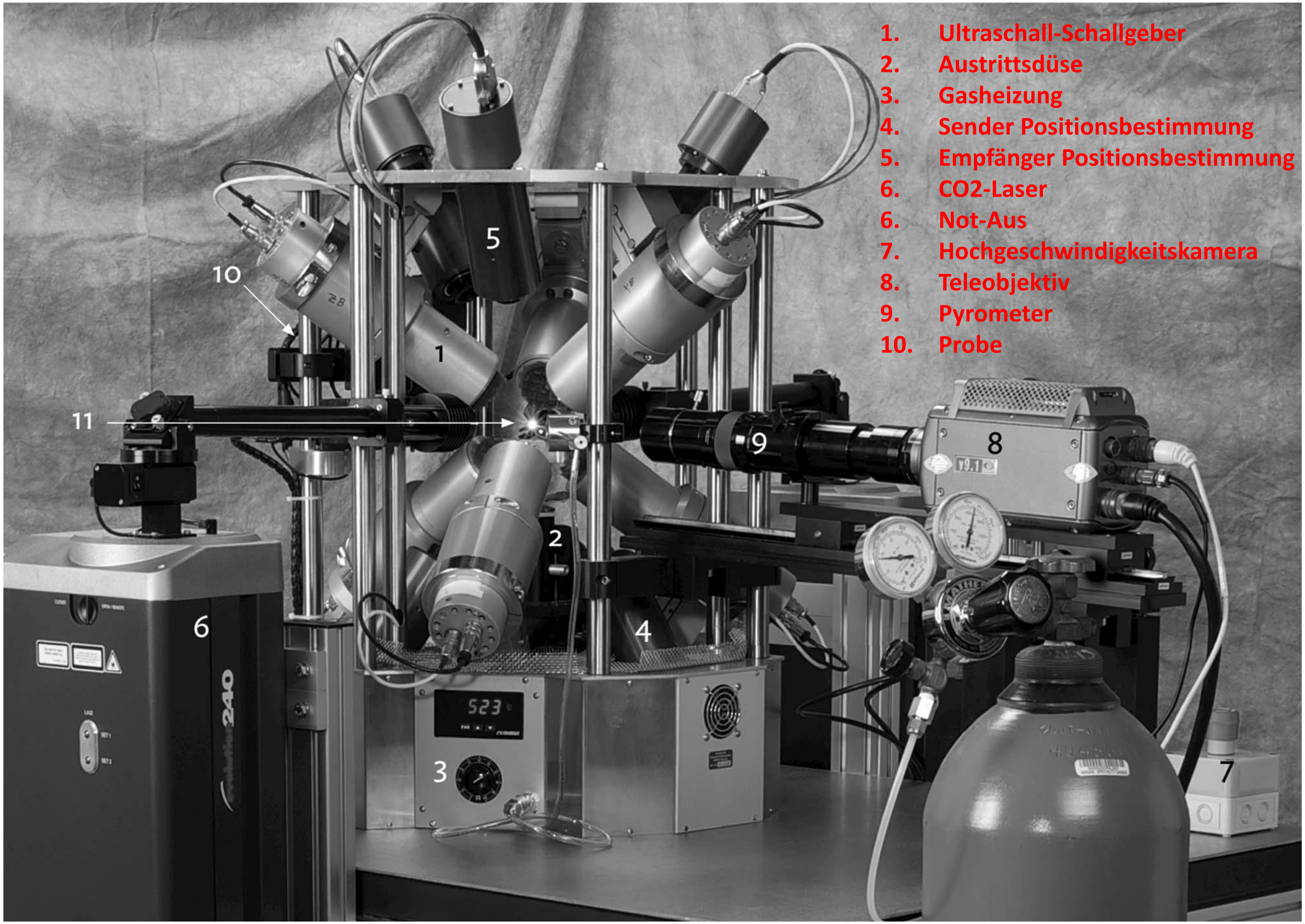
Sitzung des AK-Thermophysik in der GEFTA

