



Modellierung der Strahlungswärmeübertragung bei Verbrennungsprozessen mit Wasserstoff

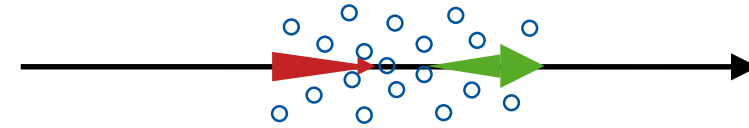
J. Losacker, A. Garcia-Vergara, F. Ott, N. Schmitz, H. Pfeifer
Instiut für Industrieofenbau und Wärmetechnik

4. AOTK | 18.10.2023 | Aachen

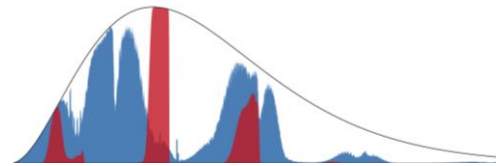
CFD Simulationen benötigen eine effiziente Modellierung von Abgas Strahlungseigenschaften.

- Dekarbonisierung von Hochtemperaturprozessen durch den Ersatz von Erdgas durch grünen Wasserstoff
- Wärmestrahlung ist der vorrangige Mechanismus der Wärmeübertragung
- CFD Simulationen sind wichtige Hilfsmittel in der Entwicklung von Prozessen und Equipment

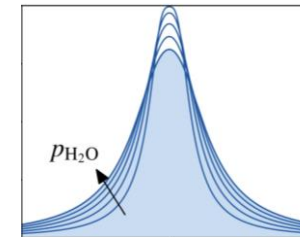
- Wärmestrahlung in Gasen



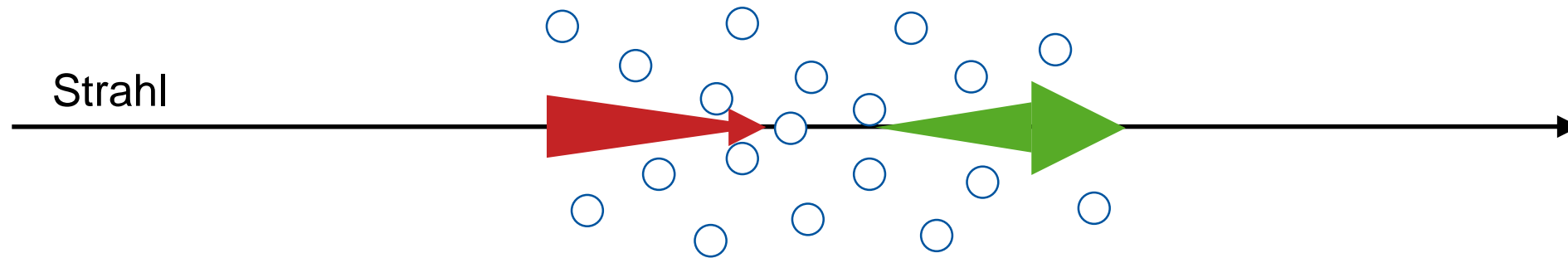
- Emission von H_2O - CO_2 -Gemischen



- Herausforderungen in der effizienten Modellierung



Gase beeinflussen die Strahlungswärmeübertragung.

