

Schichtdickenmessungen an Mehrschichtsystemen mittels Terahertz-Messtechnik

J. Klier, S. Weber, S. Krimi, F. Ellrich, J. Jonuscheit und G. von Freymann
Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM, Kaiserslautern

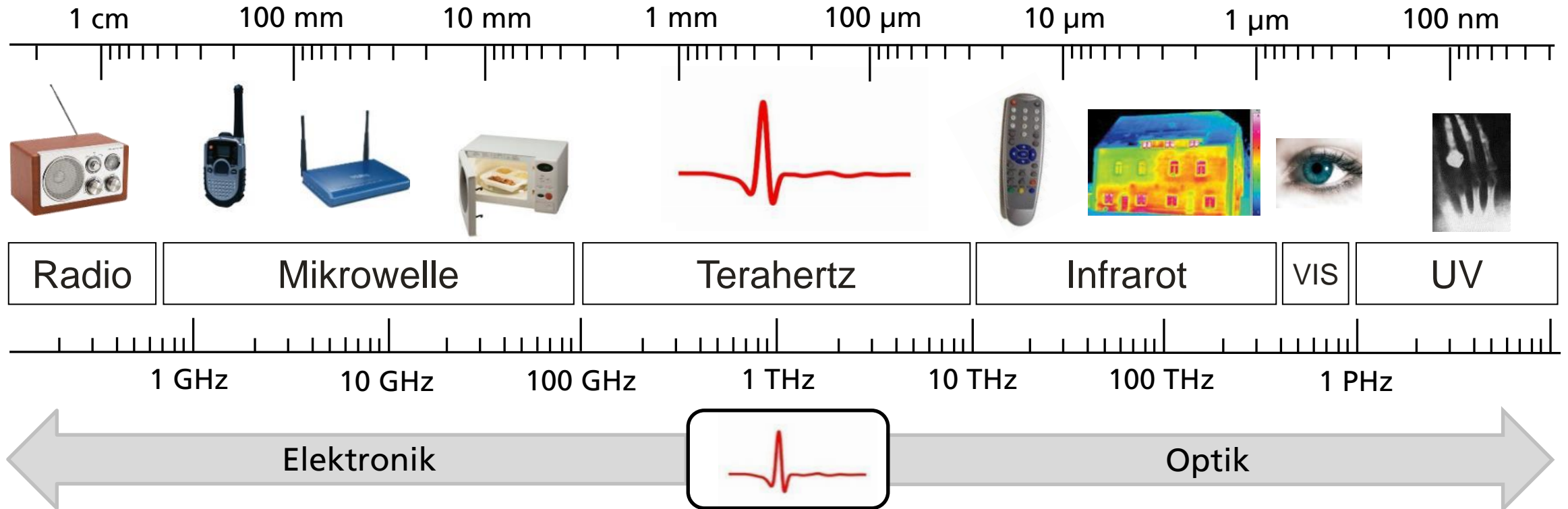


Inhalt

- Terahertz - Spektralbereich
- Terahertz - Zeitbereichsspektroskopie
- Mehrschichtanalyse
 - Automobillacke
 - Interieurfolien
 - Turbinenschaufel
- Zusammenfassung



Terahertz-Spektralbereich



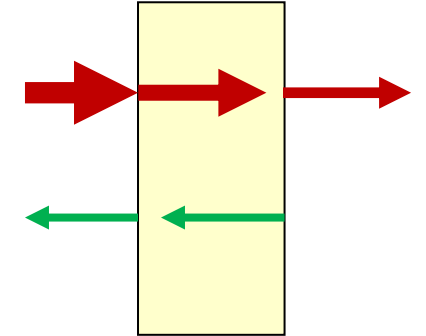
Terahertz in Zahlen: 0,1 THz – 10 THz
3 mm – 30 μm

Terahertz-Spektralbereich

Eigenschaften

Viele Werkstoffe wie Kunststoffe, Papier, Keramik, Halbleiter und Textilien sind **transparent**.

- Erkennen interner Strukturen und Fremdkörper
- Inspektion verpackter Produkte



Metalle und andere elektrische Leiter sind **Reflektoren**.

Starke **Absorption** durch polare Flüssigkeiten wie Wasser.

Identifizierung fast aller polarer Moleküle ist möglich.

Terahertz-Wellen sind **gesundheitlich unbedenklich**.

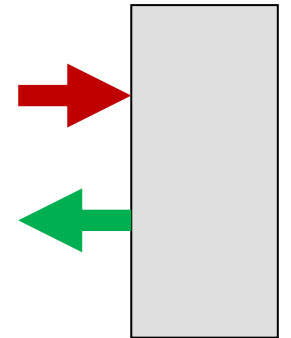
Terahertz-Spektralbereich

Eigenschaften

Viele Werkstoffe wie Kunststoffe, Papier, Keramik, Halbleiter und Textilien sind **transparent**.

Metalle und andere elektrische Leiter sind **Reflektoren**.

- Kein Blick ins Bauteilinnere
- Untersuchung der Oberfläche und Beschichtung



Starke **Absorption** durch polare Flüssigkeiten wie Wasser.

Identifizierung fast aller polarer Moleküle ist möglich.

Terahertz-Wellen sind **gesundheitlich unbedenklich**.

Terahertz-Spektralbereich

Eigenschaften

Viele Werkstoffe wie Kunststoffe, Papier, Keramik, Halbleiter und Textilien sind **transparent**.

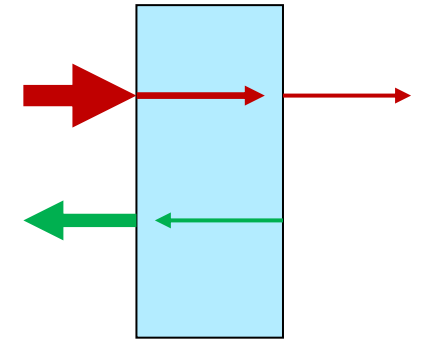
Metalle und andere elektrische Leiter sind **Reflektoren**.

Starke **Absorption** durch polare Flüssigkeiten wie Wasser.

- Geringe Eindringtiefe in wasserhaltige Objekten
- Quantitative Bestimmung des Wassergehaltes

Identifizierung fast aller polarer Moleküle ist möglich.

Terahertz-Wellen sind **gesundheitlich unbedenklich**.



Terahertz-Spektralbereich

Eigenschaften

Viele Werkstoffe wie Kunststoffe, Papier, Keramik, Halbleiter und Textilien sind **transparent**.

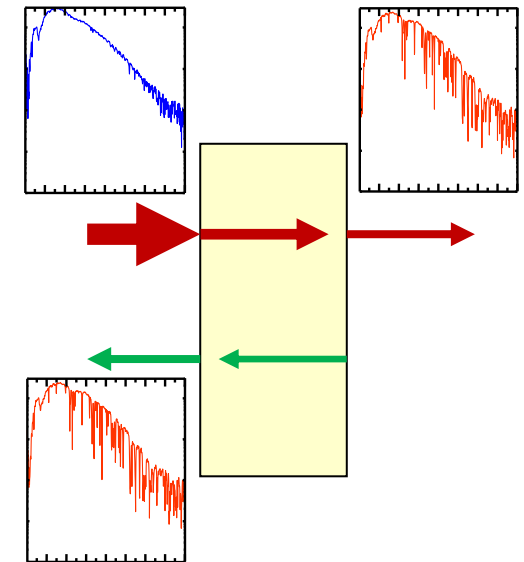
Metalle und andere elektrische Leiter sind **Reflektoren**.

Starke **Absorption** durch polare Flüssigkeiten wie Wasser.

Identifizierung fast aller polarer Moleküle ist möglich.

- Identifikation von Wirkstoffen und Drogen
- Erkennen von Strukturänderungen wie Polymorphismus

Terahertz-Wellen sind **gesundheitlich unbedenklich**.



Terahertz-Spektralbereich

Eigenschaften

Viele Werkstoffe wie Kunststoffe, Papier, Keramik, Halbleiter und Textilien sind **transparent**.

Metalle und andere elektrische Leiter sind **Reflektoren**.

Starke **Absorption** durch polare Flüssigkeiten wie Wasser.

Identifizierung fast aller polarer Moleküle ist möglich.

