

# Exakte Bestimmung von Materialparametern und Defektgrößen mit aktiver Thermografie unter realen Umgebungsbedingungen

G. Mayr, G. Thummerer | Josef Ressel Center for Thermal NDE of Composites, Austria  
P. Burgholzer | RECENDT - Research Center for Nondestructive Testing, Austria

HAGENBERG | LINZ | STEYR | WELS



# Motivation

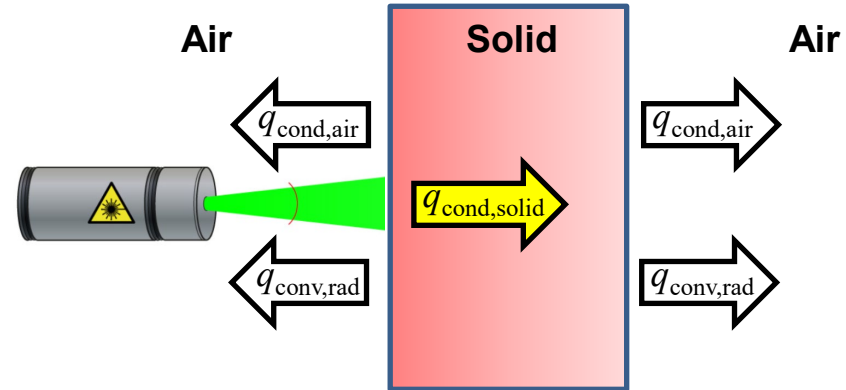
## Wärmeverluste bei Thermographie Experimenten

Typisches Experiment



### Problem:

Wärmeverluste aufgrund von Konvektion und Strahlung haben einen signifikanten Einfluss auf die Genauigkeit der Messergebnisse der Aktiven Thermographie.

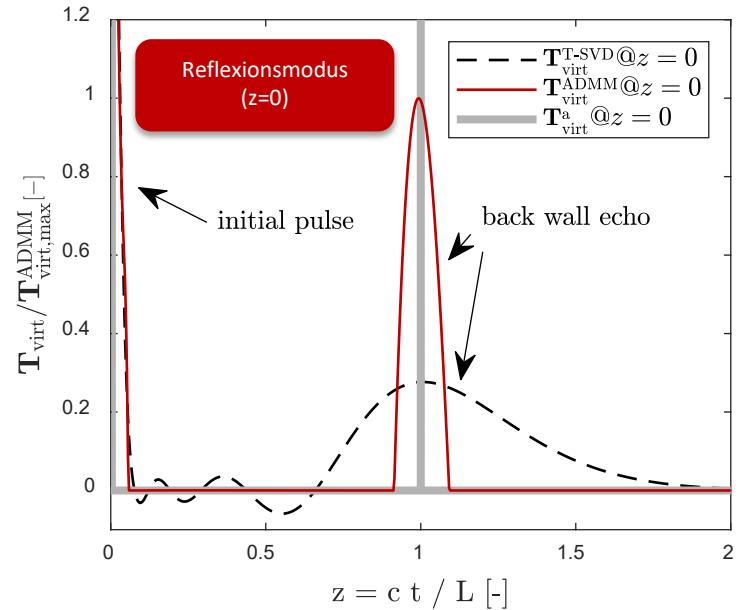
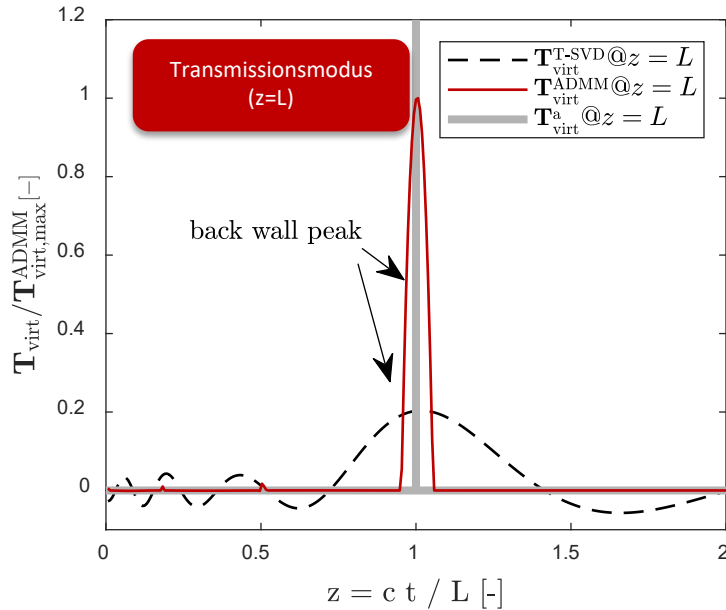


Bei gängigen Auswertemethoden (TSR, PPT) wird nur die Wärmeleitung  $q_{\text{cond,solid}}$  berücksichtigt.