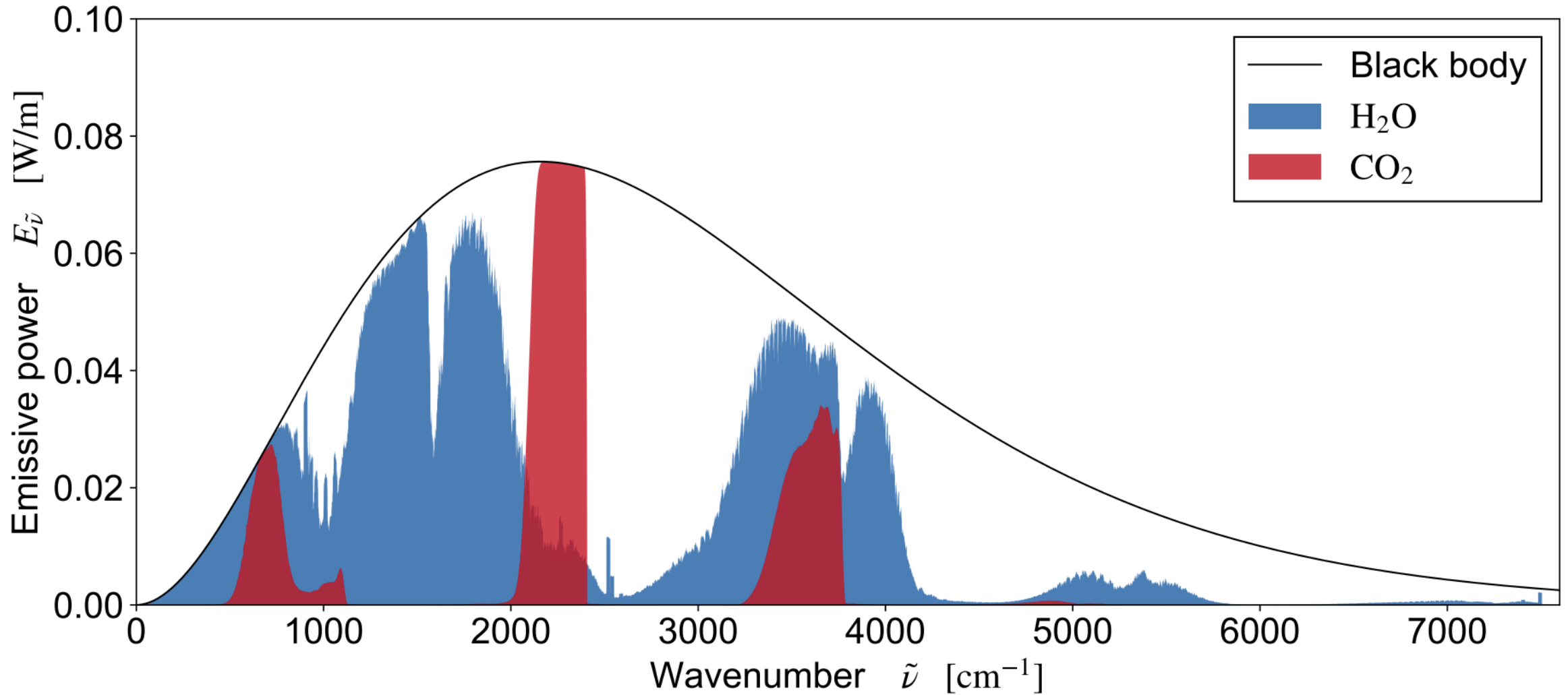


Gas Eigenschaft

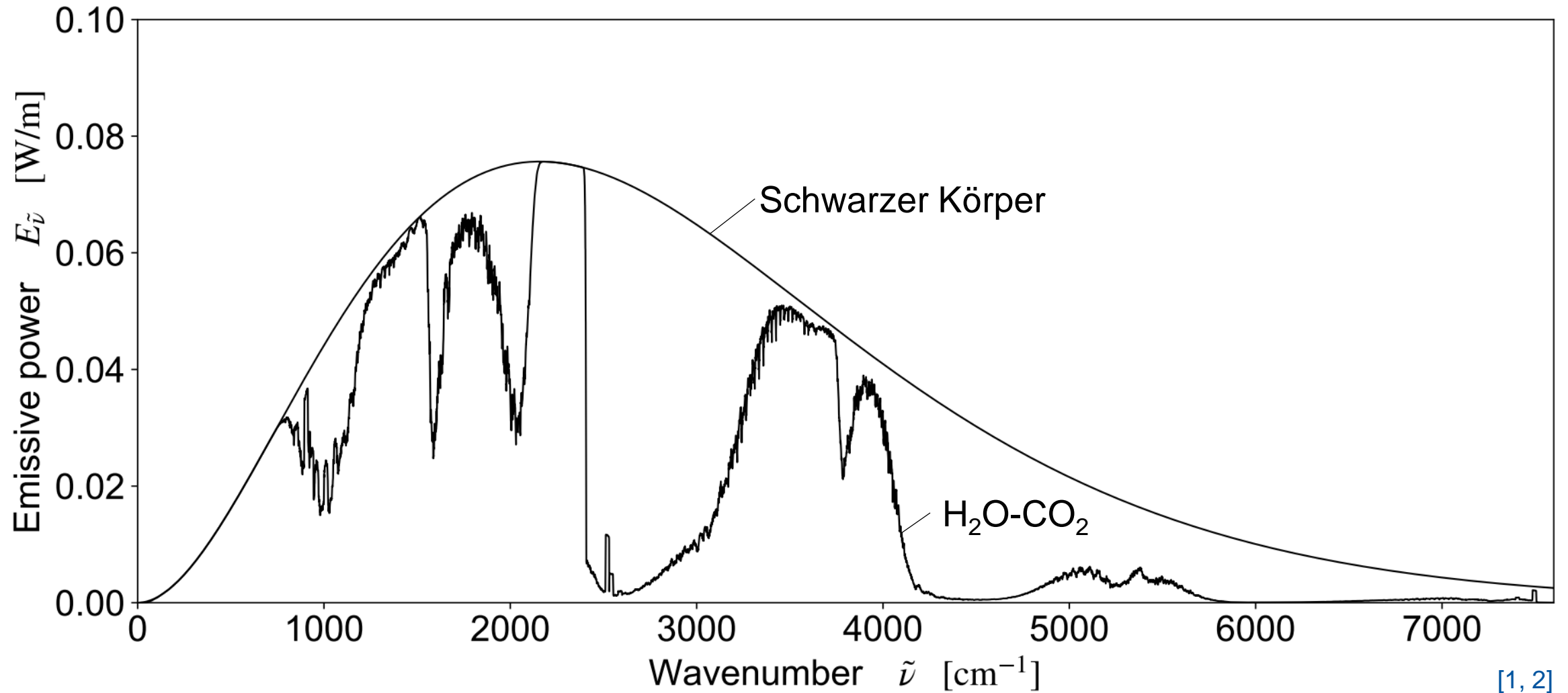
$$\underbrace{\frac{dI_{\tilde{\nu}}(s)}{ds}}_{\text{Intensitäts-Änderung}} = \underbrace{-\kappa_{\tilde{\nu}}(s)I_{\tilde{\nu}}(s)}_{\text{Absorption}} + \underbrace{+\kappa_{\tilde{\nu}}(s)I_{\tilde{\nu}b}(s)}_{\text{Emission}} \quad [5]$$

Intensitäts-Änderung Absorption Emission

Die Emissivität von H₂O und CO₂ hängt von der Wellenzahl ab.