am 09. und 10. März 2015 in Aachen

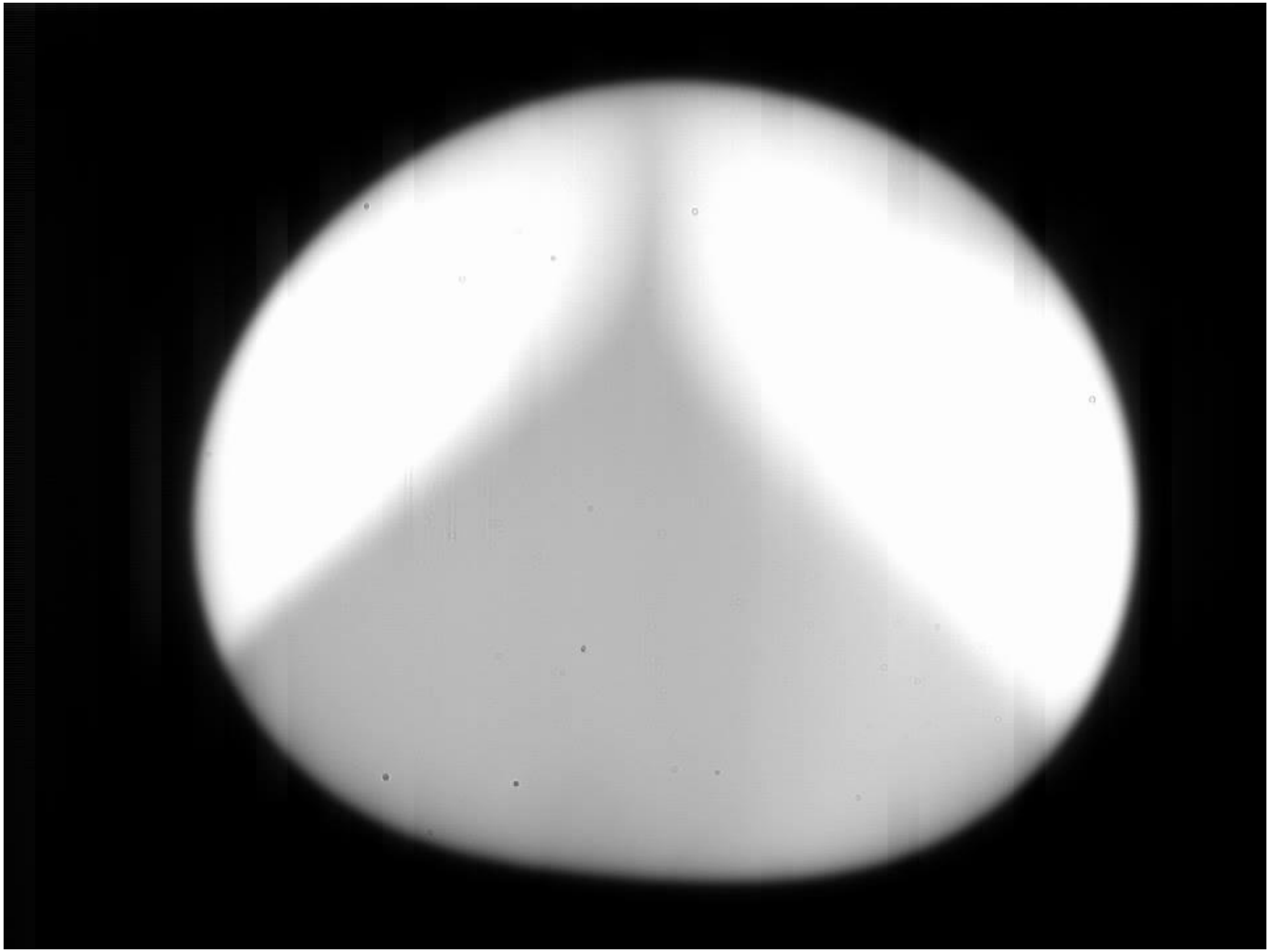
Inhalt

- Schwebeschmelzanlage
- Motivation
- Messmethode
- Wärmebilanzrechnung
- Experimentelle Ergebnisse
- Diskussion