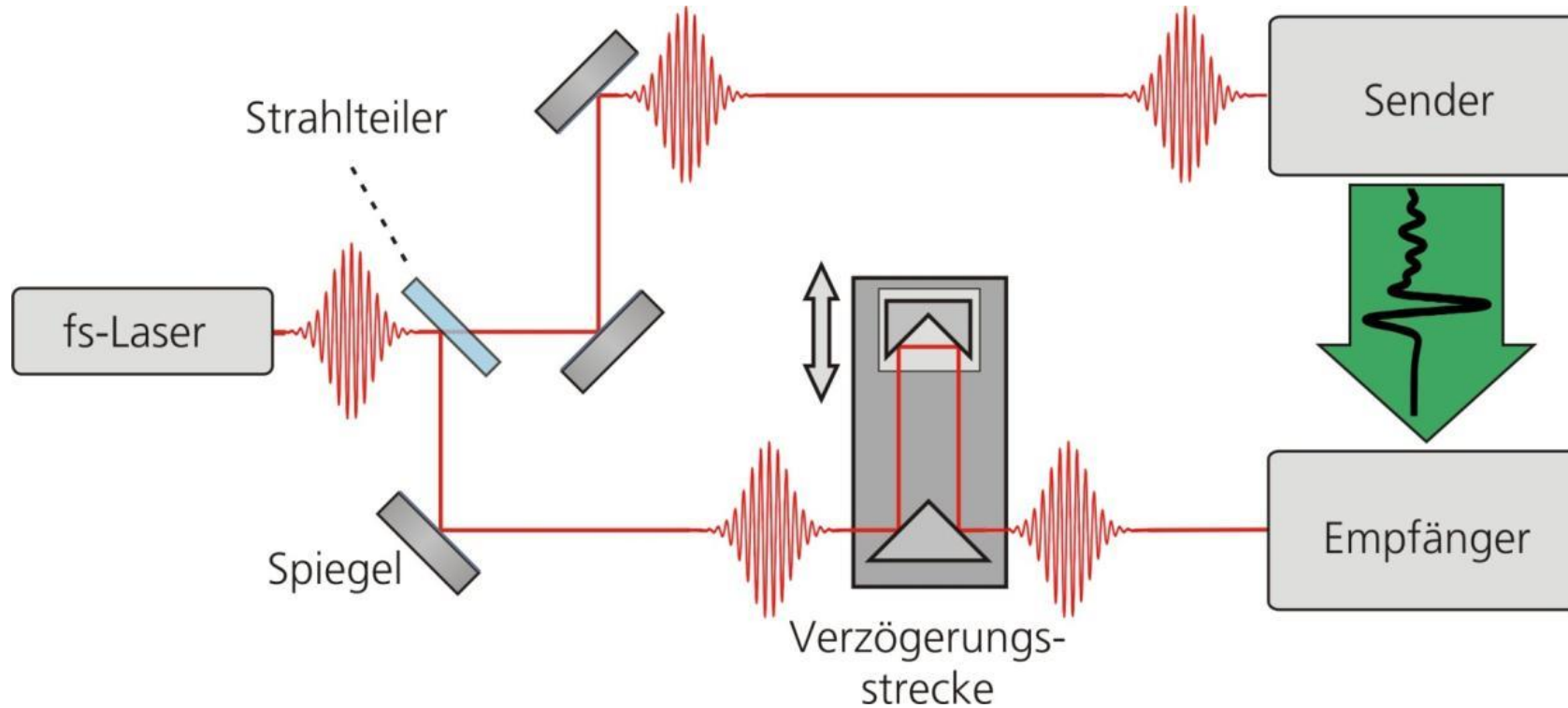
Terahertz-Wellen sind **gesundheitlich unbedenklich**.

- Keine Veränderungen organischer Substanzen
- Keine besonderen Strahlenschutzmaßnahmen notwendig



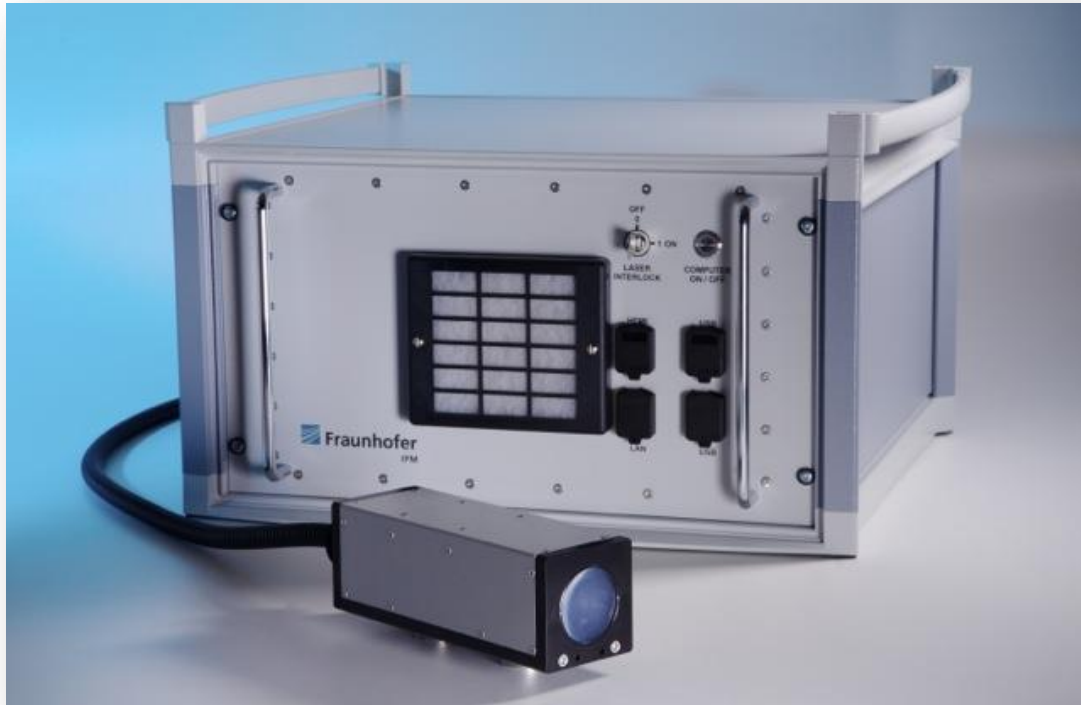
Terahertz-Zeitbereichsspektroskopie

Prinzipieller Aufbau



- Aufspalten des Femtosekunden-Laserstrahls zum Schalten von Sender und Empfänger
- Synchronisierung der Lichtpulse durch Verzögerungsstrecke