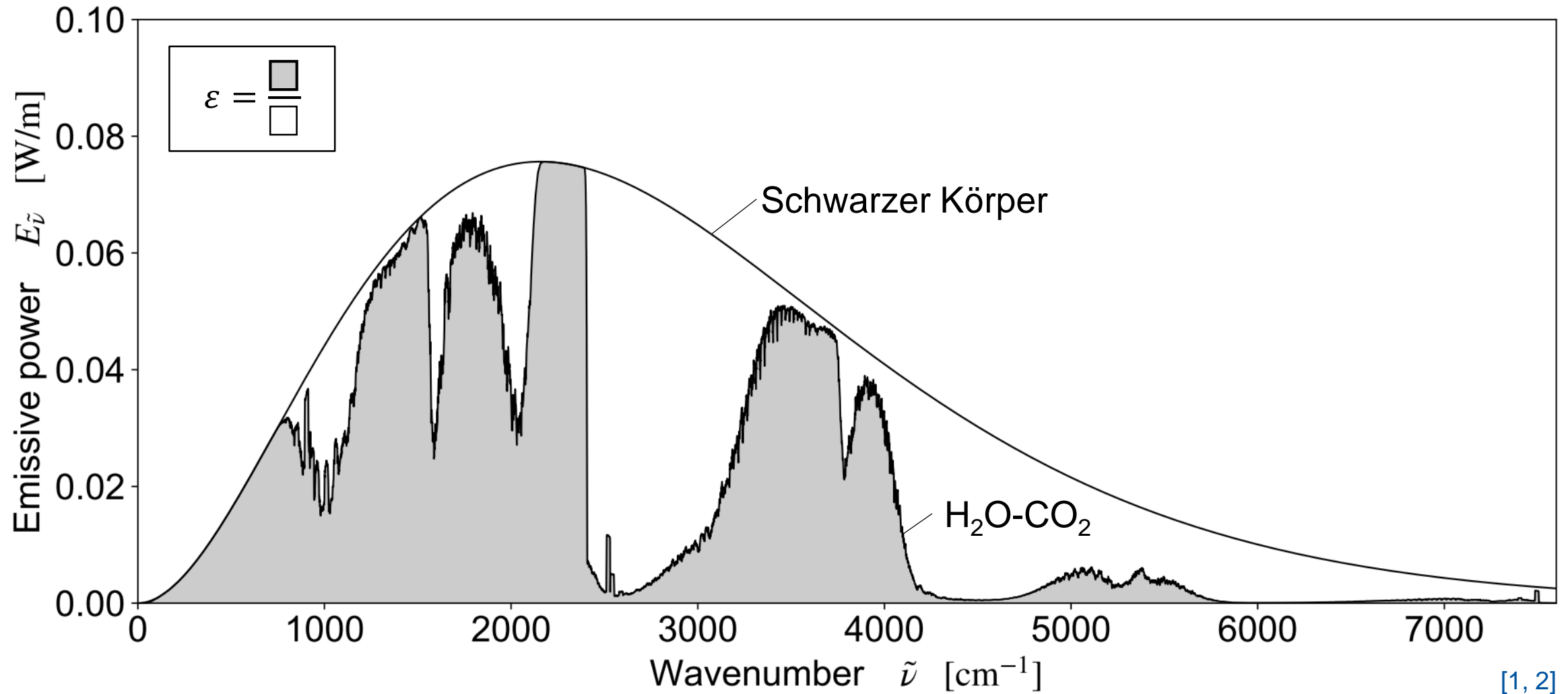


Effiziente Modellierung der Emissivität von H₂O und CO₂: Weighted Sum of Gray Gases Modell

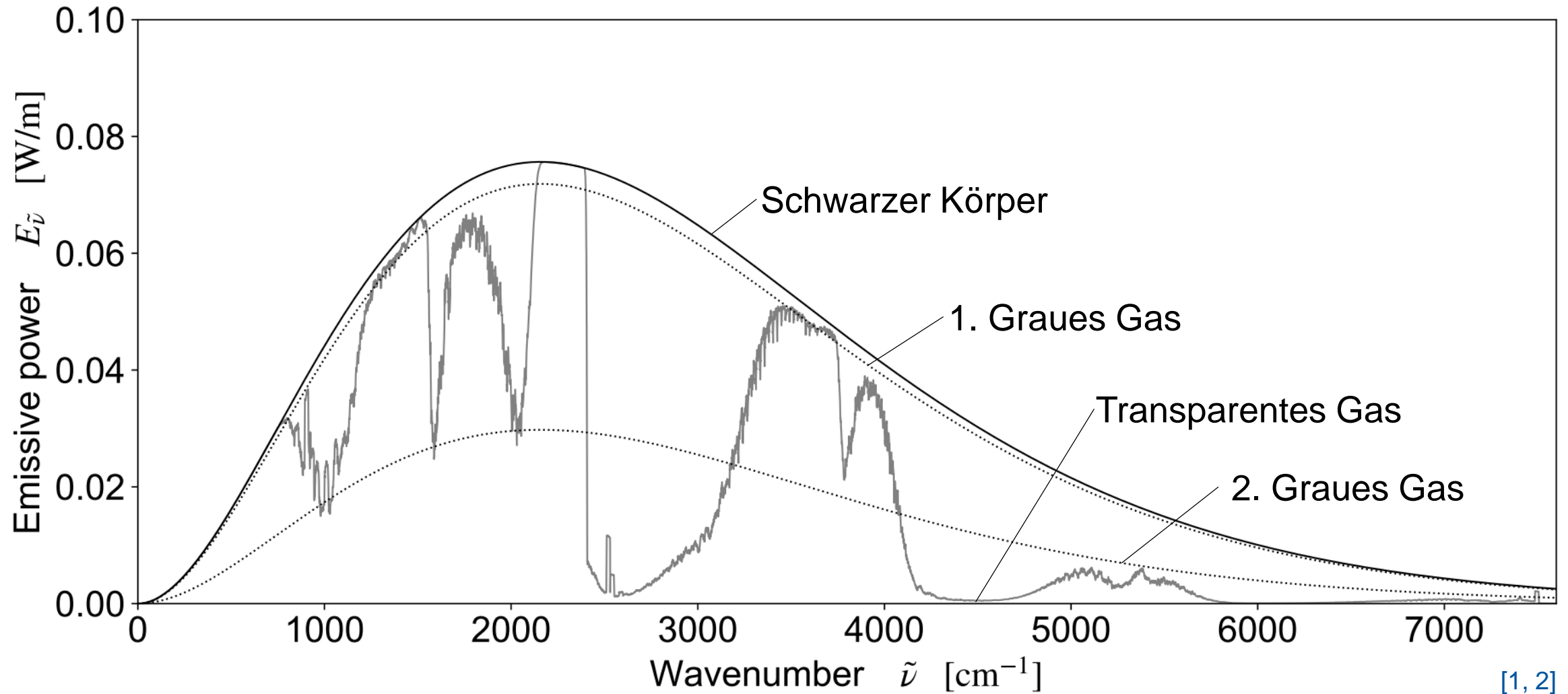


[1, 2]

