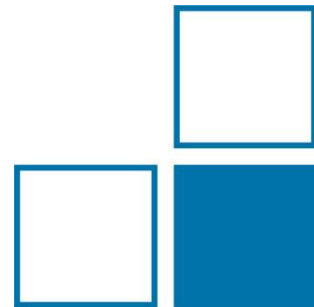


HF-Leistungsmesstechnik

314. PTB-Seminar

15. Mai 2019

Karsten Kuhlmann, AG 2.22



- Übersicht HF-Basisgrößen und Rückführung
- Messprinzip
 - Mikrokalorimeter
 - Außenvergleich
- Neues
 - Dielektrischer Wellenleiter
 - Messvergleich in einem quasioptischen Aufbau bis 110 GHz
- Zusammenfassung und Ausblick

- Übersicht HF-Basisgrößen und Rückführung
- Messprinzip
 - Mikrokalorimeter
 - Außenvergleich
- Neues
 - Dielektrischer Wellenleiter
 - Messvergleich in einem quasioptischen Aufbau bis 110 GHz
- Zusammenfassung und Ausblick

Rückführungskette

Abgeleitete HF-Größen

- Streuparameter
- Kal. von Leistungssensoren
- Antennengewinn
- Feldstärke
- Leistungsdichte
- Spezifische Absorptionsrate
- Kanalcharakterisierung bis in den THz-Bereich
- Planare Messungen
- Diel. Materialeigenschaften

HF-Grundgrößen


- HF-Leistung
- HF-Impedanz
- HF-Dämpfung
- HF-Spannung

SI-Rückführung

- DC-Größen
- Länge
- Frequenz

- Übersicht HF-Basisgrößen und Rückführung
- Messprinzip
 - Mikrokalorimeter
 - Außenvergleich
- Neues
 - Dielektrischer Wellenleiter
 - Messvergleich in einem quasioptischen Aufbau bis 110 GHz
- Zusammenfassung und Ausblick

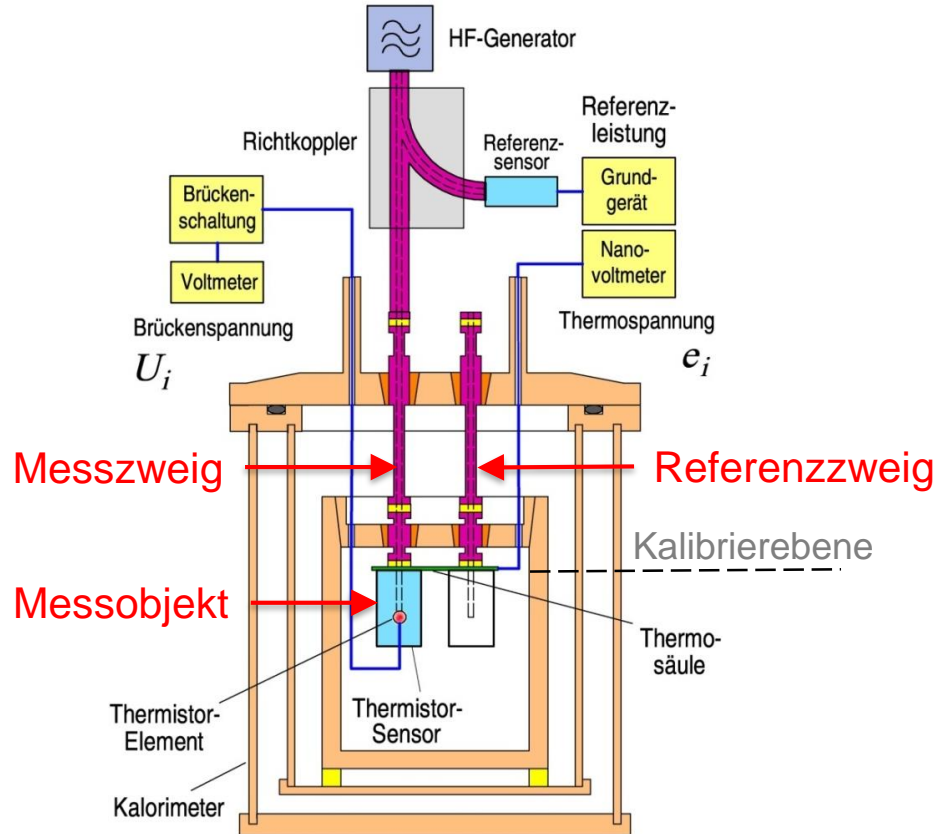
HF-Leistungssensor + Grundgerät



| | Diode | thermoelektrisch | Thermistor |
|-----------------|------------|------------------|------------|
| Empfindlichkeit | Hoch | Mittel | Gering |
| Geschwindigkeit | Hoch | Mittel | Langsam |
| Linearität | Gering | Hoch | Hoch |
| Dynamikbereich | Hoch | Mittel | Gering |
| Rückführbarkeit | Ungeeignet | Mittel | Gut |