Fasergekoppeltes Terahertz-Messsystem



Abmessungen

Messmodul:
75 x 75 x 220 mm
1,3 kg

Basiseinheit:
420 x 500 x 265 mm
33,4 kg

Kabel/Faser:
5 – 10 m



Messmodul montiert auf XY-Scanner

Terahertz-Zeitbereichsspektroskopie

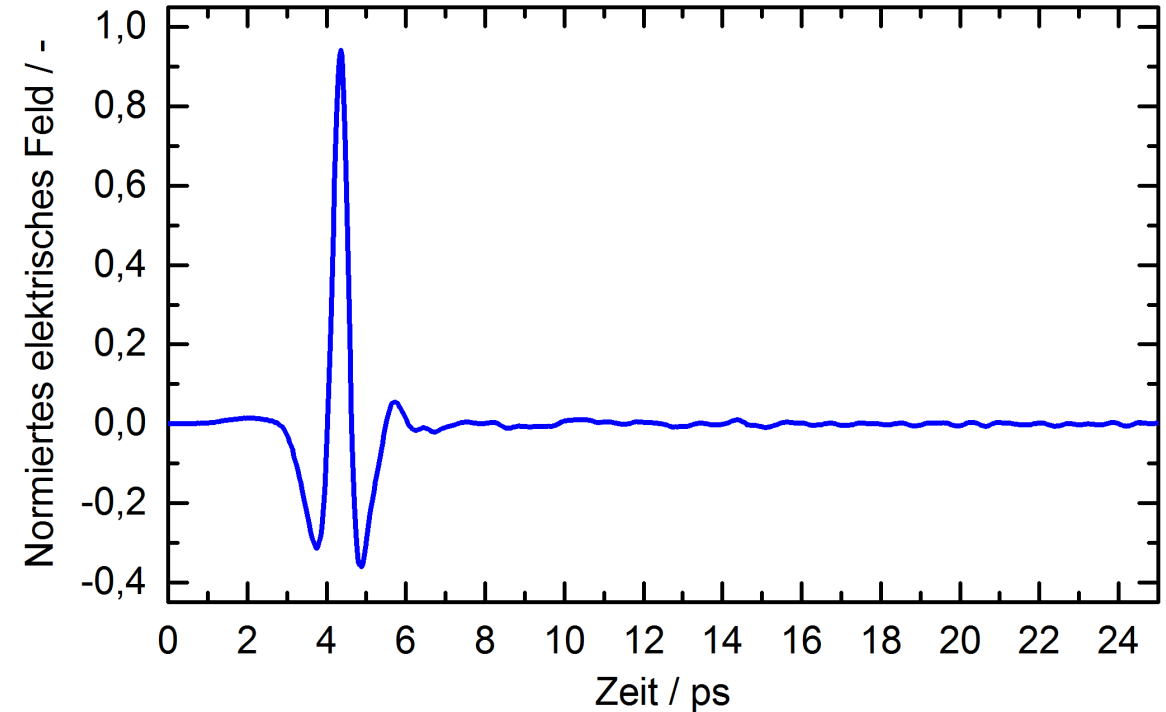
Messprinzip

Messung des elektrischen Feldes

Pulsdauer < 1 ps

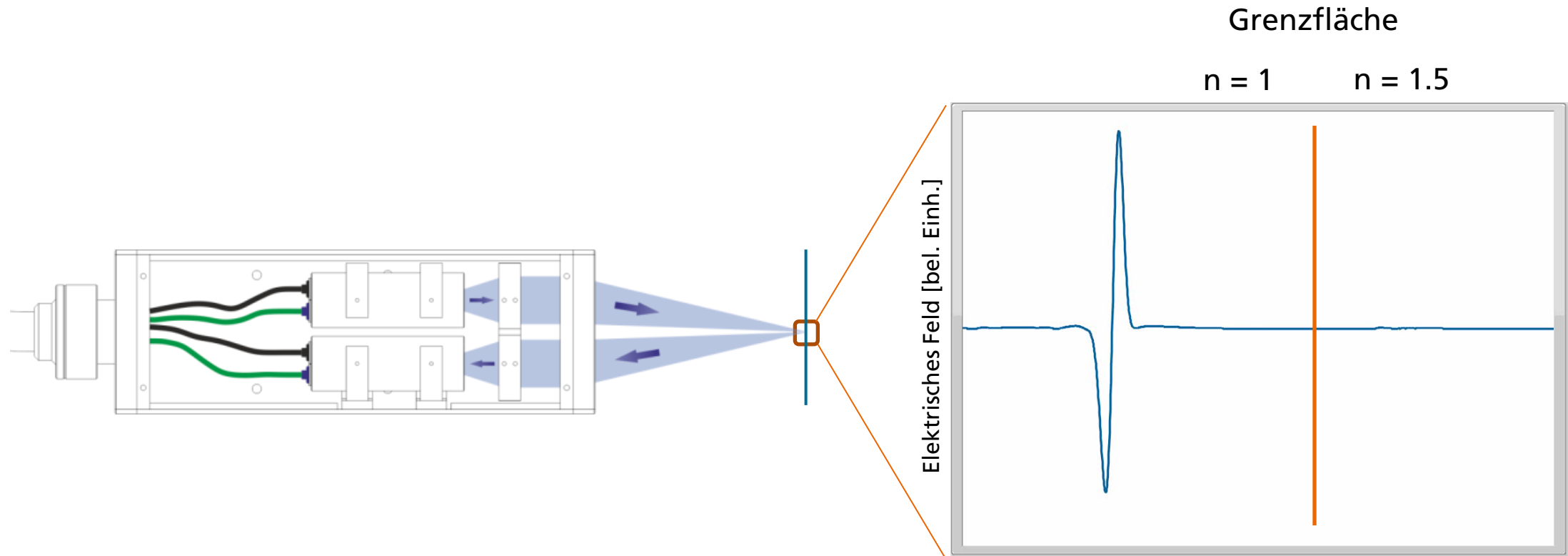
Dynamik > 60 dB

40 Wellenformen pro Sekunde



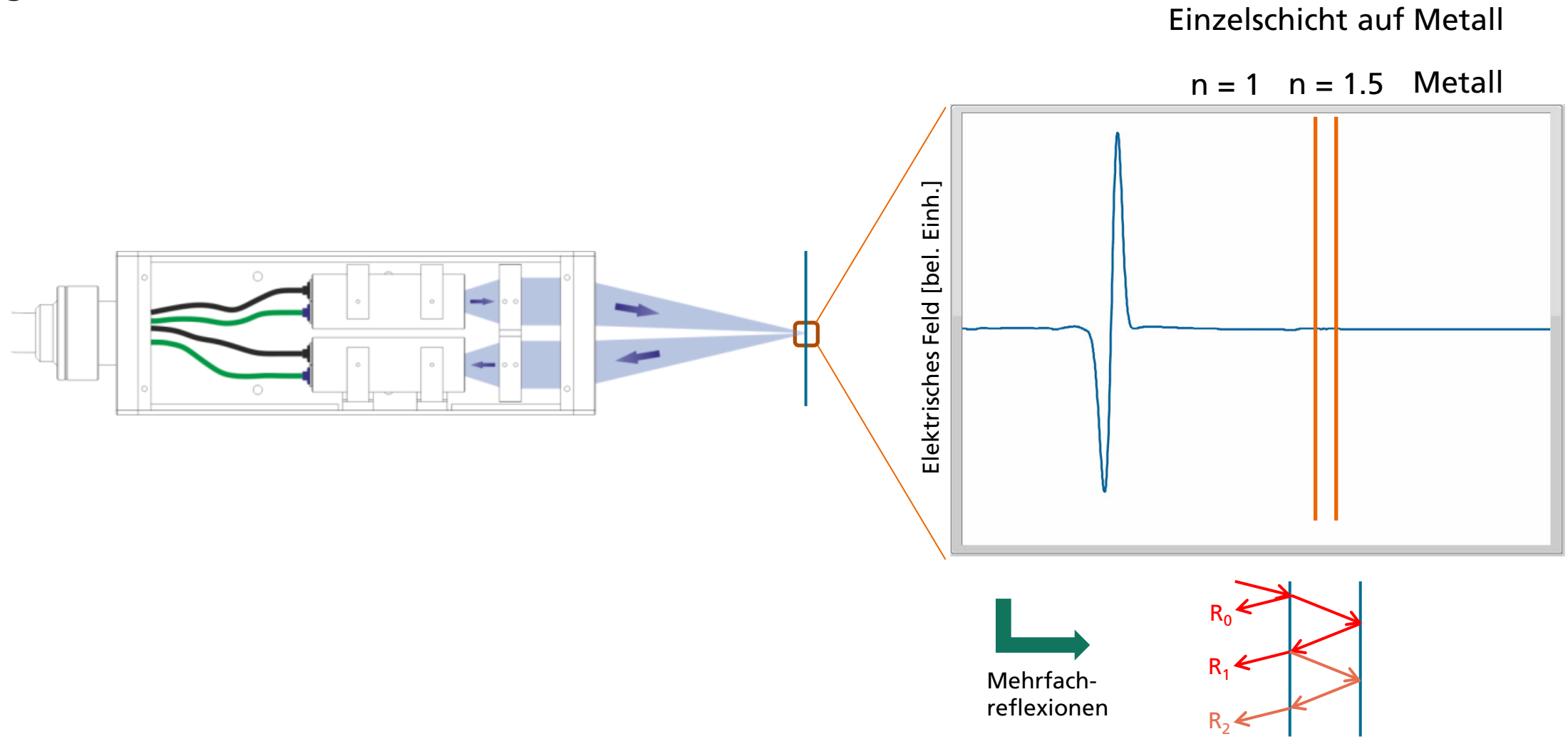
Schichtanalyse

Signalverhalten an Grenzflächen

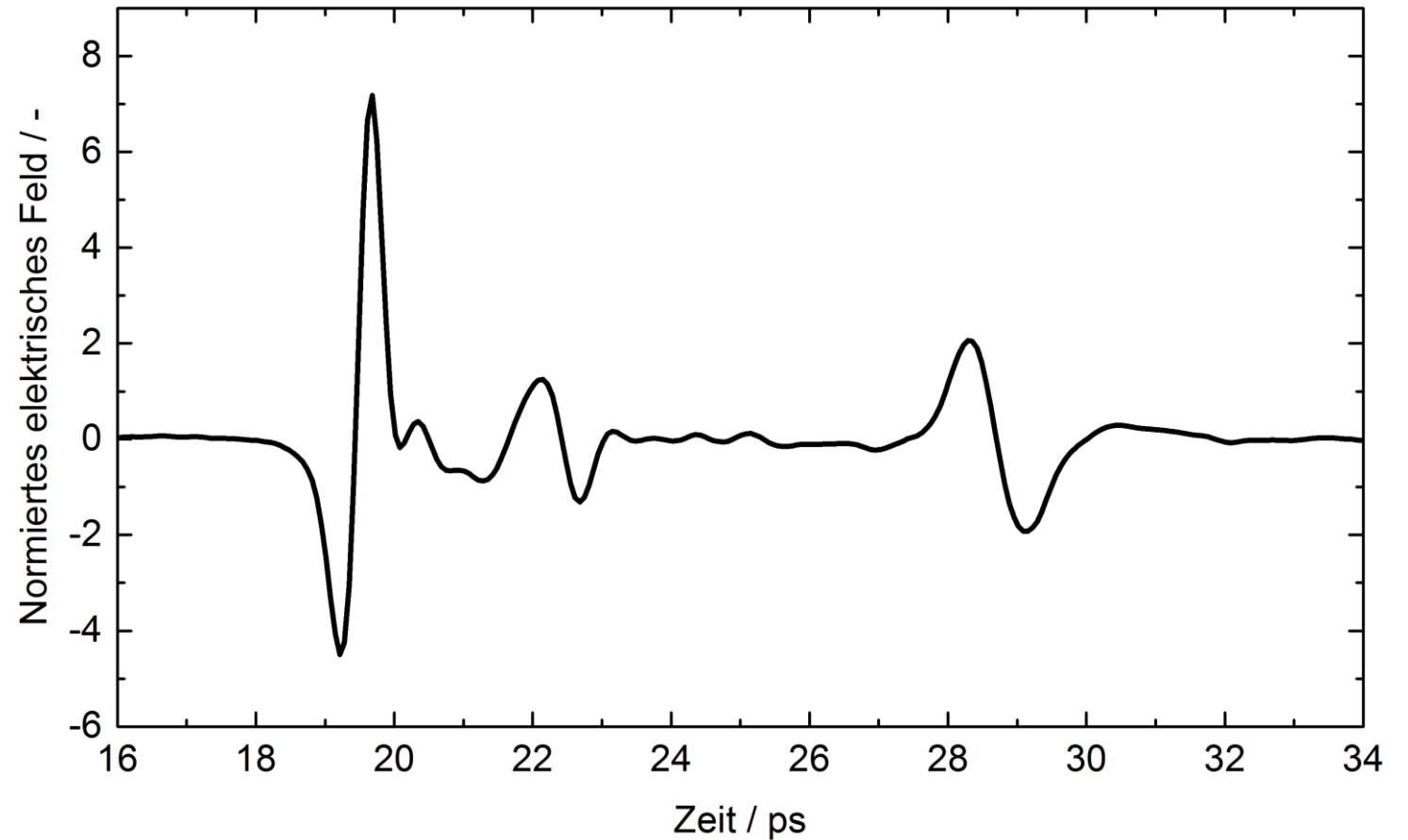
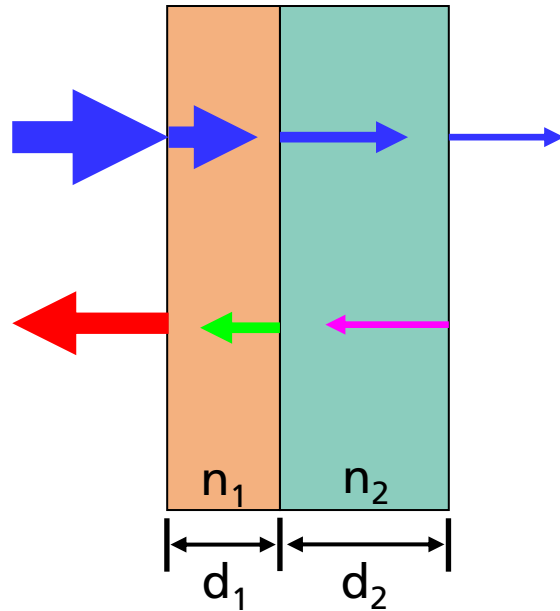