Effiziente Modellierung der Emissivität von H₂O und CO₂: Weighted Sum of Gray Gases Modell

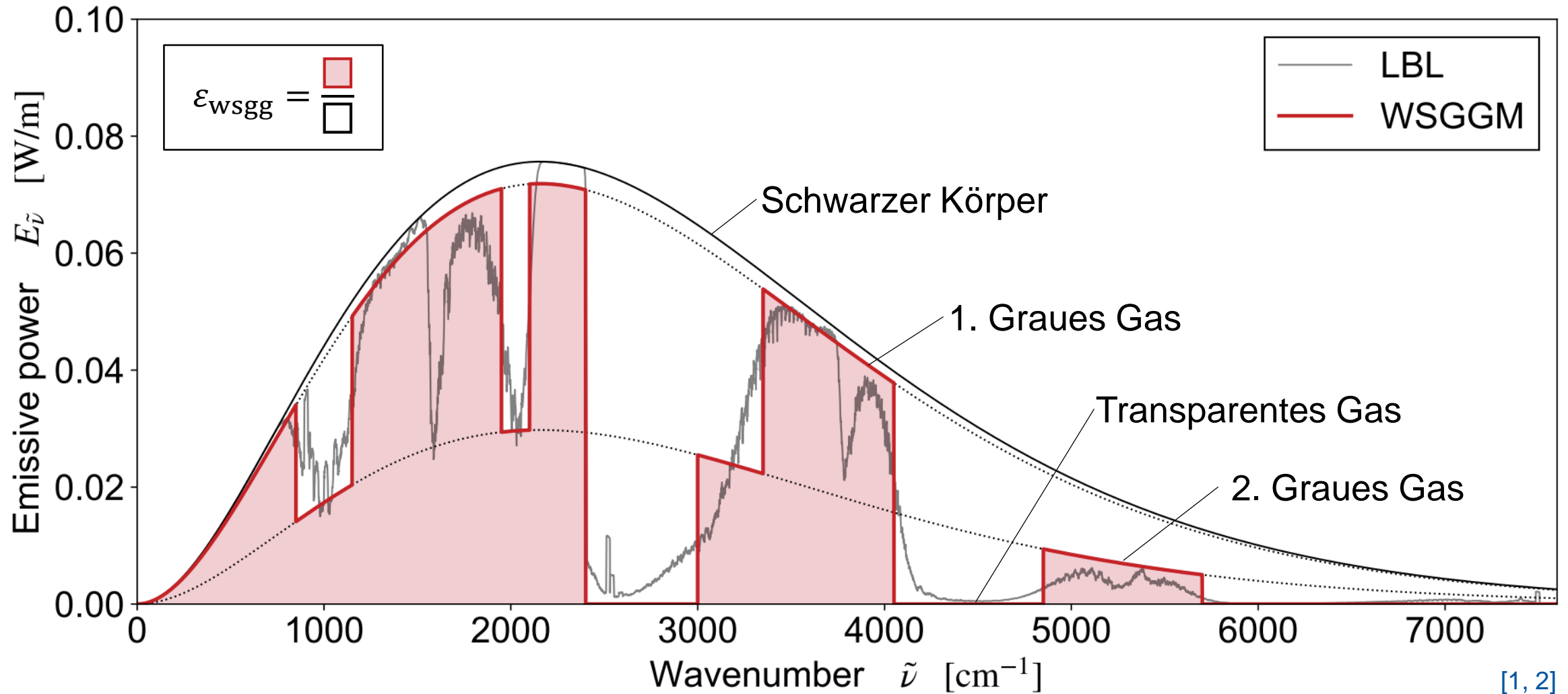


Effiziente Modellierung der Emissivität von H₂O und CO₂: Weighted Sum of Gray Gases Modell



[1, 2]

Effiziente Modellierung der Emissivität von H₂O und CO₂: Weighted Sum of Gray Gases Modell



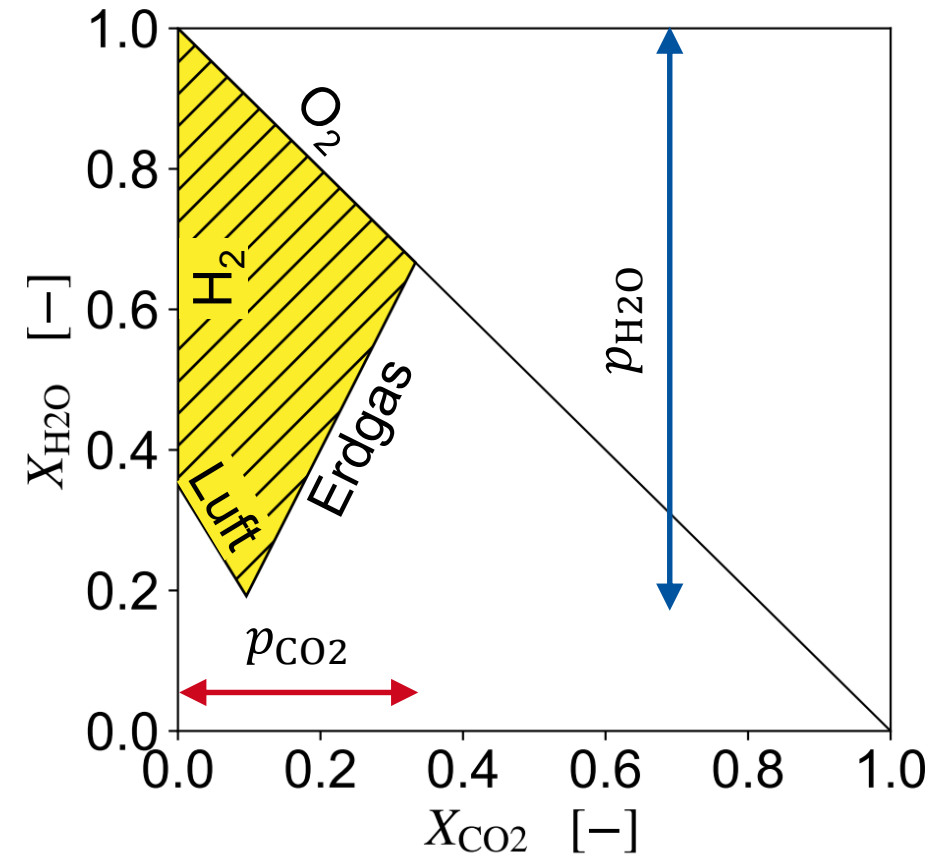
Die Abgaszusammensetzung ändert sich mit Brennstoff und Oxidator.