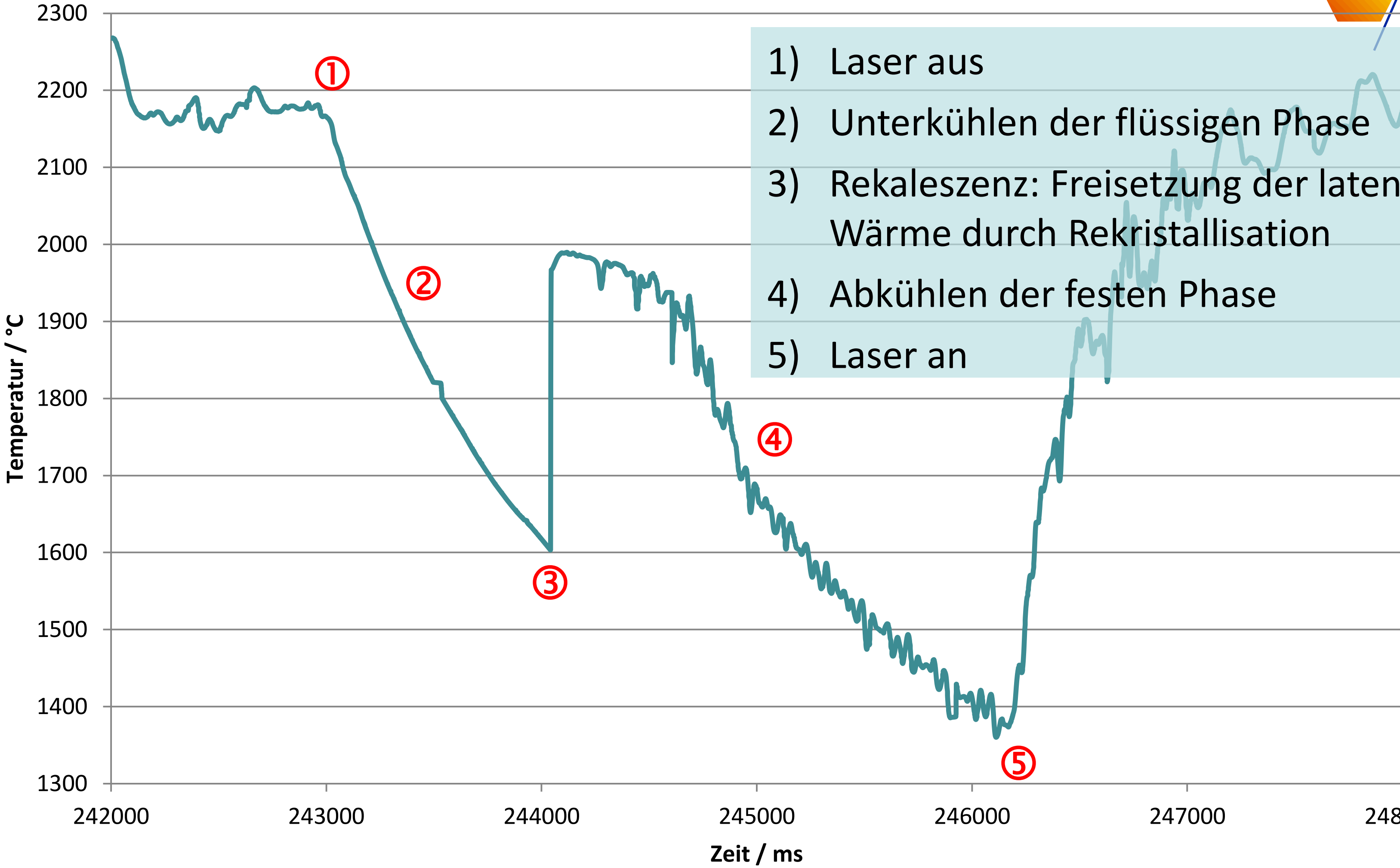
Schwebeschmelzanlage



Schwebeschmelzanlage
Video: Rekaleszenz Al_2O_3



Schwebeschmelzanlage
Temperatur: Rekaleszenz Al_2O_3

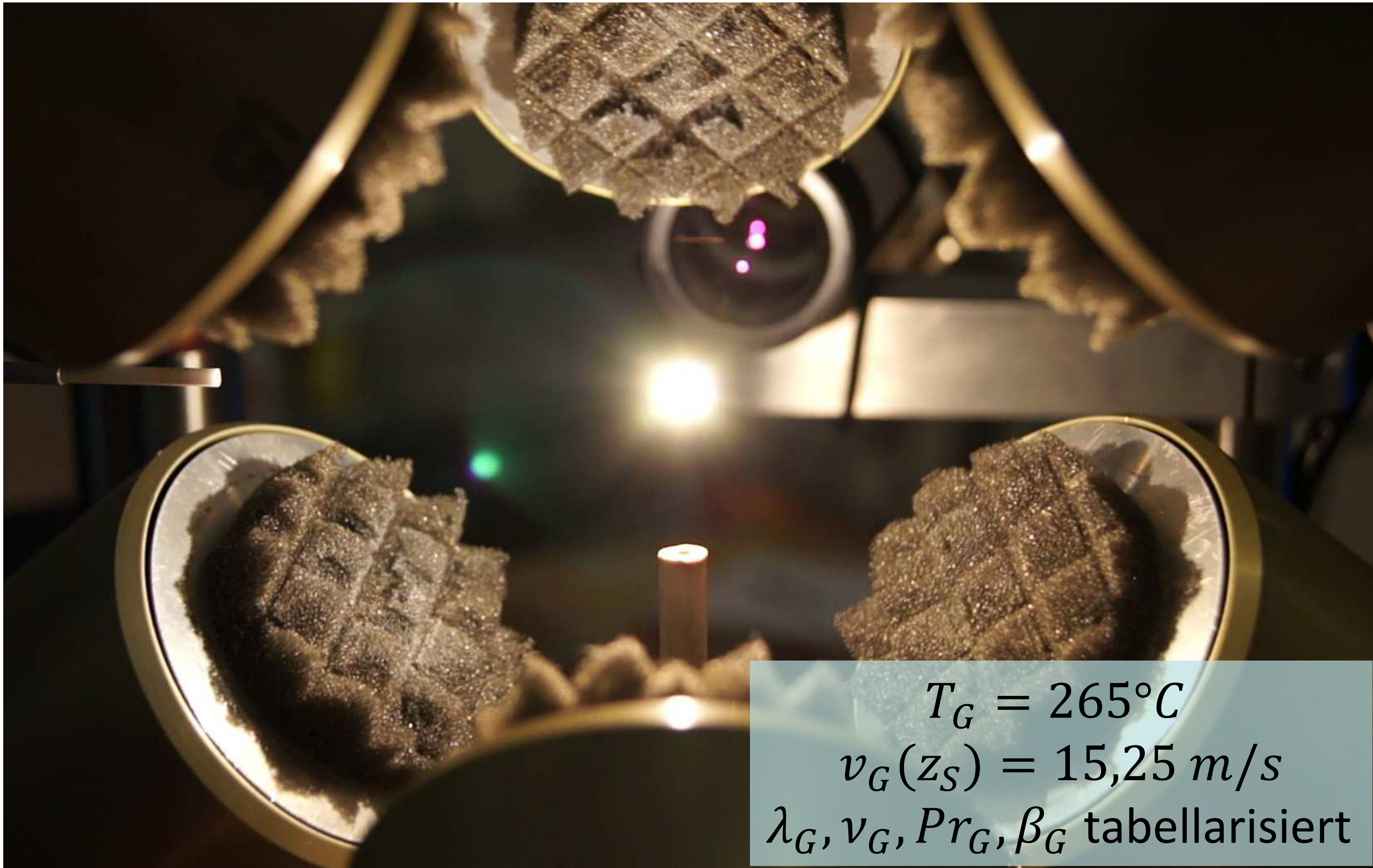


1) Laser aus
2) Unterkühlen der flüssigen Phase
3) Rekaleszenz: Freisetzung der latenten Wärme durch Rekristallisation
4) Abkühlen der festen Phase
5) Laser an