Schichtanalyse

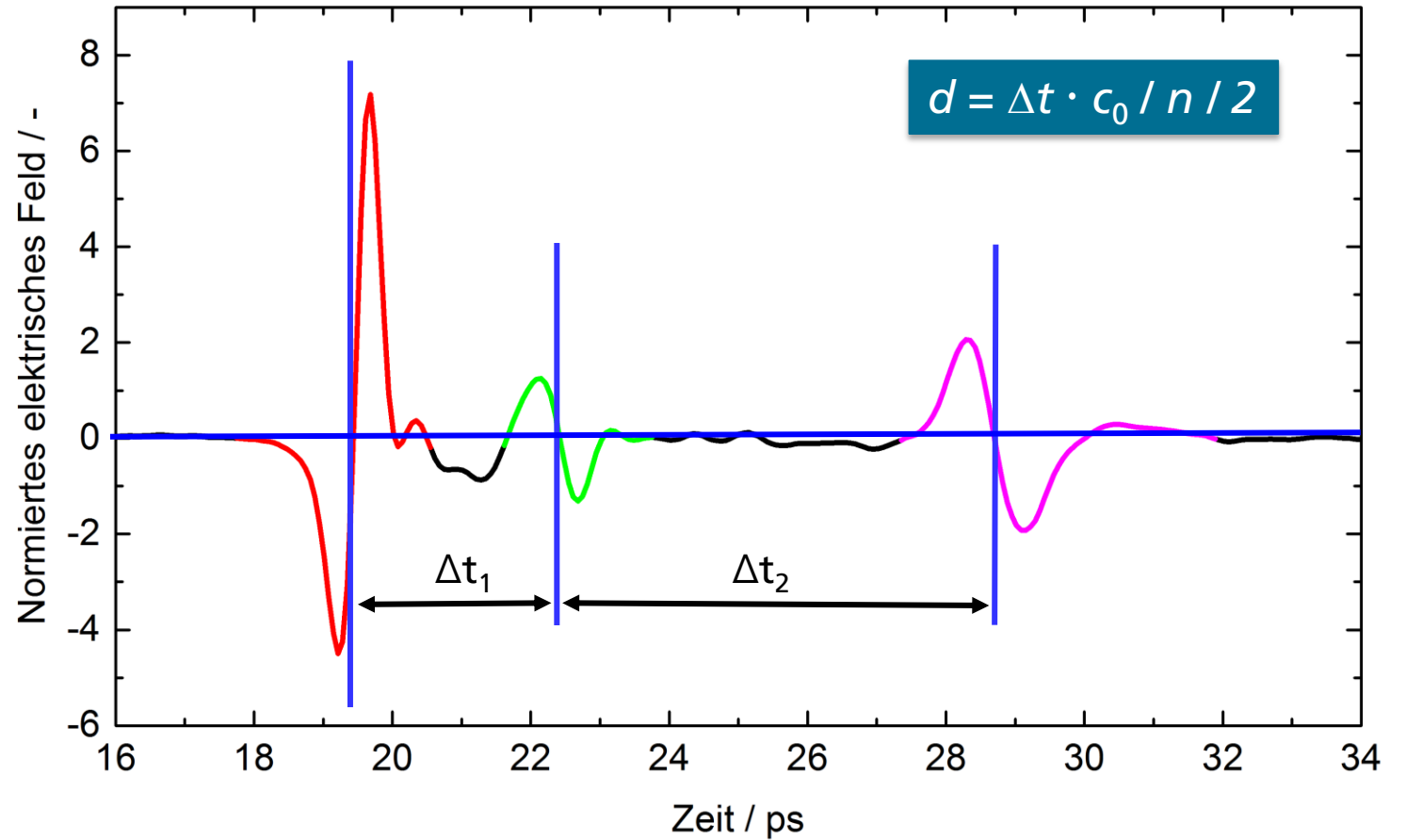
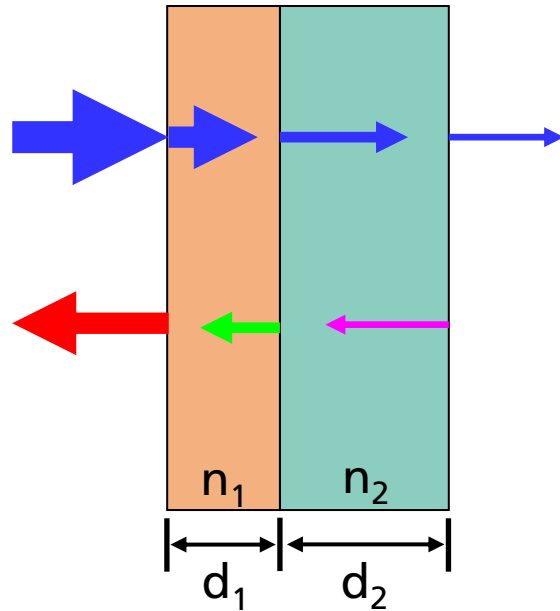
Signalverhalten an Grenzflächen