Bedeutung für Industrie

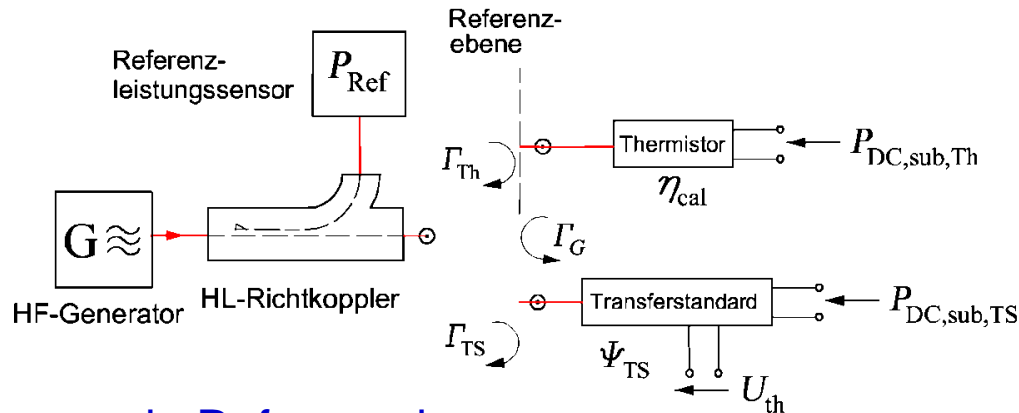
Mikrokalorimeter der PTB



- Symmetrischer Aufbau
- Hohlleiter oder koaxial
- hohe thermische Stabilität
- große thermische Zeitkonstante
- Messleistung: 1 – 10 mW

Außenvergleich

Messaufbau:



- eingestrahlte Leistungen in Referenzebene:

Thermistor:
$$P_{\text{inc,Th}} = \frac{P_{\text{DC,sub,Th}}}{\eta_{\text{cal}}} = \frac{P_{Z_0}}{|1 - \Gamma_G \Gamma_{\text{Th}}|^2}$$

Transferstandard:
$$P_{\text{inc,TS}} = \frac{P_{\text{HF,abs}}}{1 - |\Gamma_{\text{TS}}|^2} = \frac{P_{\text{DC,sub,TS}}}{\psi_{\text{TS}} (1 - |\Gamma_{\text{TS}}|^2)} = \frac{P_{Z_0}}{|1 - \Gamma_G \Gamma_{\text{TS}}|^2}$$

- an ideal angepasste Last abgegebene Leistung bezogen auf Referenzleistung:

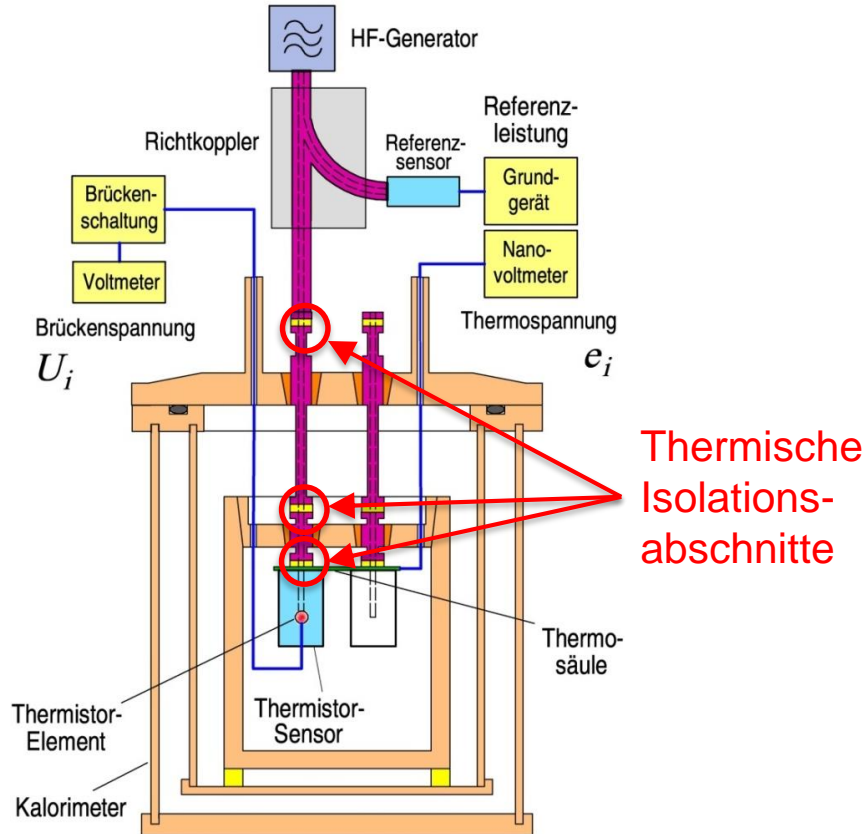
$$\frac{P_{Z_0}}{P_{\text{ref}}} = \frac{P_{\text{DC,sub,Th}}}{P_{\text{ref,Th}}} \cdot \frac{|1 - \Gamma_G \Gamma_{\text{Th}}|^2}{\eta_{\text{cal}}} = \frac{P_{\text{DC,sub,TS}}}{P_{\text{ref,TS}}} \cdot \frac{|1 - \Gamma_G \Gamma_{\text{TS}}|^2}{\psi_{\text{TS}} (1 - |\Gamma_{\text{TS}}|^2)}$$