Motivation

- Emissionsgrad
  - Wärmebilanzrechnungen
  - Pyrometrie
- Komplexer Brechungsindex $m = n - ik$
  Oberflächenbeschaffenheit
  - Materialeigenschaften
  - experimentell unzugänglich
- Emissionsgradmessung
  - hohe Temperaturen > 2000°C
    Referenzstrahler? Thermoelement? Tiegel?
    Absoluttemperatur?
  - kontaminationsfrei

Schwebeschmelzanlage



$T_G = 265°C$

$v_G(z_S) = 15{,}25\ m/s$

$\lambda_G, \nu_G, Pr_G, \beta_G$ tabellarisiert

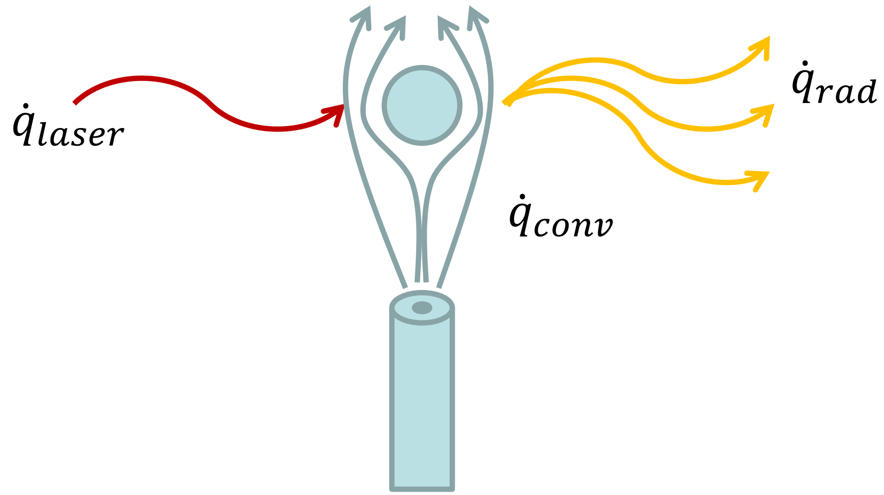
Wärmebilanz

- Laser an → T_S konstant

$$\dot{Q} = \dot{q}_{laser} + \dot{q}_{conv} + \dot{q}_{rad} = 0$$

$$\dot{q}_{conv} = -A_S\, \alpha\, (T_S - T_G)$$

$$\dot{q}_{rad} = -A_S\, \varepsilon_S\, \varepsilon_\infty\, \sigma\, (T_S^4 - T_\infty^4)$$

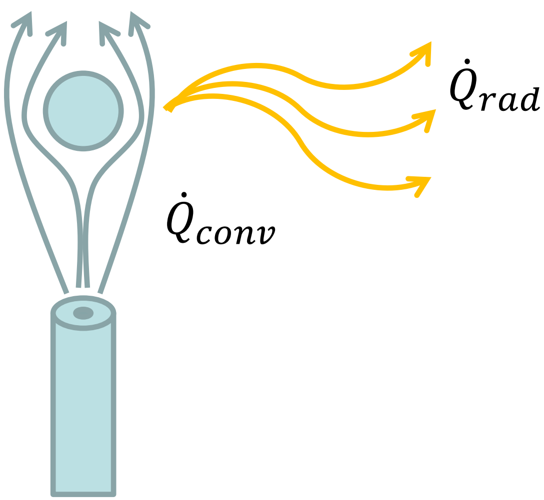


Wärmebilanz

- Laser aus → T_S fällt

$$\dot{Q}(t) = \dot{q}_{conv}(t) + \dot{q}_{rad}(t)$$

$$\dot{Q}(t) = m_s\, c_P(T)\, \dot{T}(t)$$



Wärmebilanz

$$m_s\, c_P(T)\, \dot{T}(t) = \dot{q}_{rad}(t) + \dot{q}_{conv}(t)$$

gemessen: m_S; $c_p(T)$ aus Shomate-Polynom

$$\dot{q}_{rad}(t) = -A_S\, \varepsilon_S\, \varepsilon_\infty\, \sigma\, (T_S^4(t) - T_\infty^4)$$