Bedingungen

Brennstoff: Erdgas \rightarrow H₂

Oxidator: Luft \rightarrow O₂

Luftzahl: $\lambda = 1$

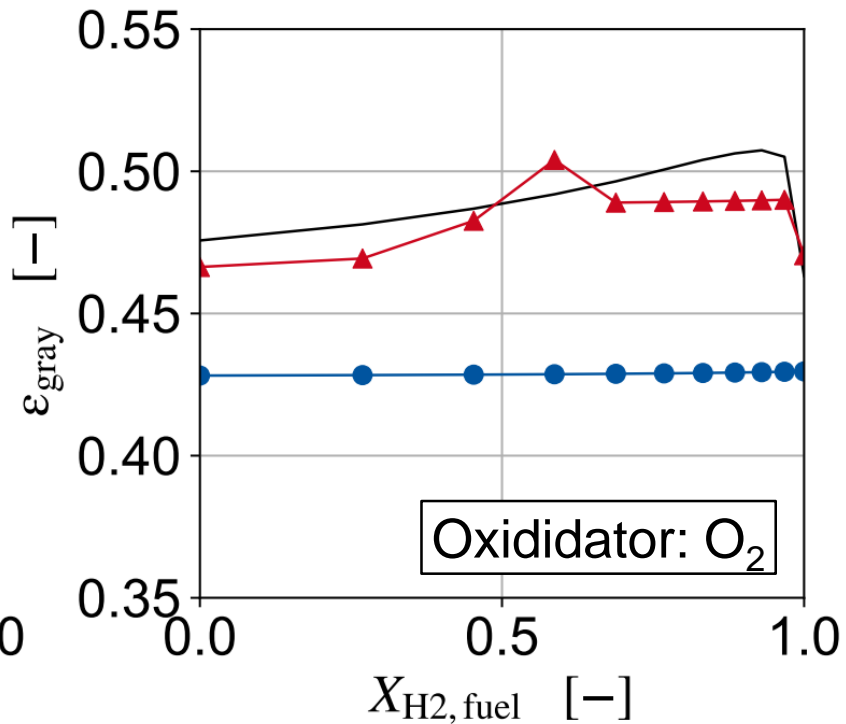
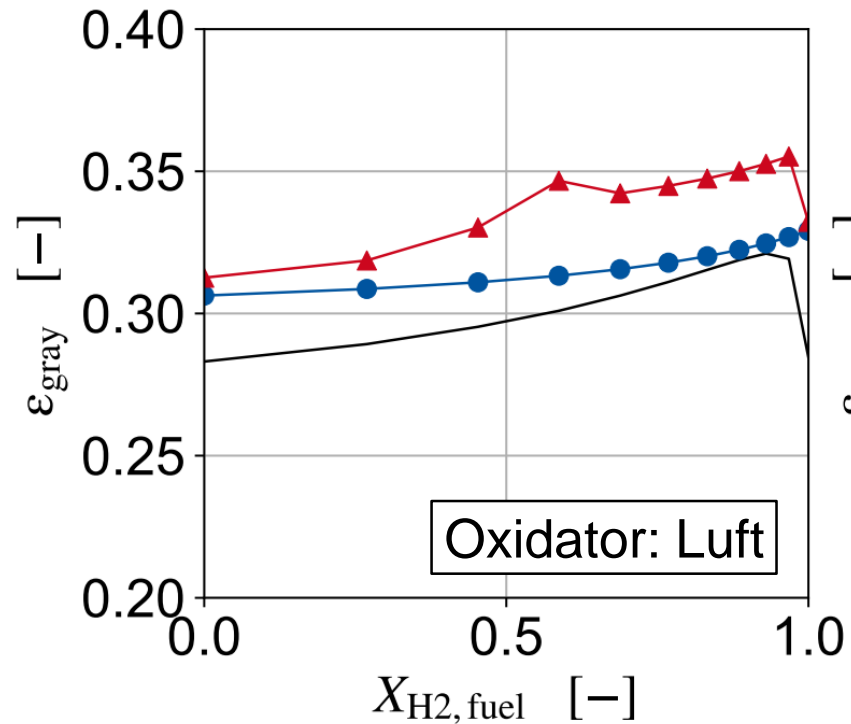
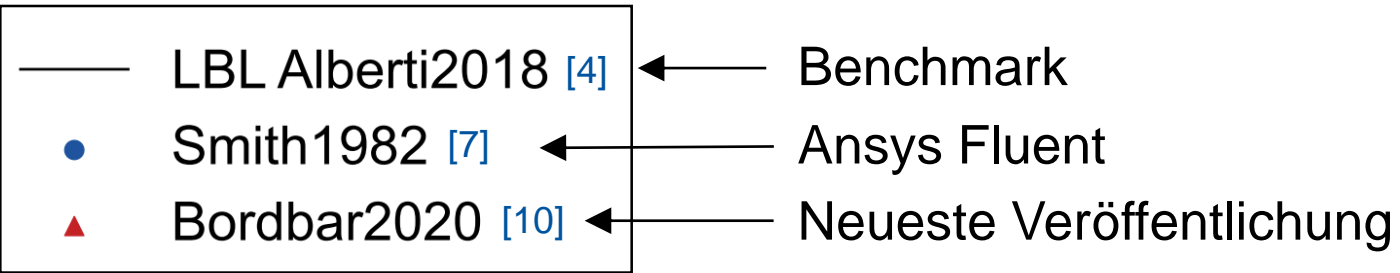


Weighted Sum of Grey Gases Modelle können nicht alle Bereiche akkurat abbilden.