Frequenzbereiche HF-Leistung

| | Koaxial im Außenvergleich | | Hohlleiter im Mikrokalorimeter | | | Koaxial im Mikrokalorimeter | |
|----------|---|--|---|---|---|--|---|
| Bis 2017 | N 50 Ohm 3,50 mm 2,92 mm 2,40 mm | bis 18 GHz bis 33 GHz bis 40 GHz bis 50 GHz | R-100 R-140 R-220 R-320 R-400 R-620 R-900 | 8,2 GHz 12,4 GHz 18 GHz 26,5 GHz 33 GHz 50 GHz 75 GHz | - 12,4 GHz - 18 GHz - 26,5 GHz - 40 GHz - 50 GHz - 75 GHz - 110 GHz | GR900 75 Ohm N 50 Ohm 3,50 mm 2,92 mm | bis 2 GHz bis 18 GHz bis 26,5 GHz bis 40 GHz |
| 2018 | 1,85 mm | bis 67 GHz | R-900 Diel. | 75 GHz | - 110 GHz | | |
| 2019+ | 1,35 mm 1,00 mm | bis 92 GHz bis 110 GHz | R-740 R-1400 | 60 GHz 110 GHz | - 90 GHz - 170 GHz | | |

- Übersicht HF-Basisgrößen und Rückführung
- Messprinzip
 - Mikrokalorimeter
 - Außenvergleich
- Neues
 - Dielektrischer Wellenleiter
 - Messvergleich in einem quasioptischen Aufbau bis 110 GHz
- Zusammenfassung und Ausblick

Mikrokalorimeter der PTB



Nachteile klassischer Aufbau:

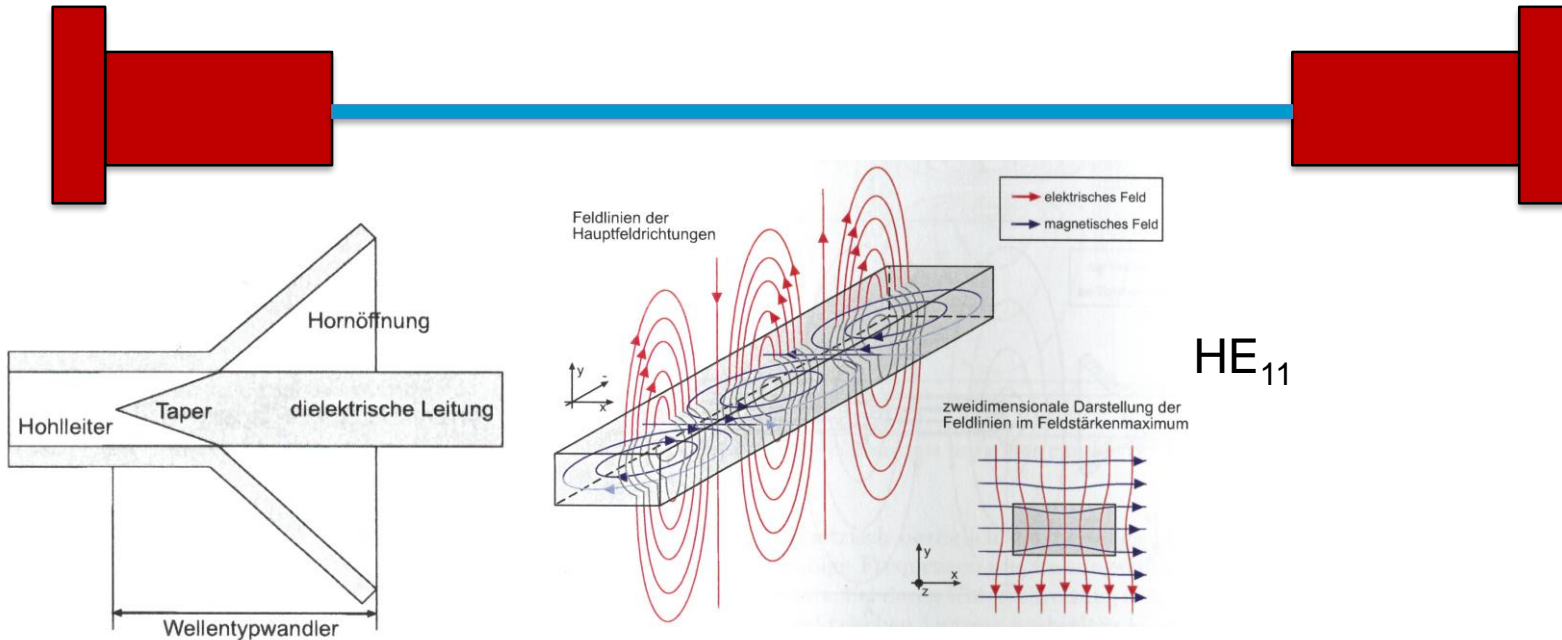
- Thermische Isolationsabschnitte
- Zuleitungsverluste