konstant: $A_S, \varepsilon_\infty, \sigma, T_\infty$; gemessen: $T_S(t)$

gesucht: ε_S → nicht zu messen, nicht zu berechnen

$$\dot{q}_{conv}(t) = -A_S\, \alpha\, (T_S(t) - T_G)$$

konstant: A_S, T_G; gemessen: $T_S(t)$

unbekannt: α → berechnen

Wärmebilanz: Konvektion

$$\alpha = Nu \frac{\lambda_G}{d_S}$$

$$Nu = \sqrt[3]{Nu_{free}^3 + Nu_{forced}^3}$$

$$Nu_{free} = 0{,}56 \sqrt{\frac{Pr}{0{,}846 + Pr} Ra + 2}$$

$$Nu_{forced} = 2 + \sqrt{Nu_{lam}^2 + Nu_{turb}^2}$$

$$Nu_{lam} = 0{,}644 \sqrt{Re} \sqrt[3]{Pr}$$

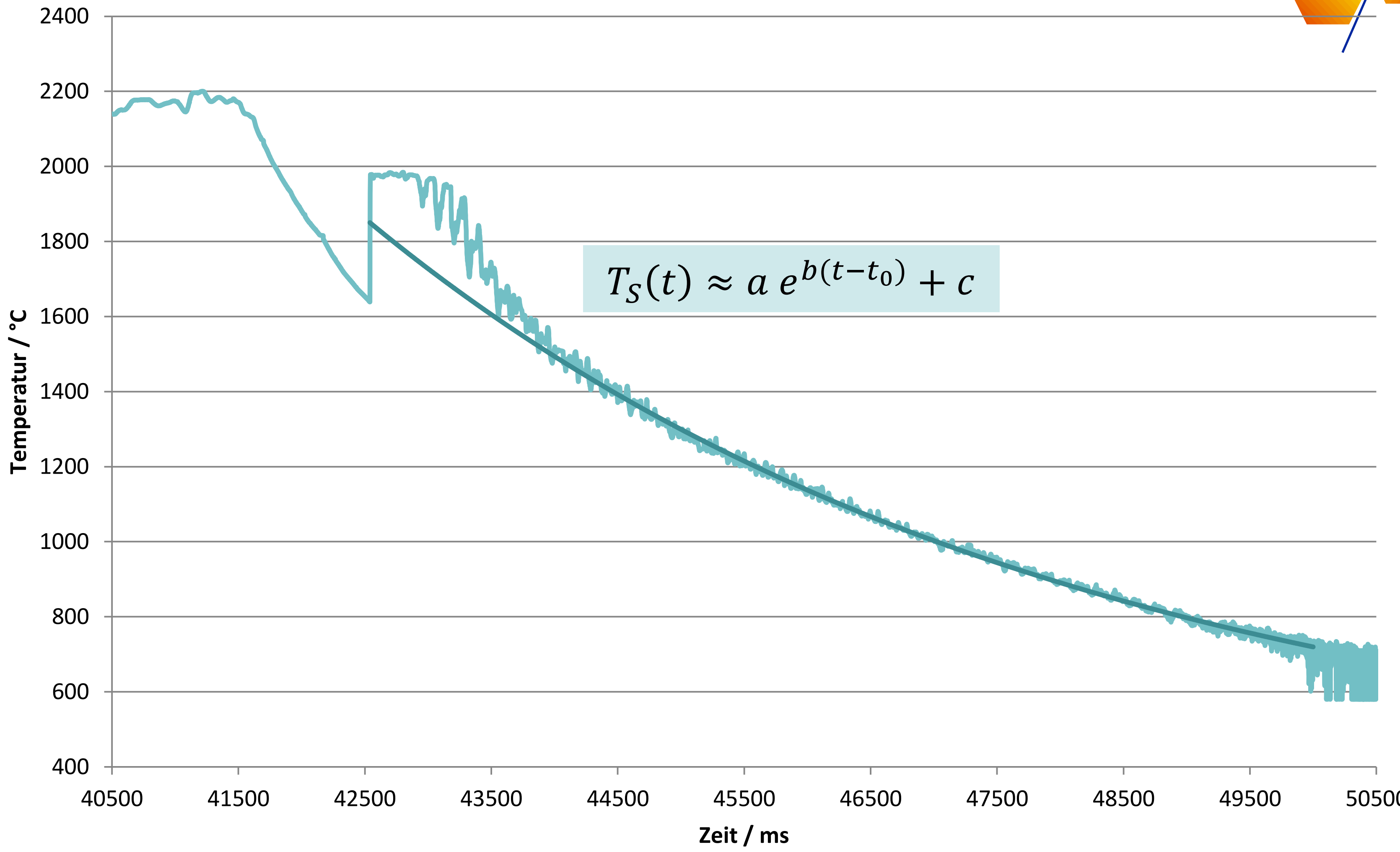
$$Nu_{turb} = \frac{0{,}037\, Re^{0{,}8} Pr}{1 + 2{,}443\, Re^{-0{,}1} (Pr^{2/3} - 1)}$$