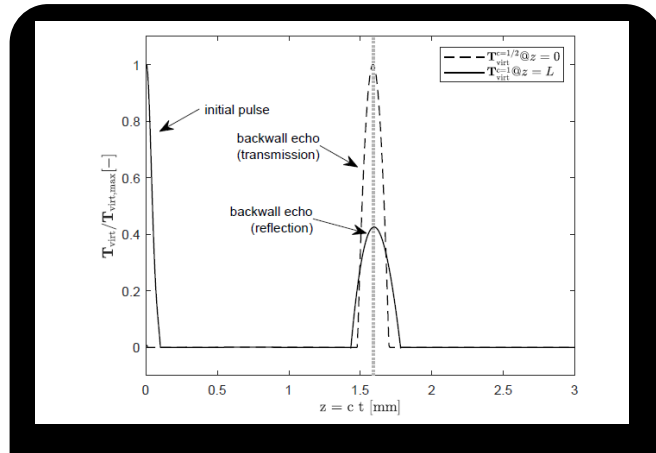
# Virtual Wave Concept

## Regularisierte Lösung $T_{\text{virt}}$

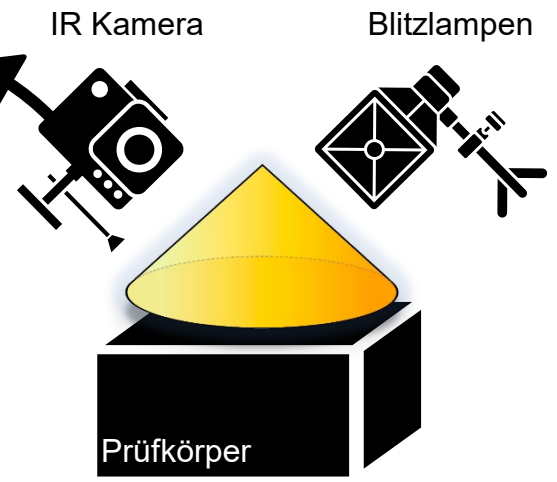


# Virtual Wave Concept

## Virutelle Time of Flight Methode



**K**  
Transfer Funktion



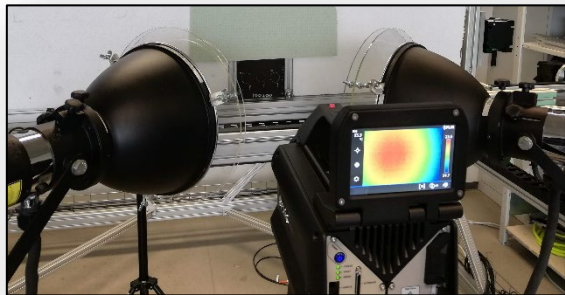
Aktive Thermographie

Virtuelle A-Scan (TIME OF FLIGHT - TOF)

# Parameter Bestimmung unter Wärmeverlusten

## Interpretation des virtuellen A-Scans

### Experimentelles Setup



**IR - Kamera:**

FLIR X8400sc (1280x1024)