Schichtdickenbestimmung in Reflexion - Messprinzip

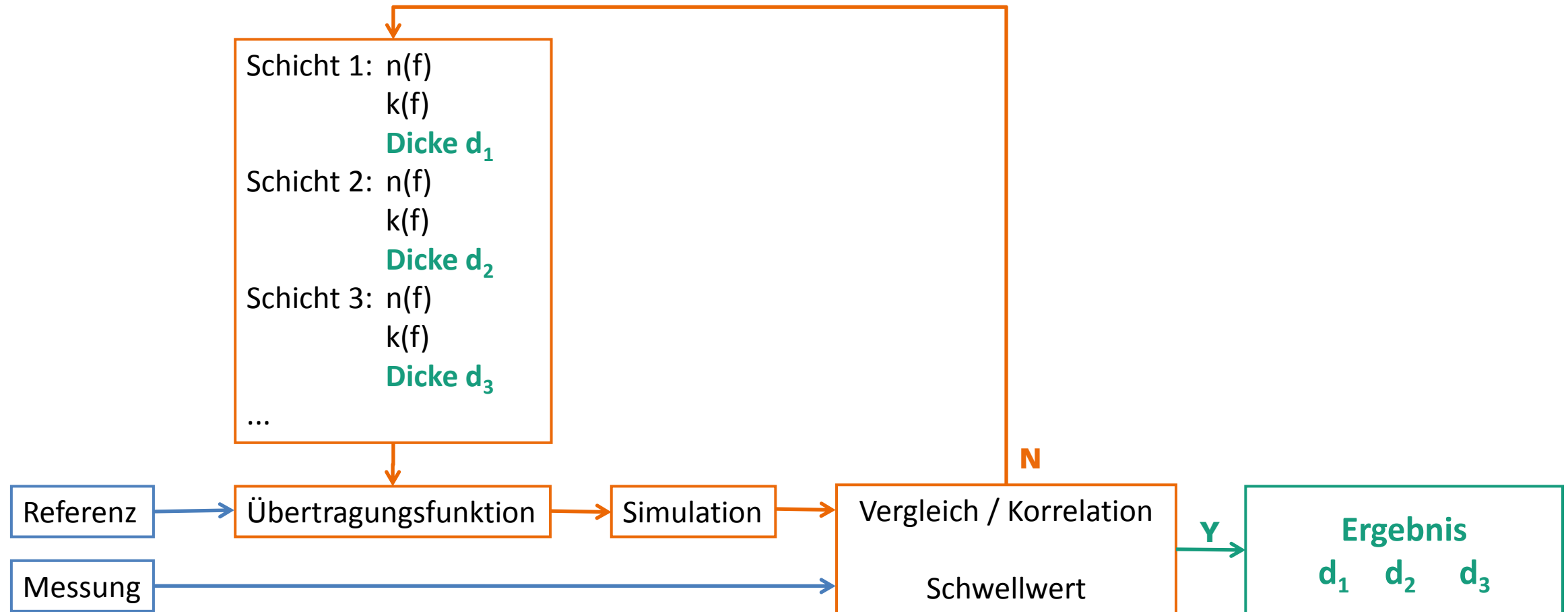


Schichtdickenbestimmung in Reflexion - Messprinzip



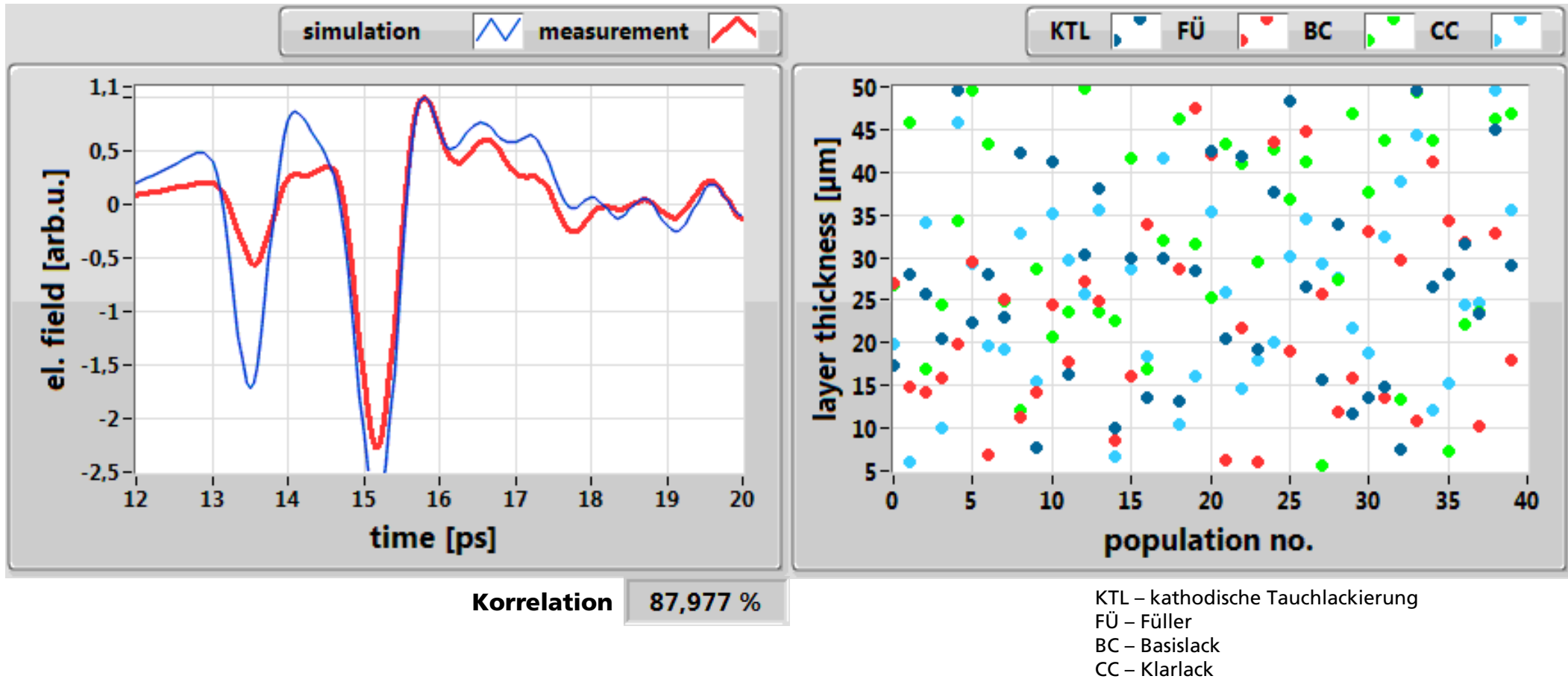
Schichtdickenmessung

Flussdiagramm der Auswertung



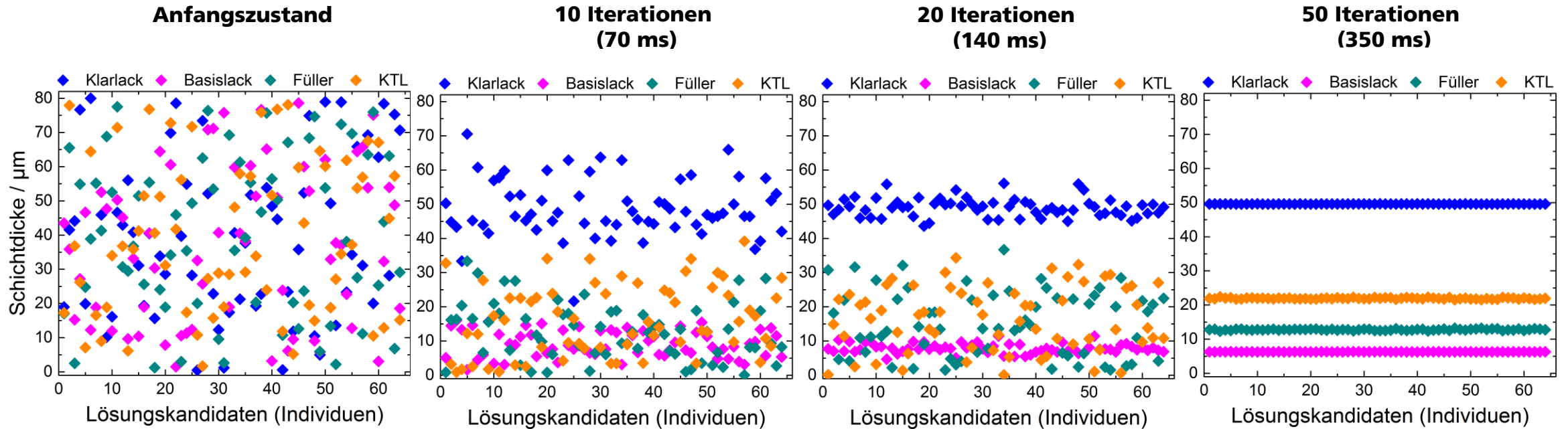
Schichtdickenmessung

Konvergenz der Auswertung



Schichtdickenmessung

Konvergenz der Auswertung



Klarlack = 50 μm
Basislack = 6 μm
Füller = 13 μm
KTL = 22 μm

Automobillacke

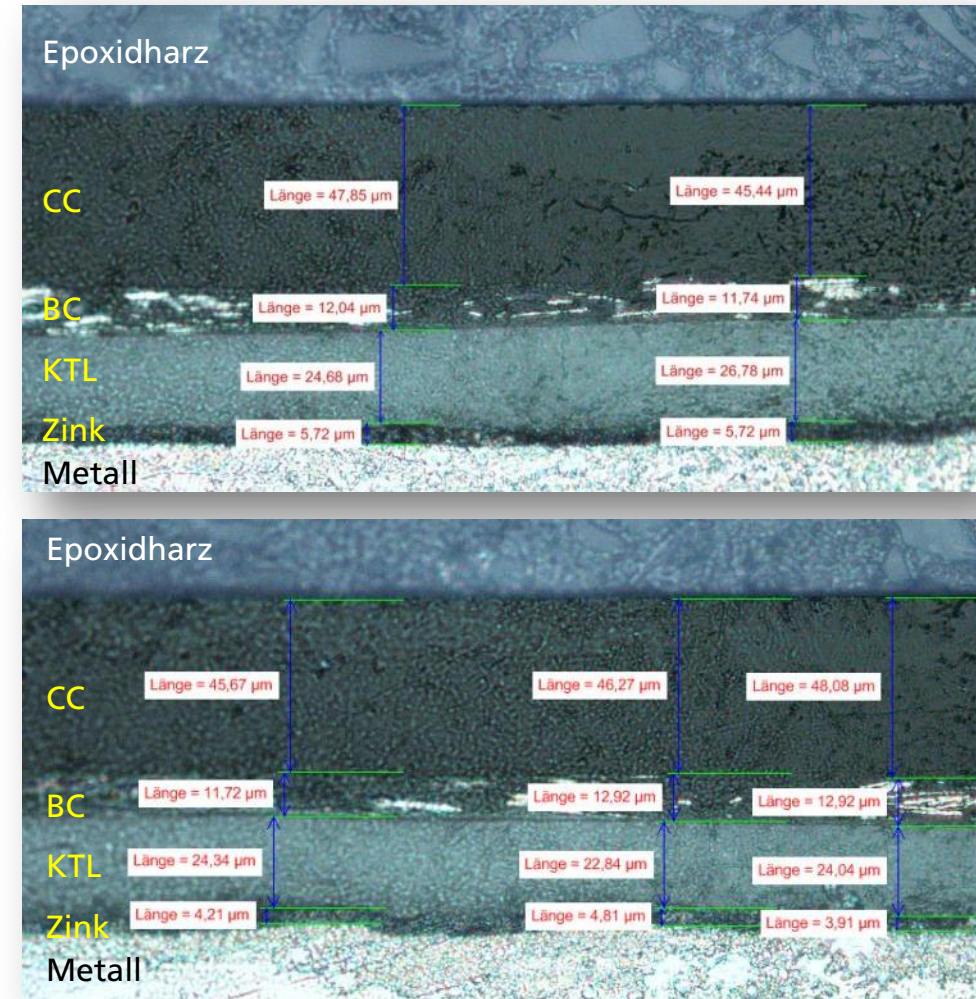


Schichtdickenmessung