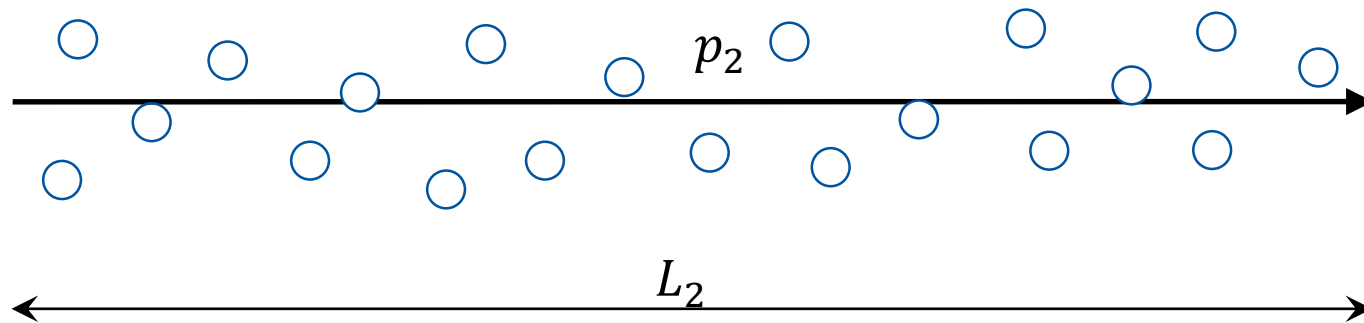
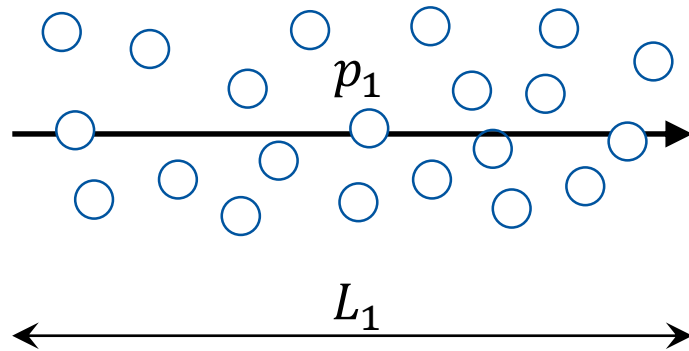
Bedingungen

$p = 1 \text{ bar}$

$L = 100 \text{ cm}$



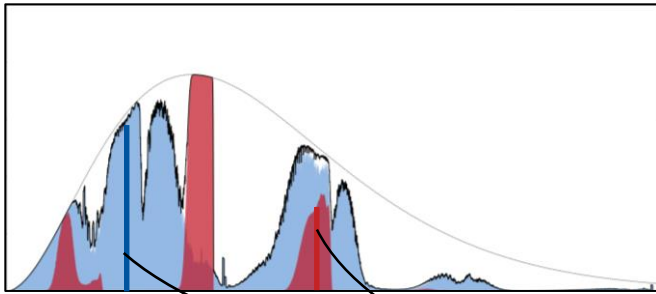
Weighted Sum of Gray Gases Modelle zählen Moleküle, die von einem Strahl passiert werden.



Gleiches Gas: $\kappa_1 = \kappa_2$
Gleiche Anzahl passierter Moleküle: $p_1 \cdot L_1 = p_2 \cdot L_2$
⇒ Gleiche Emissivität: $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$

Nicht richtig für H₂O

H₂O Partialdruck verbreitert H₂O Spitzen im Emissionsspektrum.