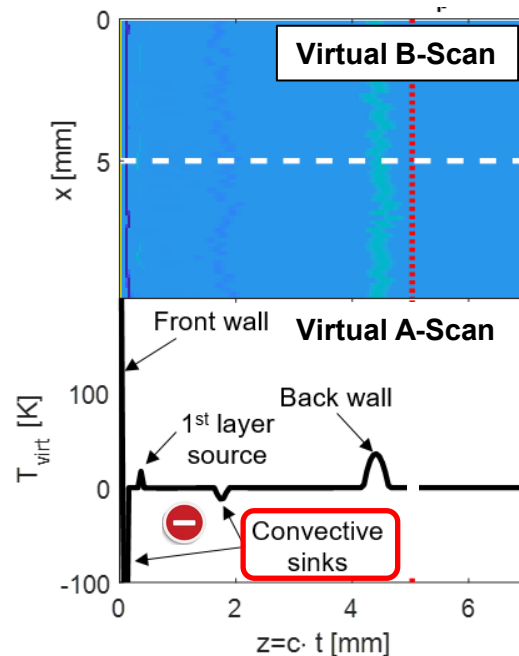
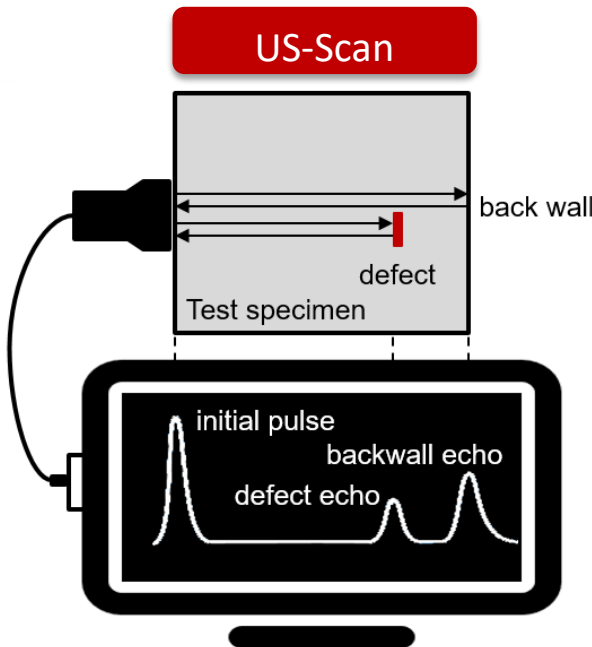
**Blitzlampen:**

Bläsing G6000Z

**Messaufbau:**

Reflexions- und Transmissionsmouds

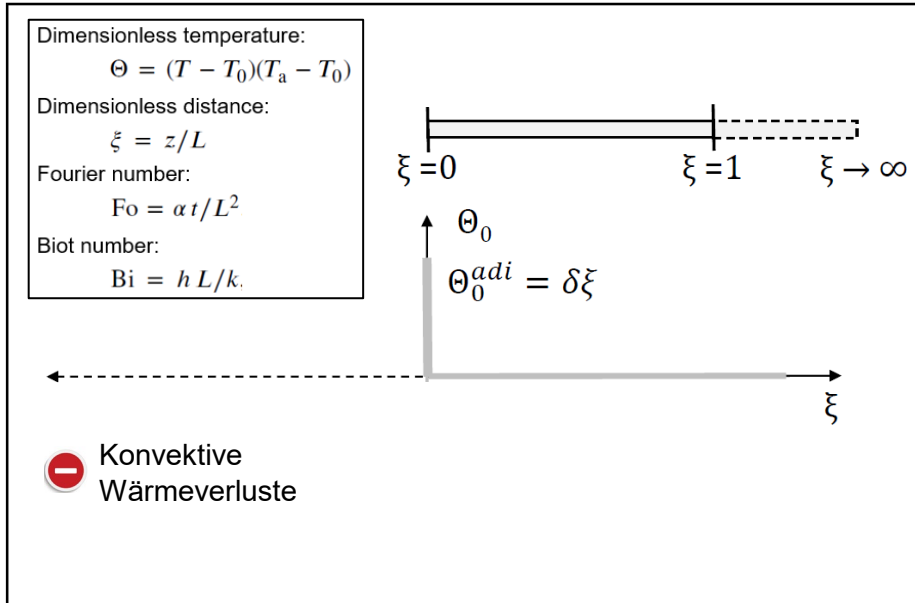
### US-Scan



# Theoretisches Modell

## Halbunendlicher Stab mit Wärmeverlusten

### Geometrie, Randbedingungen und Anfangstemperturverteilung für $\Theta_{30}$



Stab ohne Wärmeverluste  $\Theta_{20}$ :

$$\Theta_{20}(\xi, Fo) = \frac{1}{\sqrt{\pi Fo}} \cdot \exp\left(-\frac{\xi^2}{4Fo}\right)$$