Lösungsansatz:

- Dielektrischer Wellenleiter

Dielektrischer Wellenleiter

- Rechteckfaser
- Übergängen zum Rechteckhohlleiter



Dielektrischer Wellenleiter

Herausforderung:

Übergang muss thermisch isolieren!

->Metallisiertes ABS

Mehrere Entwürfe:

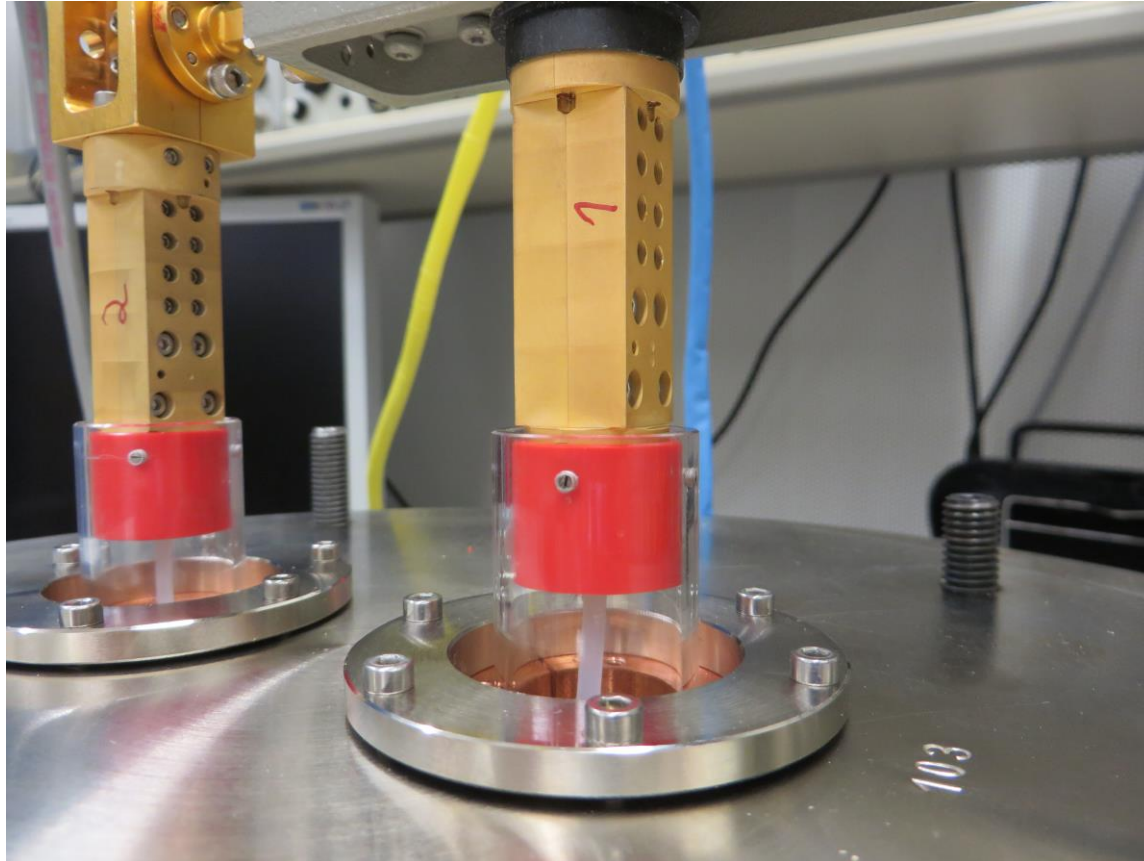
1. Gestufter Übergang (Uni. Erlangen)
2. Trompetenförmiger Übergang (Spinner)
3. Trompetenförmiger Übergang (Spinner), optimiert