Dreischicht-Lacksystem auf Metall

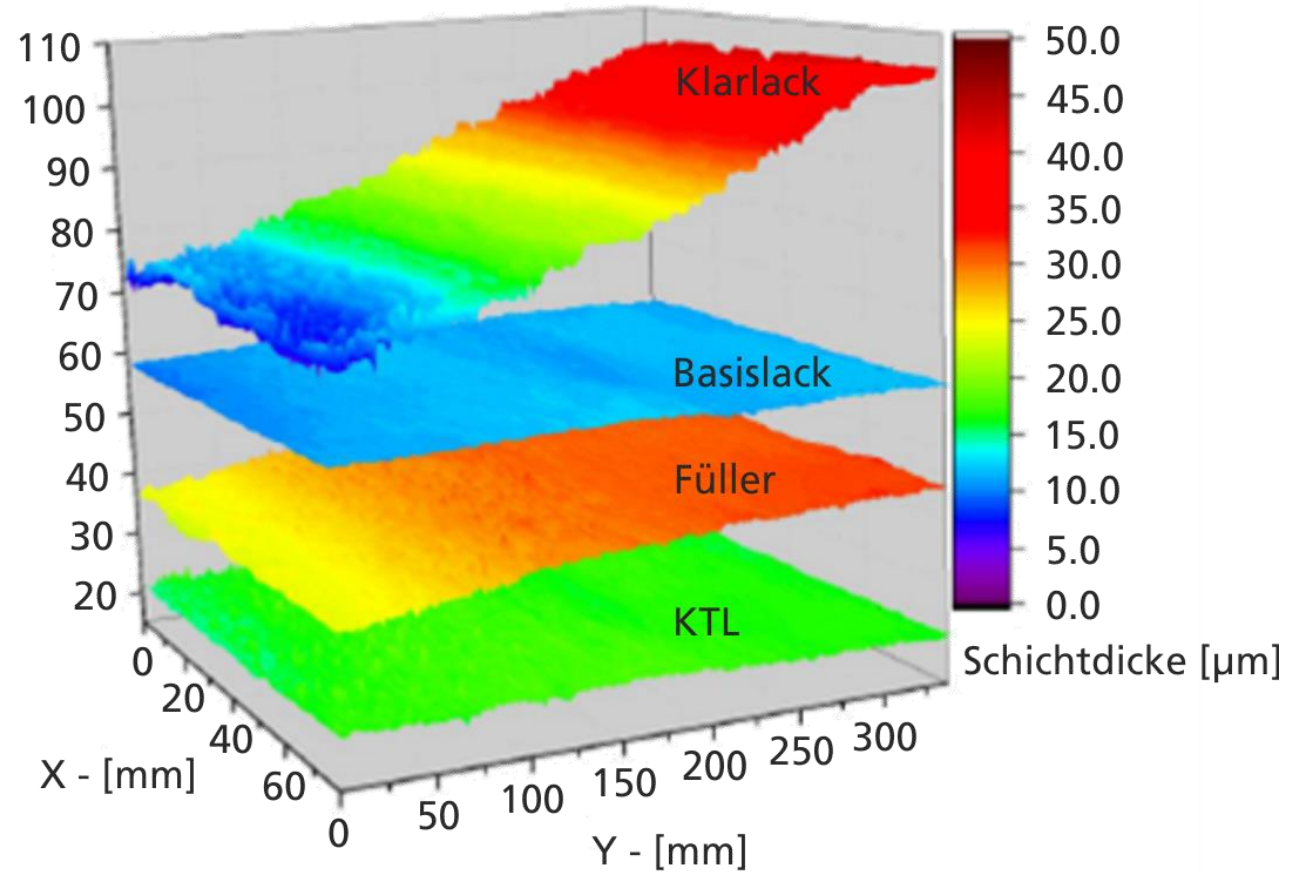
Schicht	Terahertz [μm]	Querschliff [μm]
CC	45.2 ± 0.5	45.4 – 48.0
BC	13.5 ± 0.4	11.7 – 12.9
KTL	24.2 ± 0.8	22.8 – 26.7

Vergleich mit »Goldstandard«:
Querschliff und Mikroskop



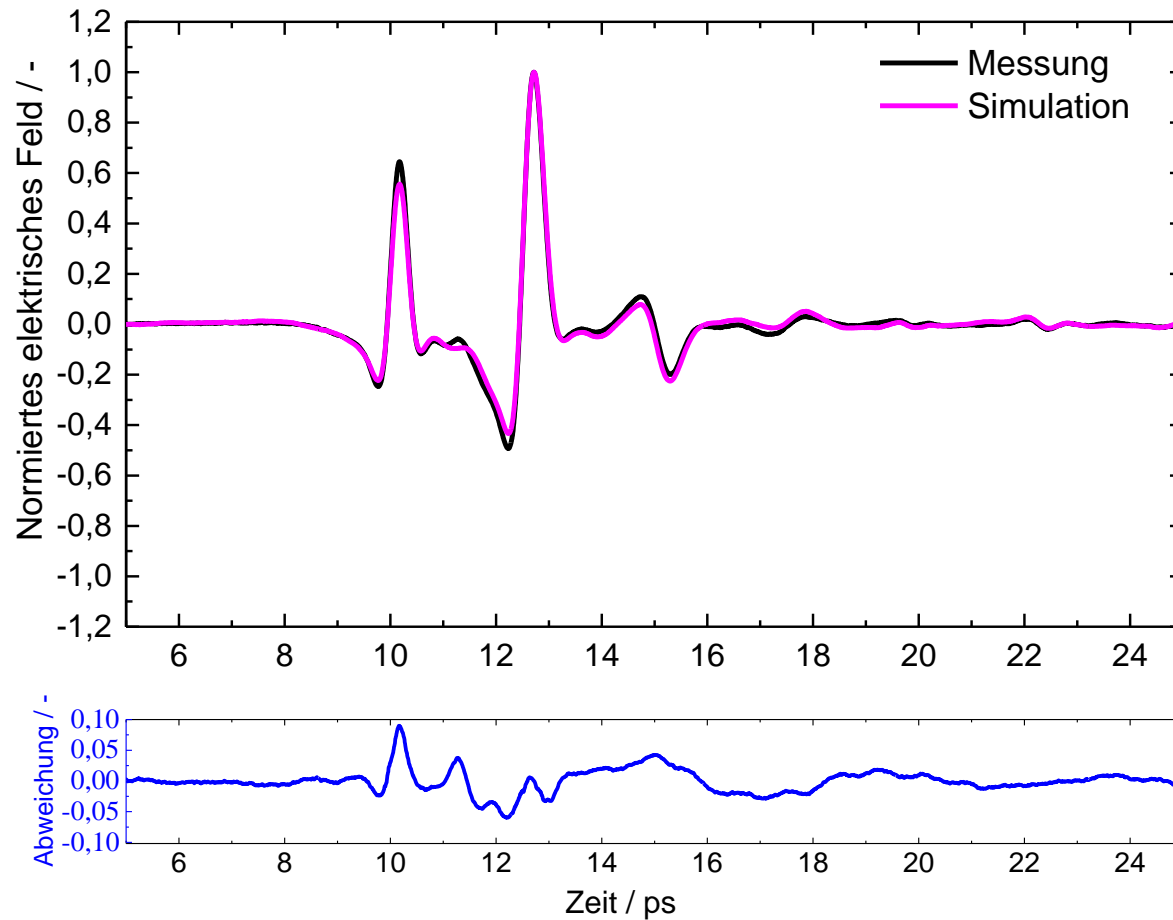
Schichtdickenmessung

Vierschicht-Metallic-Lacksystem auf Metall



Schichtdickenmessung

Zweischicht-Lacksystem auf CFK



Schicht \ Dicke (μm)	Terahertz	Querschliff
Klarlack	100 \pm 1	102 \pm 1
Basislack	95 \pm 1	94 \pm 1