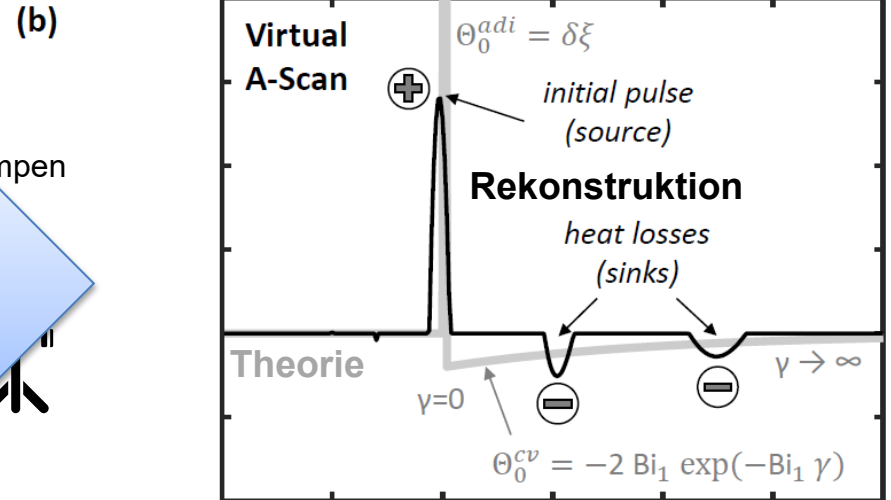
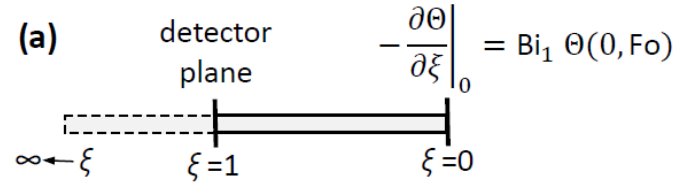
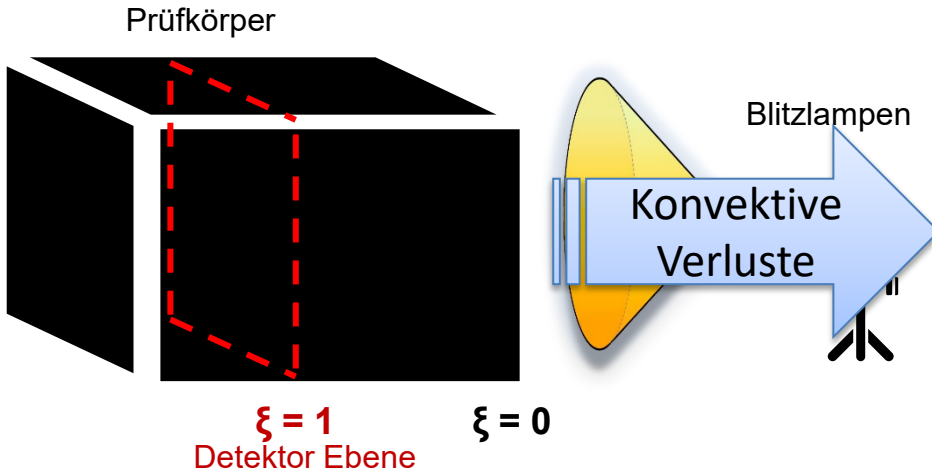
Stab mit Wärmeverlusten  $\Theta_{30}$  [Bryan:1890]:

$$\begin{aligned} \Theta_{30}(\xi, Fo) &= \Theta_{20}(\xi, Fo) \\ &\quad - \int_{\gamma=0}^{\infty} 2 Bi_1 \exp(-Bi_1 \gamma) \\ &\quad \cdot \frac{1}{\sqrt{4\pi Fo}} \cdot \exp\left(-\frac{(\xi + \gamma)^2}{4Fo}\right) d\gamma \end{aligned}$$

# Numerische Untersuchungen

## Halbunendlicher Stab mit Wärmeverlusten

Halbunendlicher Stab mit einer Dirac-Delta förmigen Quelle im Orts- und Zeitbereich und konvektiven Wärmeverlusten an der Position  $\xi = 0$