$$Gr(t) = g\, d_S^3\, \beta_G \frac{(T_S(t) - T_G)}{\nu_G^2}$$

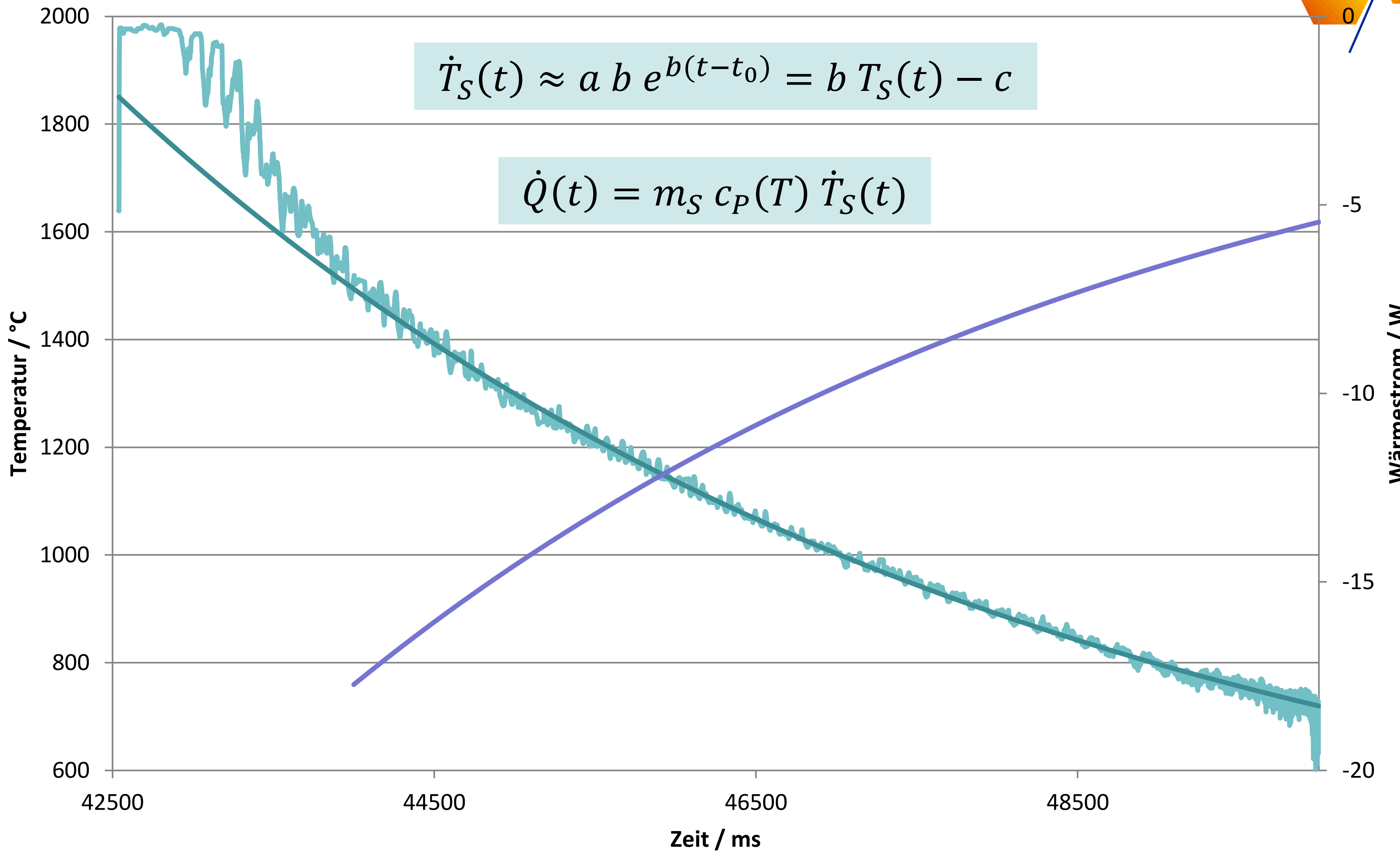
$$Ra(t) = Gr(t)\, Pr_G$$

$$Re = v_G \frac{d_S}{\nu_G}$$

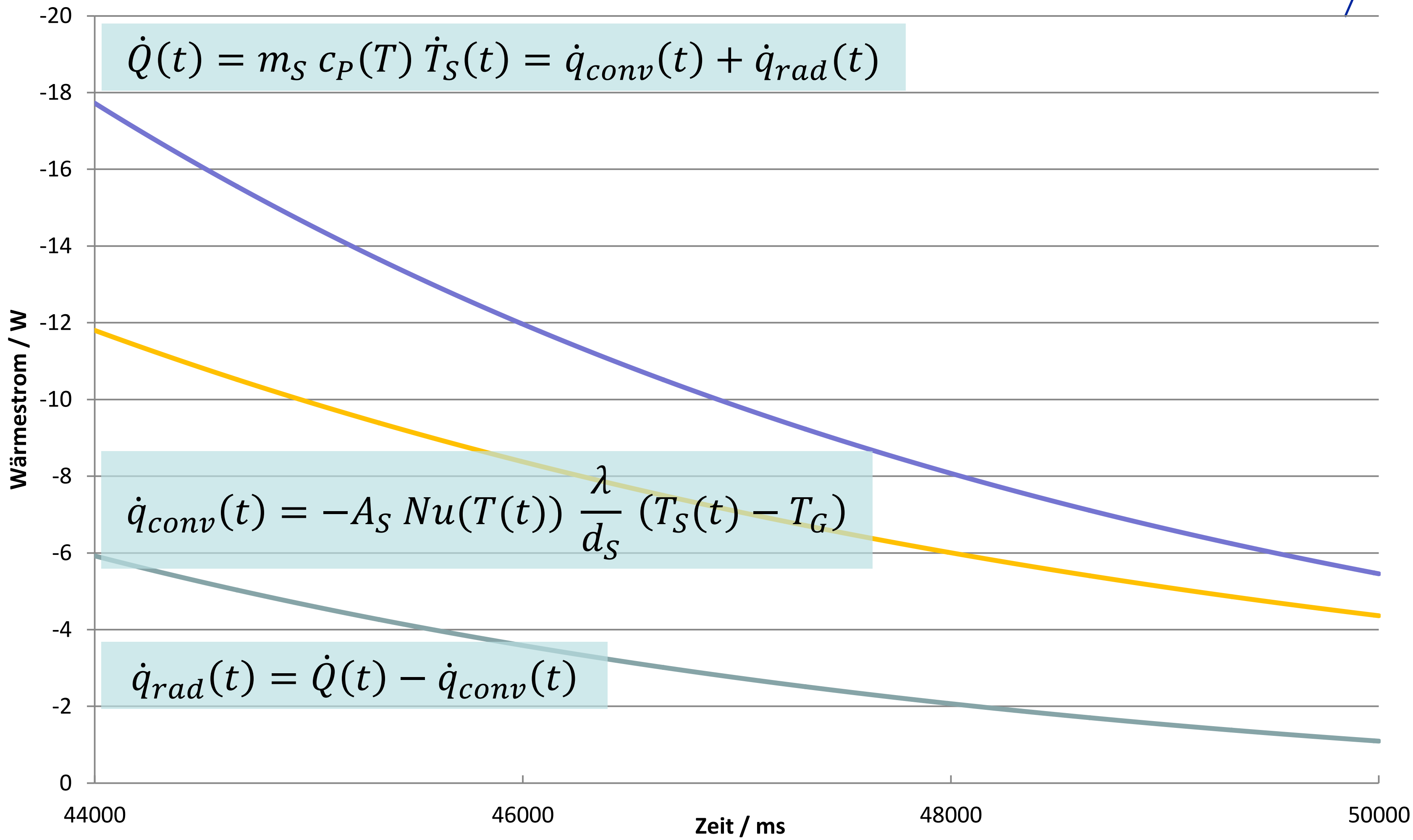
Temperatur: Al_2O_3-Probe



Temperaturverlauf der Probe
-> Wärmestrom



Temperaturverlauf der Probe -> Wärmestrom



$$\dot{Q}(t) = m_S\, c_P(T)\, \dot{T}_S(t) = \dot{q}_{conv}(t) + \dot{q}_{rad}(t)$$