Robotergestützte Schichtdickenmessung

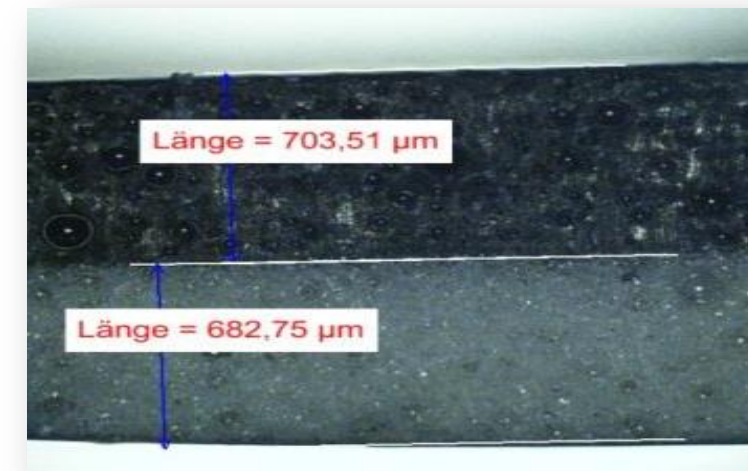
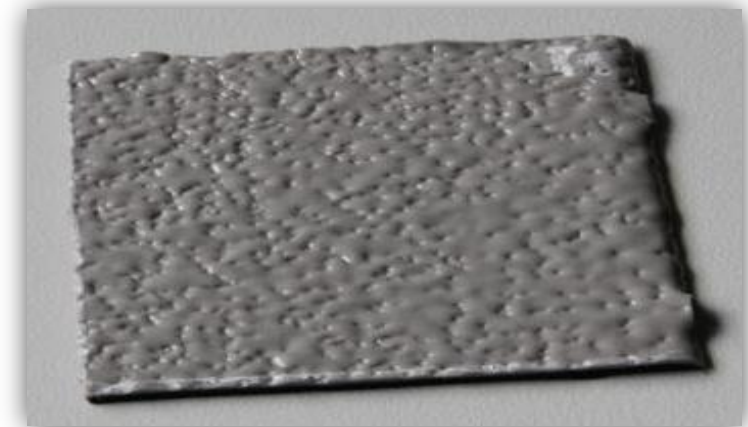
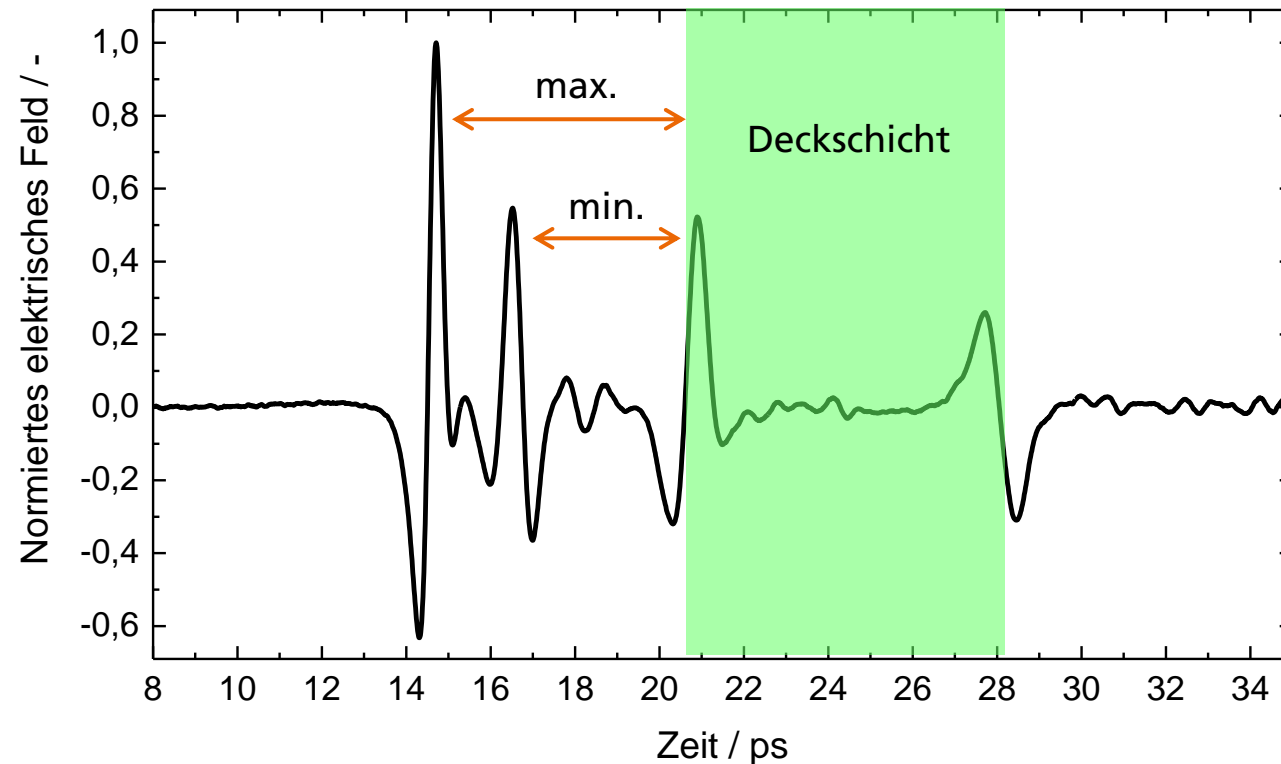


Interieurfolien



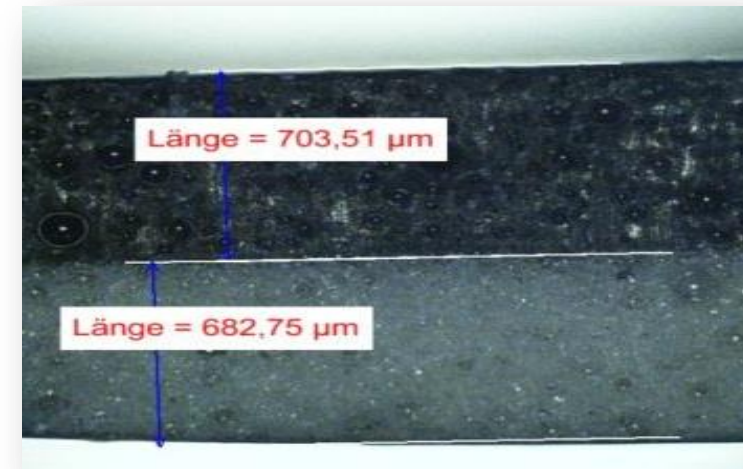
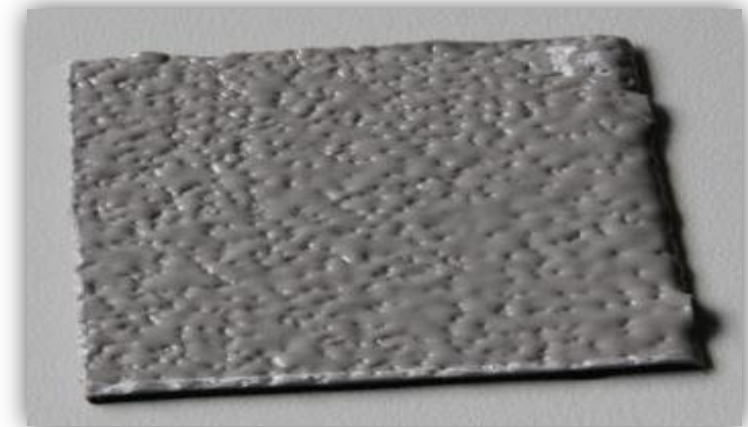
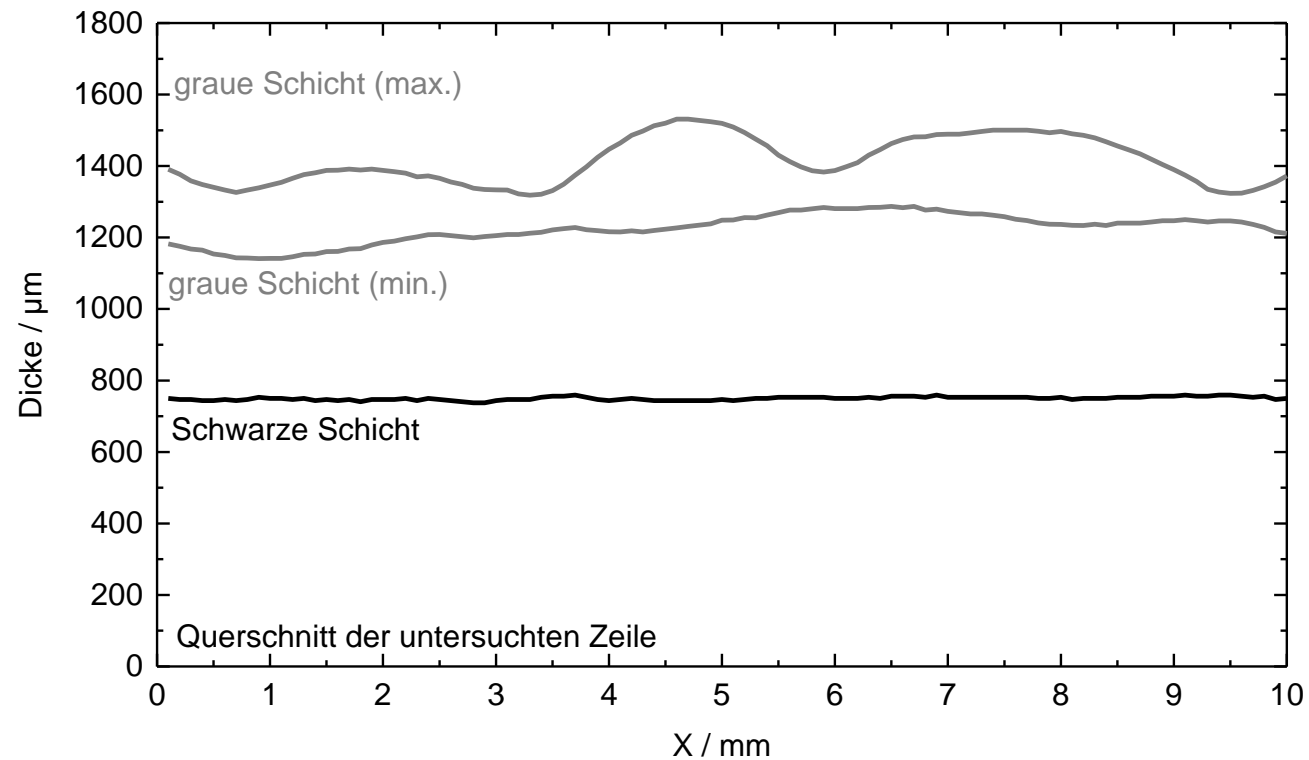
Mehrschichtanalyse