# Numerische Untersuchungen

## Einfluss der Wärmeverluste auf die Genauigkeit

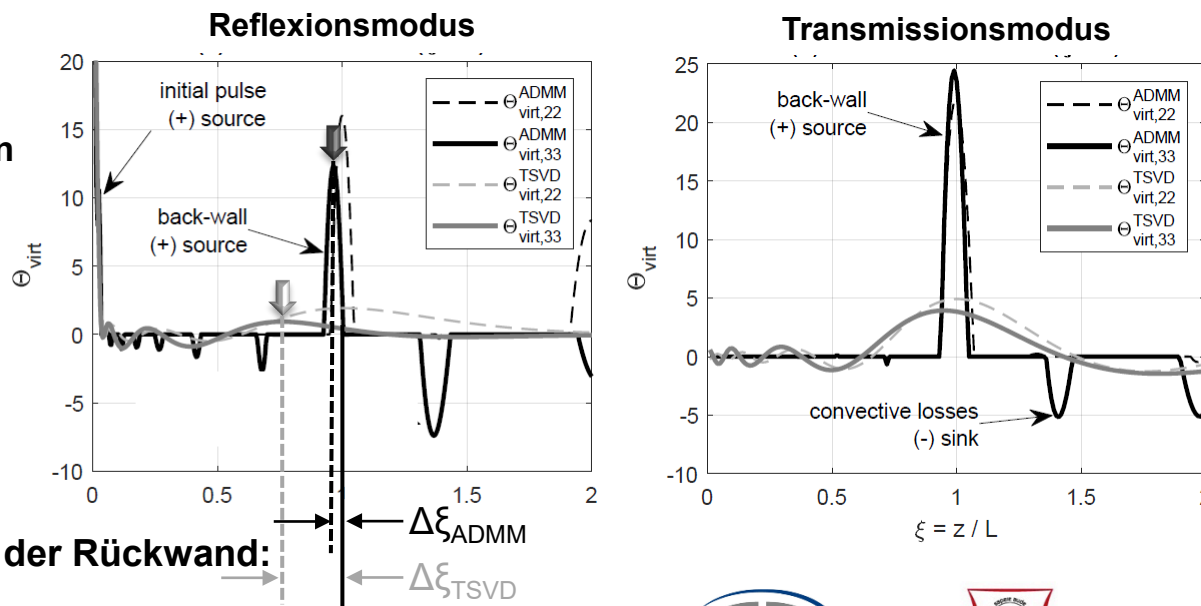
### Parameterstudie:

- **Randbedingungen**  
ohne Verluste  $\Theta_{22}$   
mit Verlusten  $\Theta_{33}$

- **Regularisierungsverfahren**  
Direkt: T-SVD  
Iterativ: ADMM

- **Messmethode**  
Reflexion:  $\xi = 0$   
Transmission:  $\xi = 1$

Virtueller A-Scan mit ADMM and T-SVD  
...Vorteil der Vorabinformationen...



Fehler bei der Bestimmung der Rückwand:

# Numerische Untersuchungen

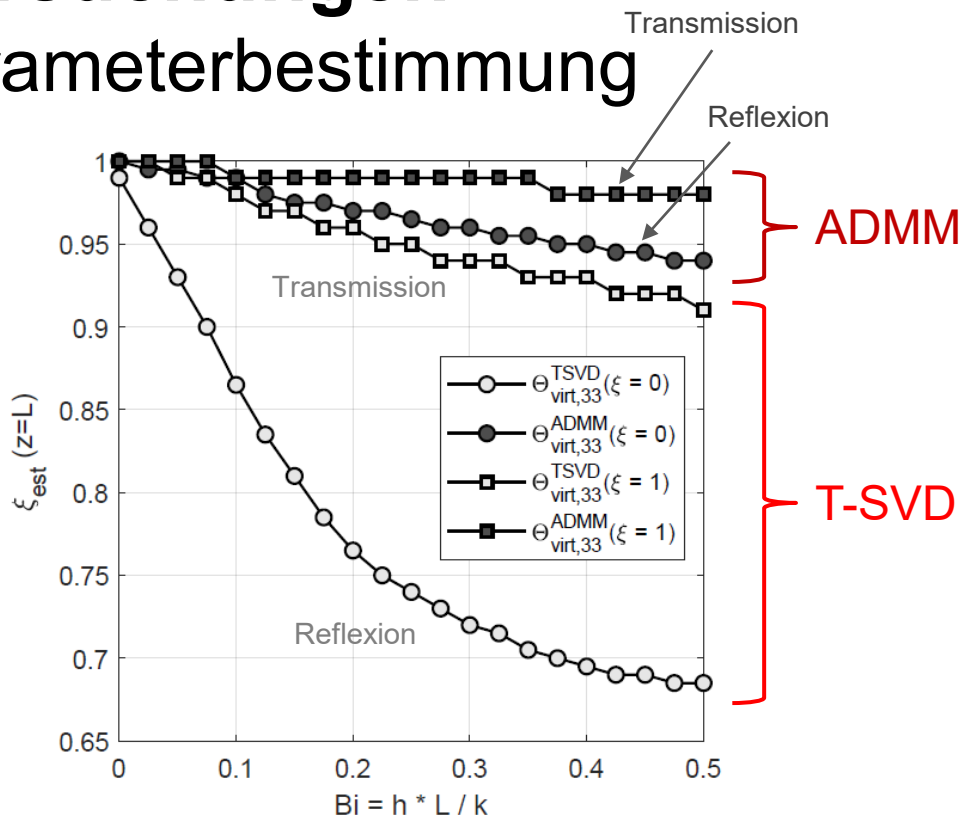
## Genauigkeit der Parameterbestimmung

### Parameter Studie:

- **Messmethode**  
Reflexion:  $\xi = 0$   
Transmission:  $\xi = 1$
- **Regularisierungsverfahren**  
Iterativ: ADMM  
Direkt: T-SVD

Der absolute Fehler ist um den **Faktor 5 kleiner** bei einer Regularisierung mit ADMM!

Fehler in der Rückwandbestimmung



# Experimentelle Ergebnisse

## Laser-angeregte Pulsthermographie

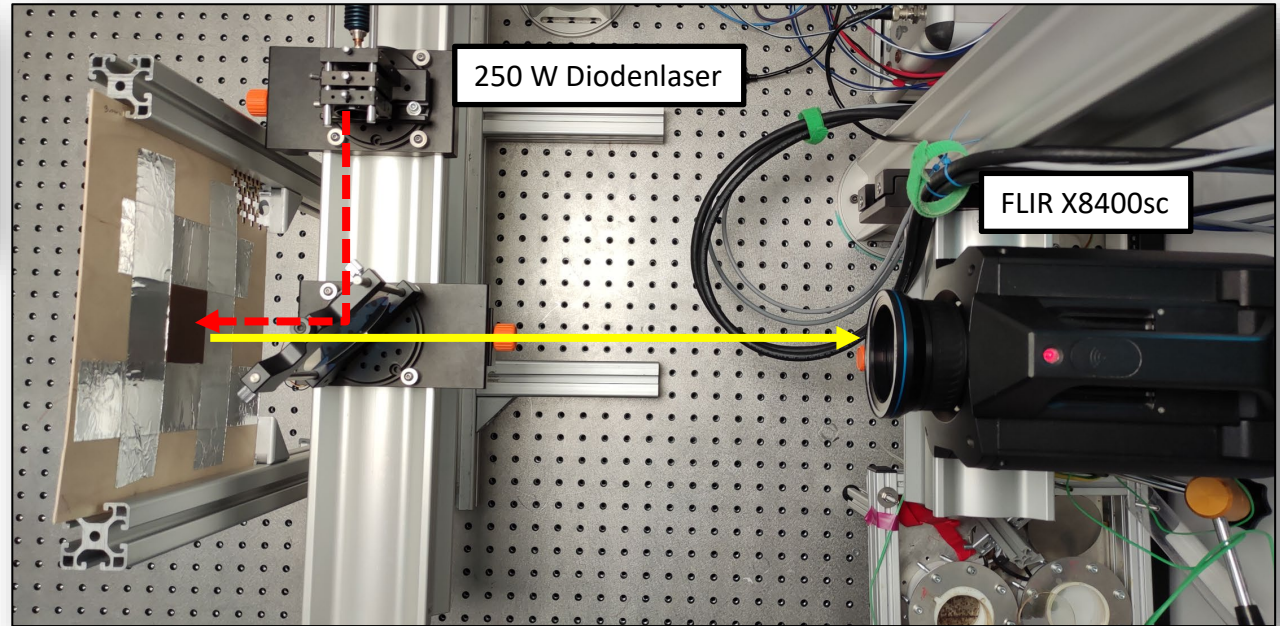


### Ungefülltes Polyamid

Dicke = 2 mm  
Leitfähigkeit =  $0.17 \text{ mm}^2 / \text{s}$   
Biotzahl  $\approx 0,9$   
Diffusionszeit = 23 s