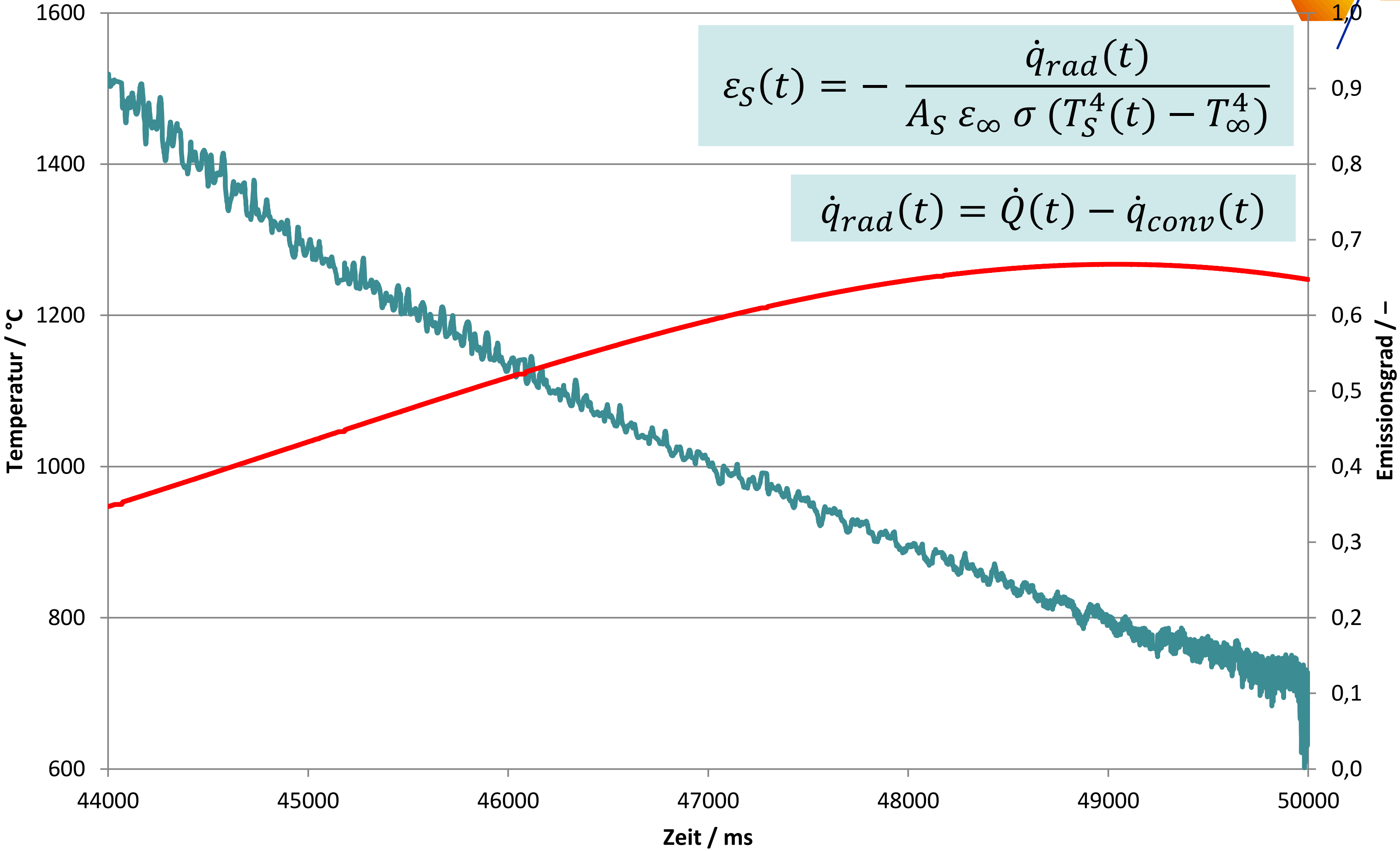
$$\dot{q}_{conv}(t) = -A_S\, Nu(T(t))\, \frac{\lambda}{d_S}\, (T_S(t) - T_G)$$