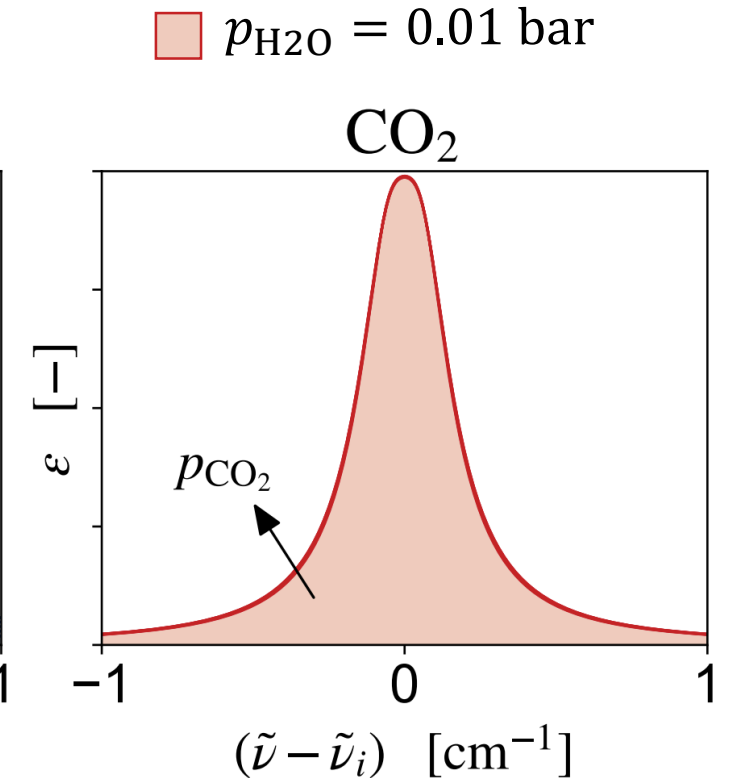
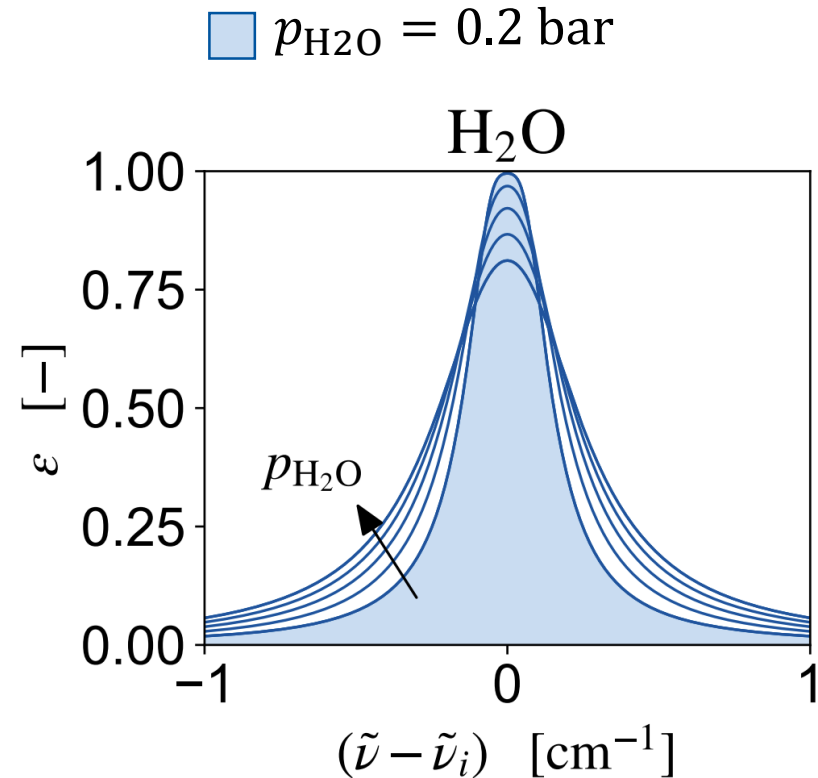
Bedingungen

$$0.2 \text{ bar} \leq p_{\text{H}_2\text{O}} \leq 1.0 \text{ bar}$$

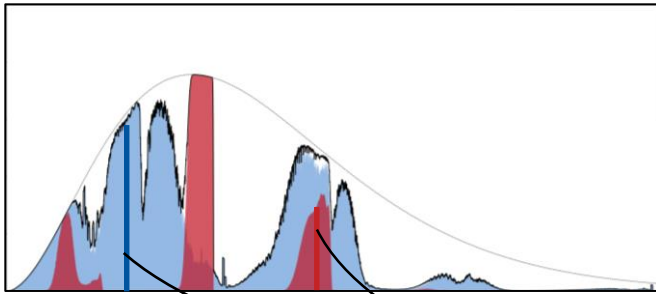
$$0.01 \text{ bar} \leq p_{\text{CO}_2} \leq 0.33 \text{ bar}$$