Zweilagige Kunststofffolie

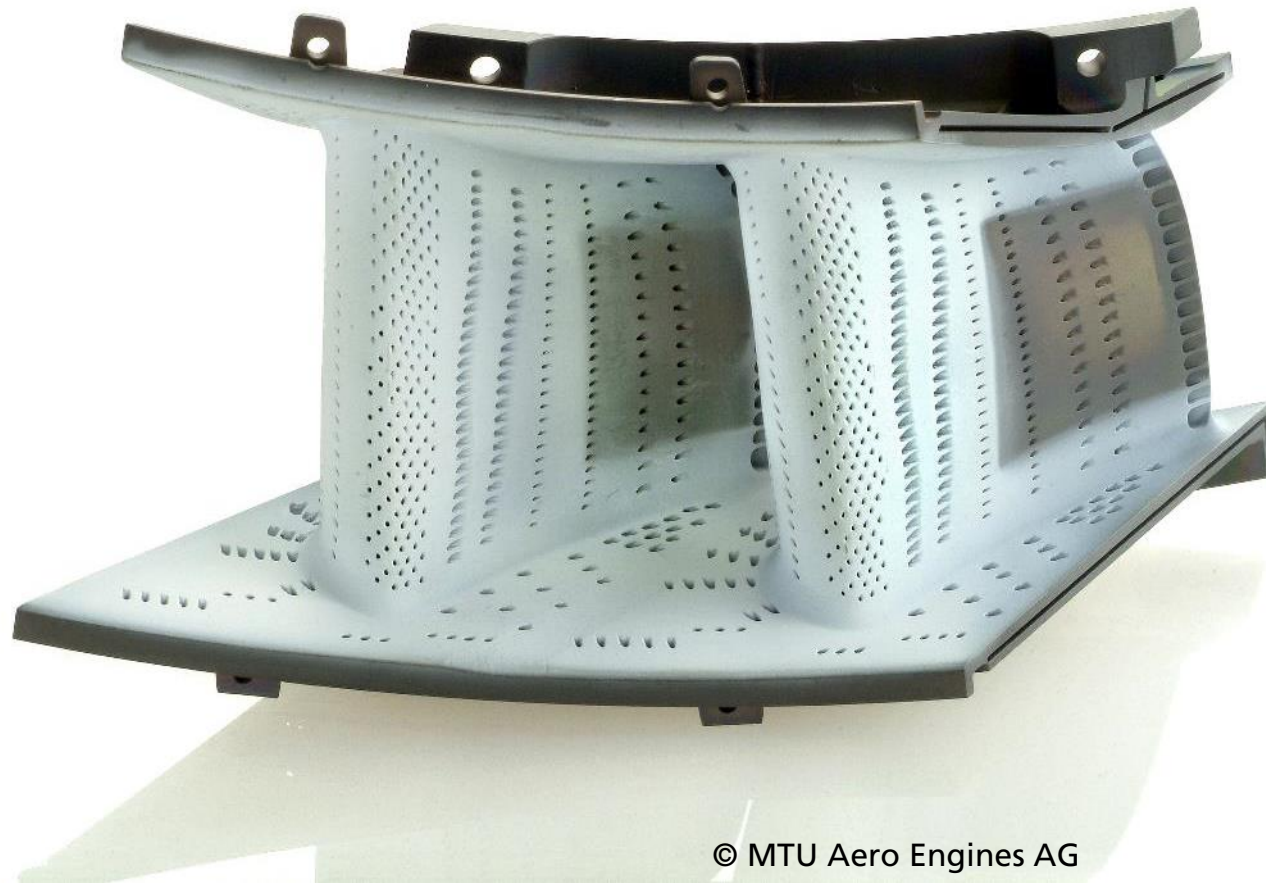


Mehrschichtanalyse

Zweilagige Kunststofffolie



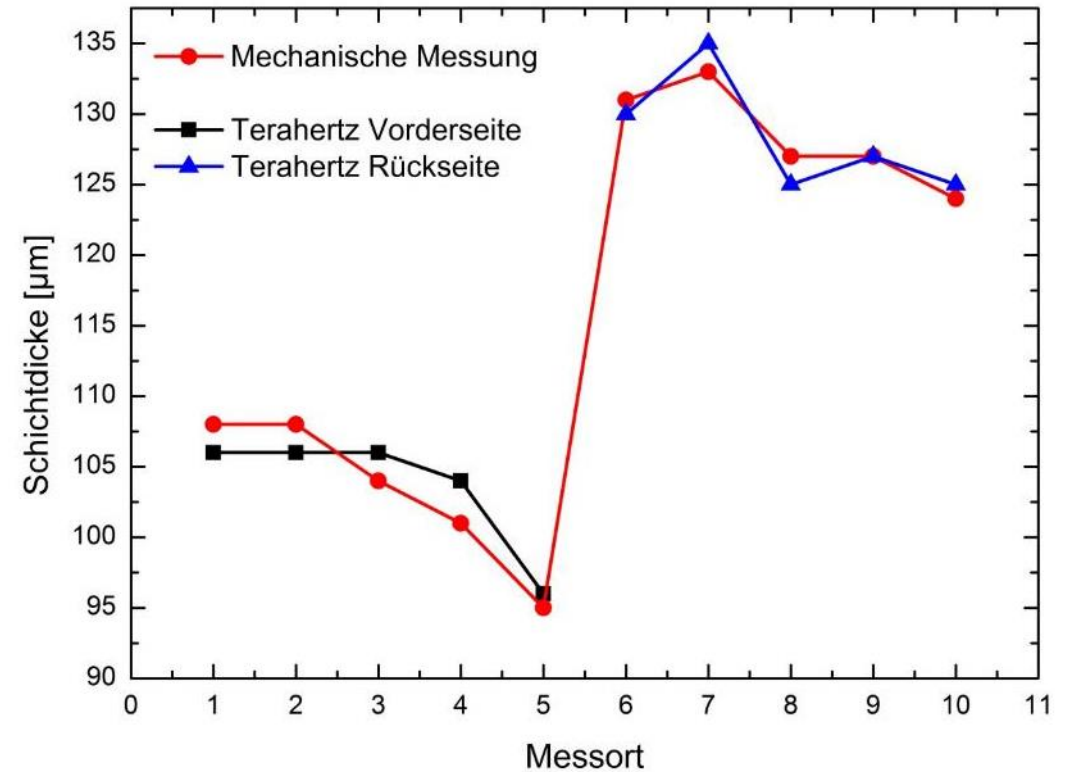
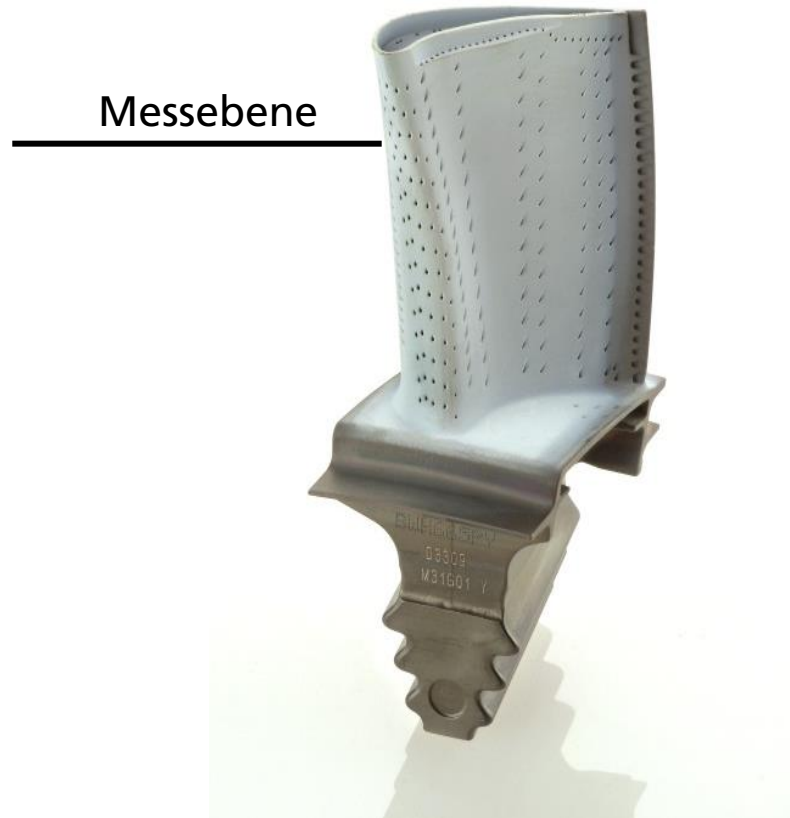
Turbinenschaufel



© MTU Aero Engines AG

Schichtdickenmessung

Keramiksicht auf Metall



Zusammenfassung

- Robotergestützte, berührungslose Mehrschichtanalyse möglich
- Schichtanzahl nahezu beliebig
- Mögliche Beschichtungsmaterialien:
 - Lacke
 - Kunststoffe
 - Keramiken
- Gesundheitlich unbedenklich
- Präzision: $\pm 1 \mu\text{m}$
- Messgeschwindigkeit:
40 Wellenformen pro Sekunde
- Auswertezeit: < 1 Sekunde
- Messbereich: 10 – 5000 μm
- Arbeitsabstand: 50 – 200 mm
- Messfleckgröße: $\varnothing 1 - 2 \text{ mm}$

Dr. Joachim Jonuscheit
Fraunhofer IPM
Fraunhofer-Platz 1
67663 Kaiserslautern

Tel. + 49 631 2057 4011
Email: joachim.jonuscheit@ipm.fraunhofer.de