$$\dot{q}_{rad}(t) = \dot{Q}(t) - \dot{q}_{conv}(t)$$

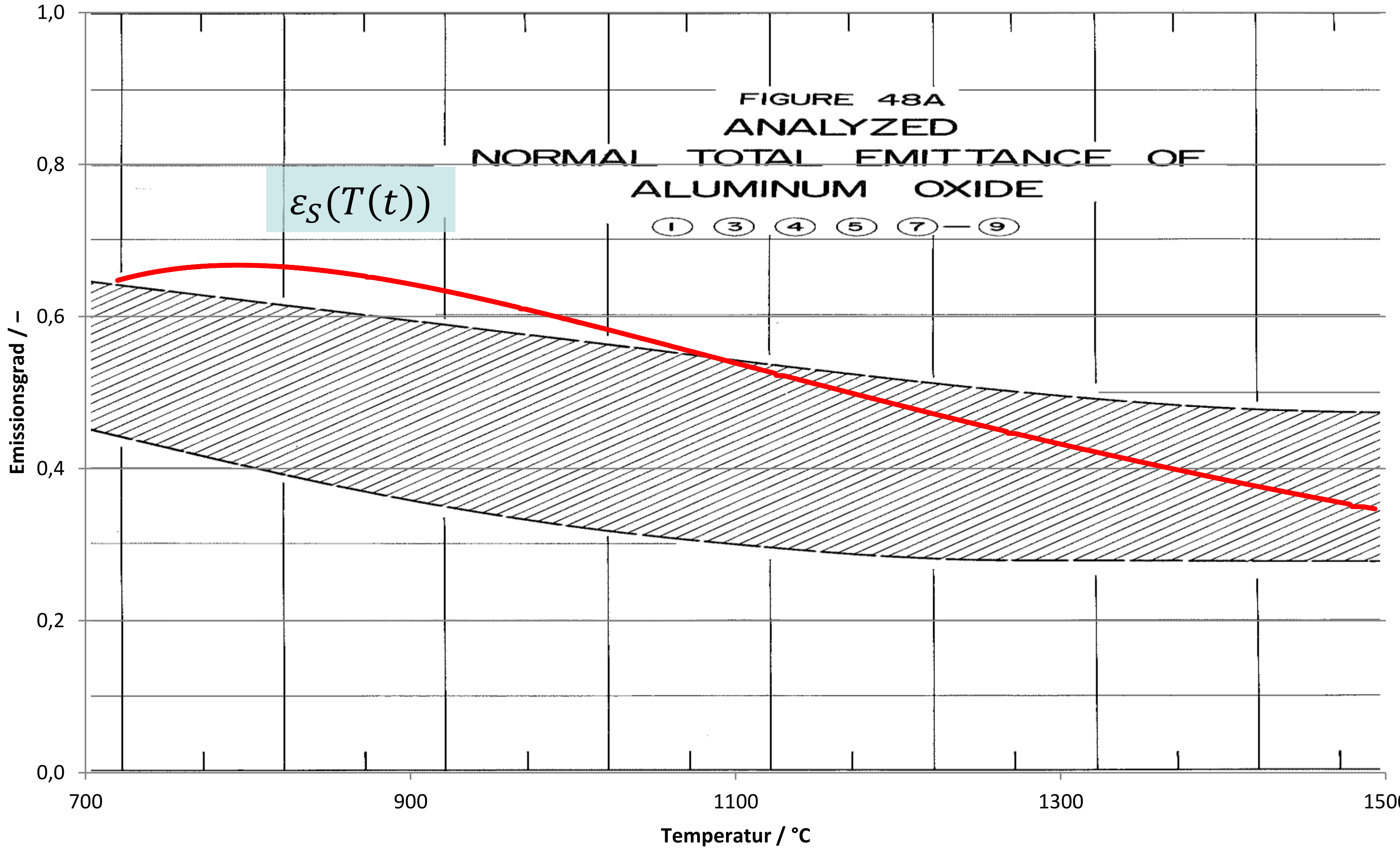
Zeitabhängiger Emissionsgrad

$$\varepsilon_S(t) = -\frac{\dot{q}_{rad}(t)}{A_S\,\varepsilon_\infty\,\sigma\,(T_S^4(t) - T_\infty^4)}$$

$$\dot{q}_{rad}(t) = \dot{Q}(t) - \dot{q}_{conv}(t)$$



Temperaturabhängiger Emissionsgrad



Zusammenfassung

- Levitierte Probe
- Berührungslose Erwärmung durch Laser
- Temperaturmessung mit Pyrometer
- Kenntnis der Absoluttemperatur nicht erforderlich
- Emissionsgradbestimmung aus Temperaturverlauf der Probe
- Abenteuerliche Berechnung des konvektiven Wärmestroms
- Emissionsgrad in guter Übereinstimmung mit Literaturwert

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Greffrath, F.; Prieler, R.; Telle, R.: *„A new method for the estimation of high temperature radiant heat emittance by means of aero-acoustic levitation"*, Infrared Physics & Technology 67 (2014) 333–337.

```
A_Pr = 3.09030553278369e-05 m^2
V_Pr = 1.61538461538462e-08 m^3
d_Pr = 0.00313635903941739 m

A_g = 4.56167107282872e-06 m^2
V_g = 0.000126278156518278 m^3 s^-1
v_g0 = 27.6824335867717 m s^-1
v_g = 15.2510421934497 m s^-1

Pr = 0.7445
Gr = 20.3694506194626 7.53603209142129
Ra = 15.1650559861899 5.61057589206315
Re = 259.67830642759

Nu_lam   = 9.69782065829836
Nu_turb  = 3.13805695836694
Nu_erzw  = 12.1928959081545
Nu_frei  = 2.91407491061865 2.71289019986314
Nu_misch = 12.2481292469383 12.2374999173904

alpha    = 310.737269531463 310.467601505099
q_conv   = 11.8007700942395 4.36211101424978

T        = 1493.89728494852 719.651897561922
cp       = 1321.68009775103 1223.39860352353
E        = 0.34693577035999 0.647404280243298
q_rad    = 5.92239202214855 1.09369559339564
```