$$p \cdot L = 1.0 \text{ bar} \cdot \text{cm}$$

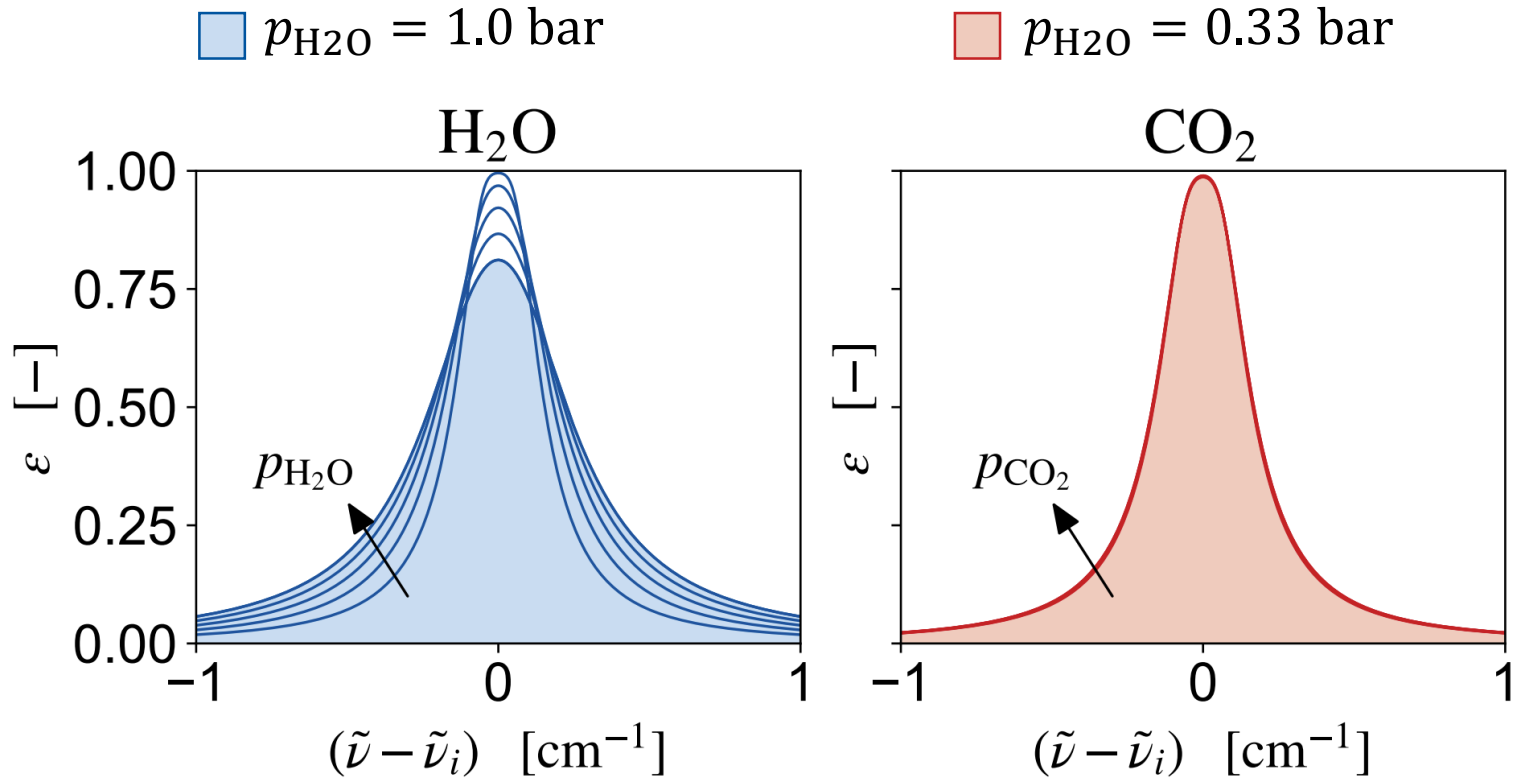
$$S_i = 1 \text{ cm}^{-2}$$



H₂O Partialdruck verbreitert H₂O Spitzen im Emissionsspektrum.



Bedingungen
 $0.2 \text{ bar} \leq p_{\text{H}_2\text{O}} \leq 1.0 \text{ bar}$
 $0.01 \text{ bar} \leq p_{\text{CO}_2} \leq 0.33 \text{ bar}$
 $p \cdot L = 1.0 \text{ bar} \cdot \text{cm}$
 $S_i = 1 \text{ cm}^{-2}$



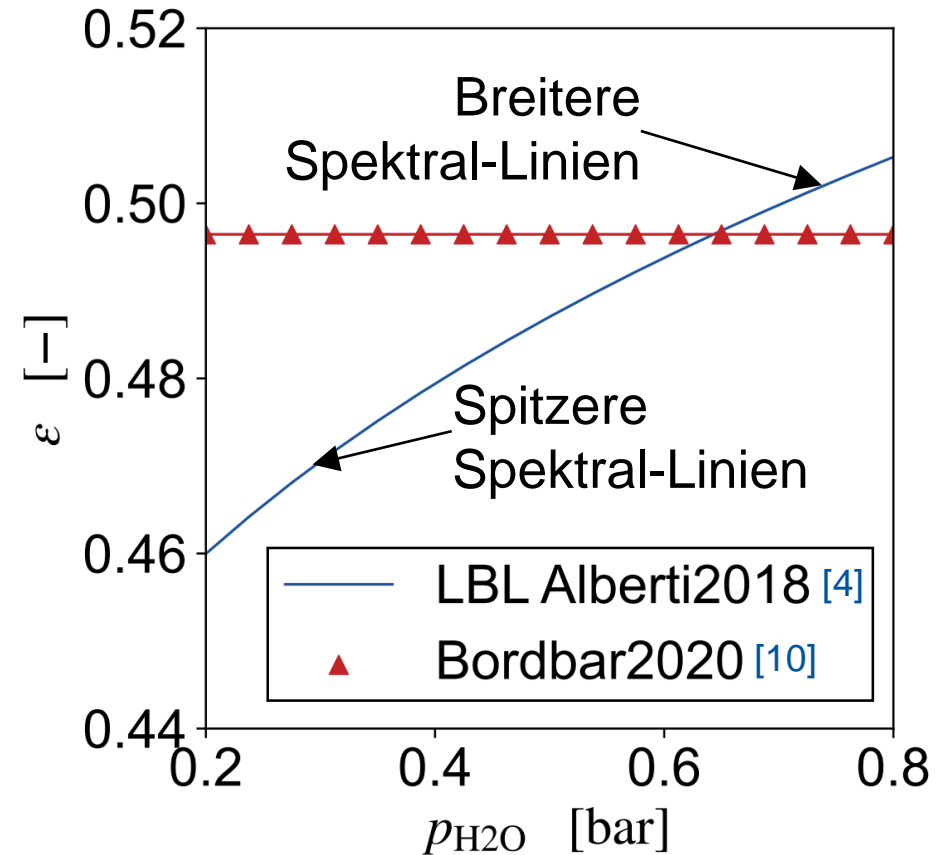
Weighted Sum of Gray Gases Modelle bilden den Einfluss von H₂O Partialdruck nicht ab.

Bedingungen

$$0.2 \text{ bar} \leq p_{\text{H}_2\text{O}} \leq 0.8 \text{ bar}$$

$$p_{\text{CO}_2} = p_{\text{H}_2\text{O}}/4$$

$$p_{\text{H}_2\text{O}} \cdot L = 100 \text{ bar} \cdot \text{cm}$$



- Effiziente Modellierung der Eigenschaften von Verbrennungsabgasen in Hochtemperaturprozessen durch WSGGM
- Brennstoff-flexible Öfen: $0.2 \text{ bar} \leq p_{\text{H}_2\text{O}} \leq 1.0 \text{ bar}$
- H_2O Emissivität nimmt mit Partialdruck zu: nicht in aktuellen WSGGM
- Verbesserung der Genauigkeit von WSGGM für Verbrennung von Erdgas $\rightarrow \text{H}_2$ und Luft $\rightarrow \text{O}_2$

Thinking the Future
Zukunft denken

Danke für Ihre Aufmerksamkeit

Johannes Losacker, M.Sc.
Institut für Industrieofenbau und Wärmetechnik
RWTH Aachen University
Kopernikusstr. 10, 52074 Aachen
www.iob.rwth-aachen.de
losacker@iob.rwth-aachen.de
+49 241 80 26052



This project has received funding from the European Union's Horizon Europe research and innovation programme under grant agreement No 101091456.