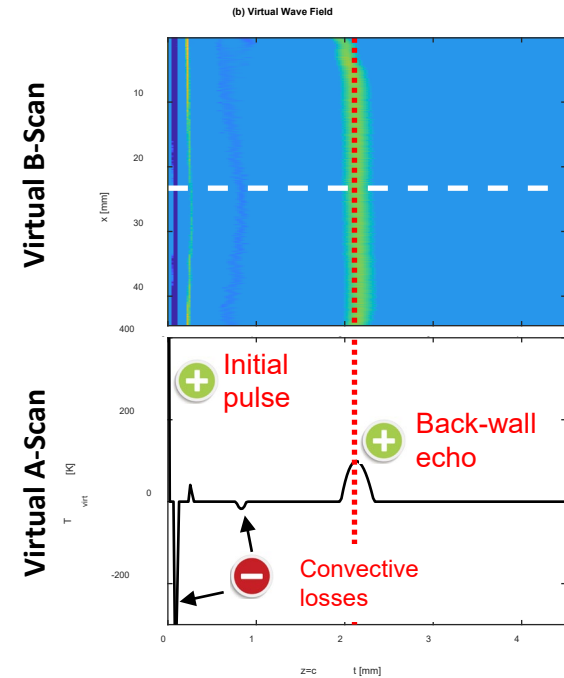
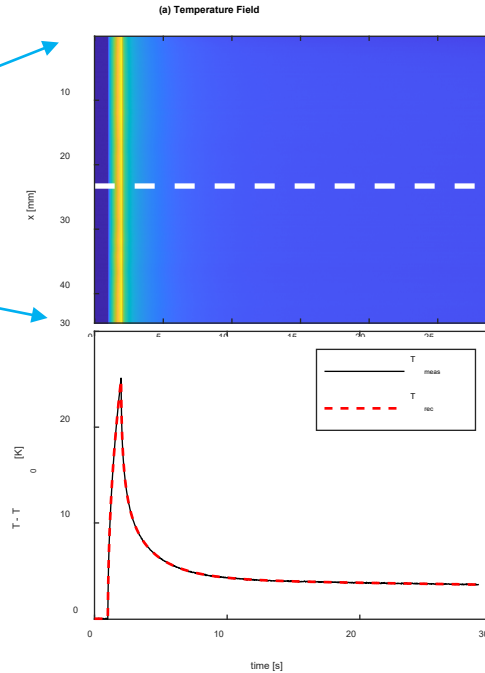
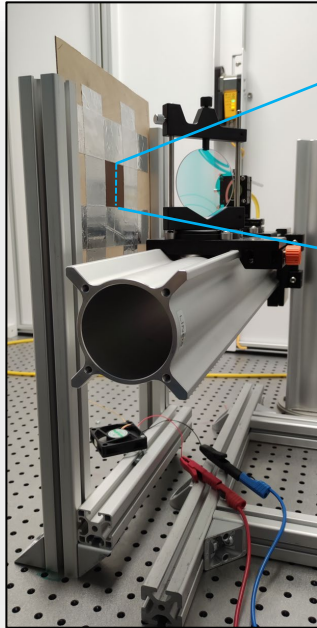
### Messparameter:

Bilder pro Sekunde = 39  
Pulsdauer = 2 s



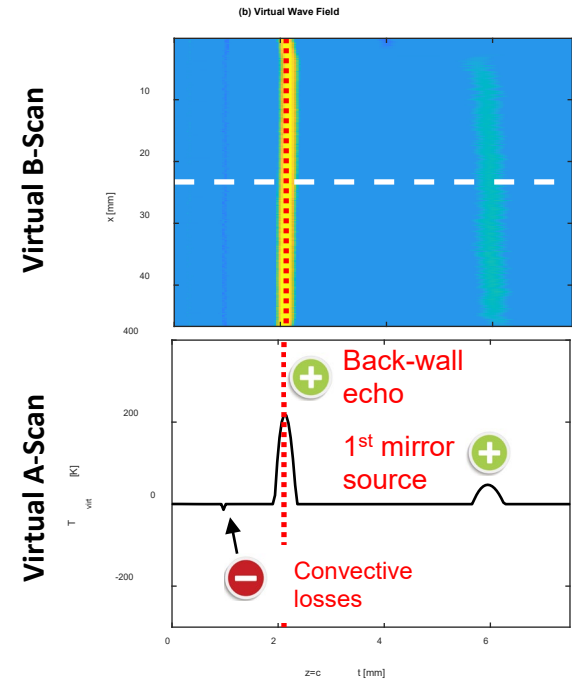
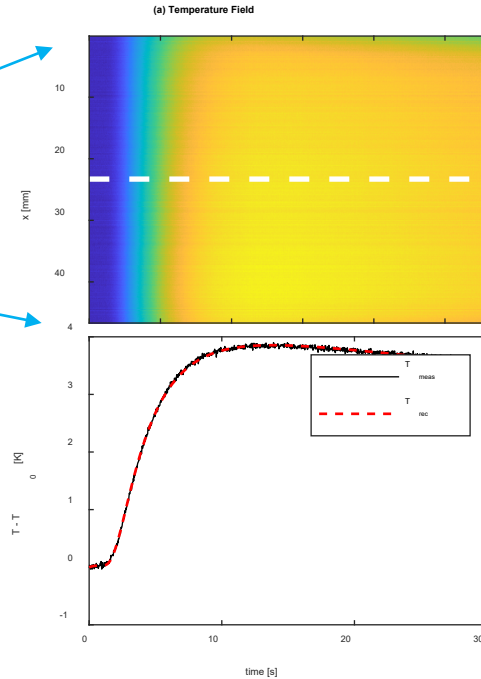
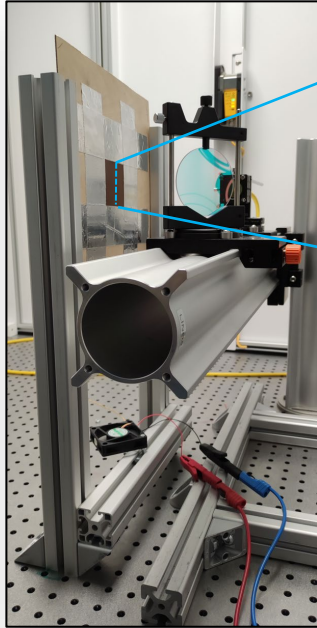
# Experimentelle Ergebnisse

## Reflexionsmodus



# Experimentelle Ergebnisse

## Transmissionsmodus




# Zusammenfassung

- ❑ Insbesondere bei Reflexionsmessungen führt ein hoher Temperaturanstieg an der Vorderseite zu erheblichen Wärmeübertragungsverlusten durch Konvektion und Strahlung.
- ❑ Virtual Wave Concept mit ADMM kann dazu verwendet werden, Fehler aufgrund von Wärmeverlusten an der Vorder- und Rückseite zu kompensieren → Faktor 5 besser als Standardverfahren.
- ❑ Bei Reflexions- sowie Transmissionsmessungen können hohe Genauigkeiten bei der Parameterbestimmung erreicht werden.
- ❑ Quantitative Parameterschätzungen sind unter experimentellen Bedingungen möglich, bei denen die Randbedingungen nicht kontrolliert werden können.



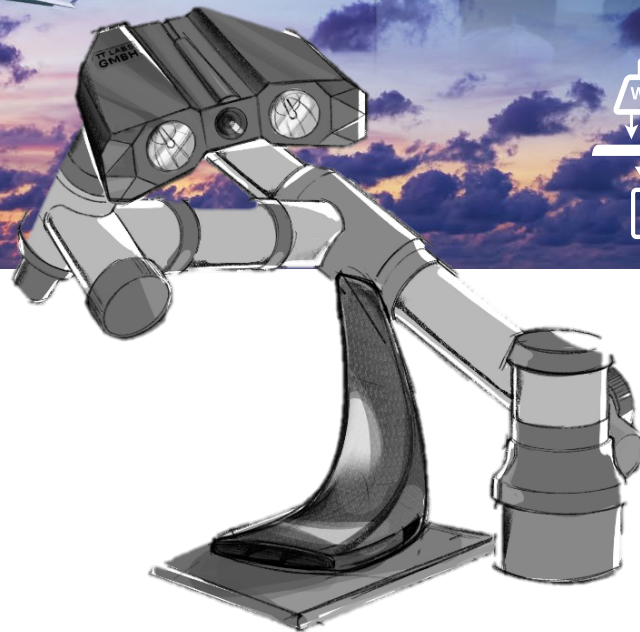
tech2b

Gefördert durch Preseed – Deep Tech des BMDW bzw. des BMK abgewickelt durch die avs

 Bundesministerium  
Klimaschutz, Umwelt,  
Energie, Mobilität,  
Innovation und Technologie

 Bundesministerium  
Arbeit und Wirtschaft

austria  
wirtschafts  
service 





## Contact us

voidsy gmbh

Stelzhammerstraße 16, 4600 Wels

AUSTRIA

+43 677 642 96 370

hello@voidsy.com