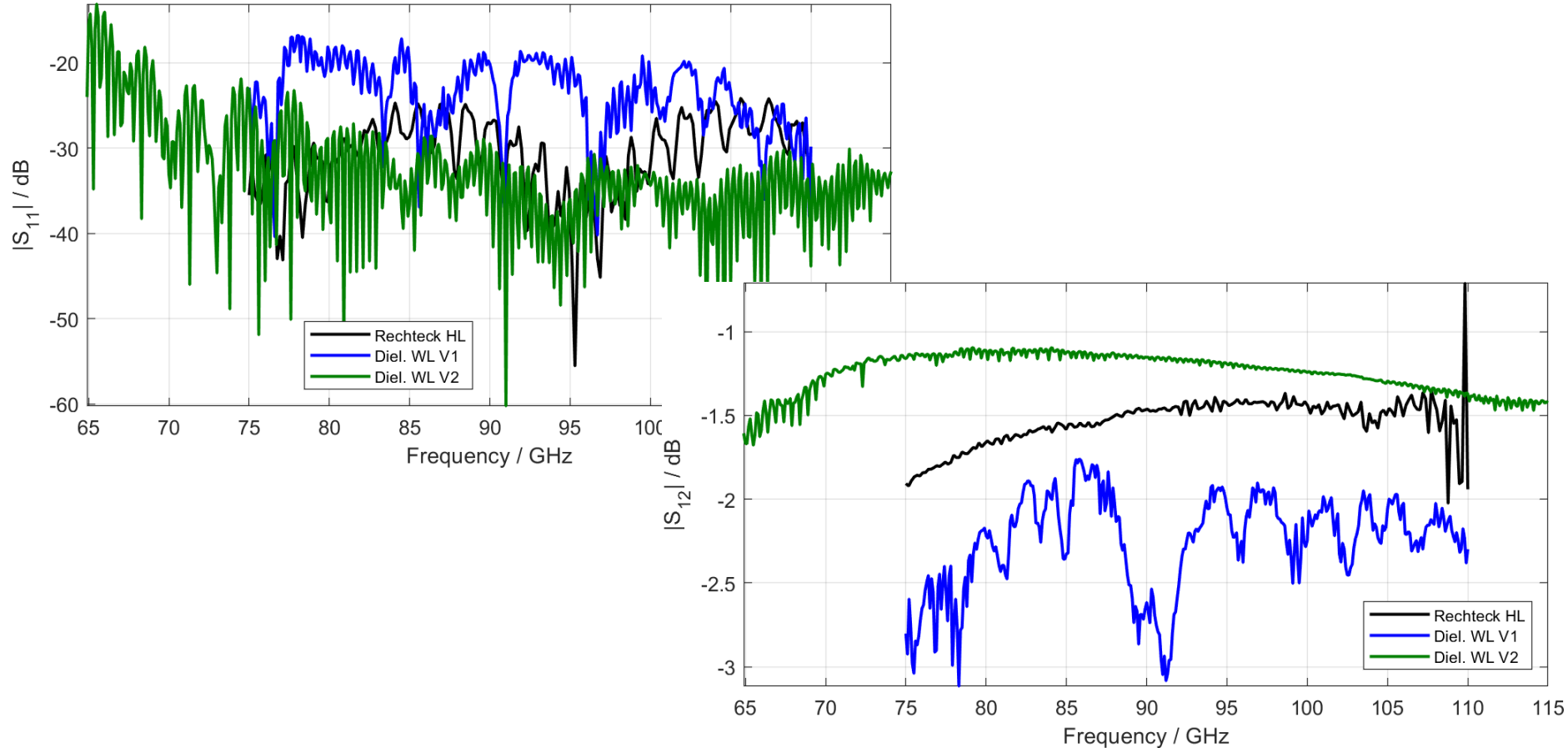
Leitung 1



Aufbau



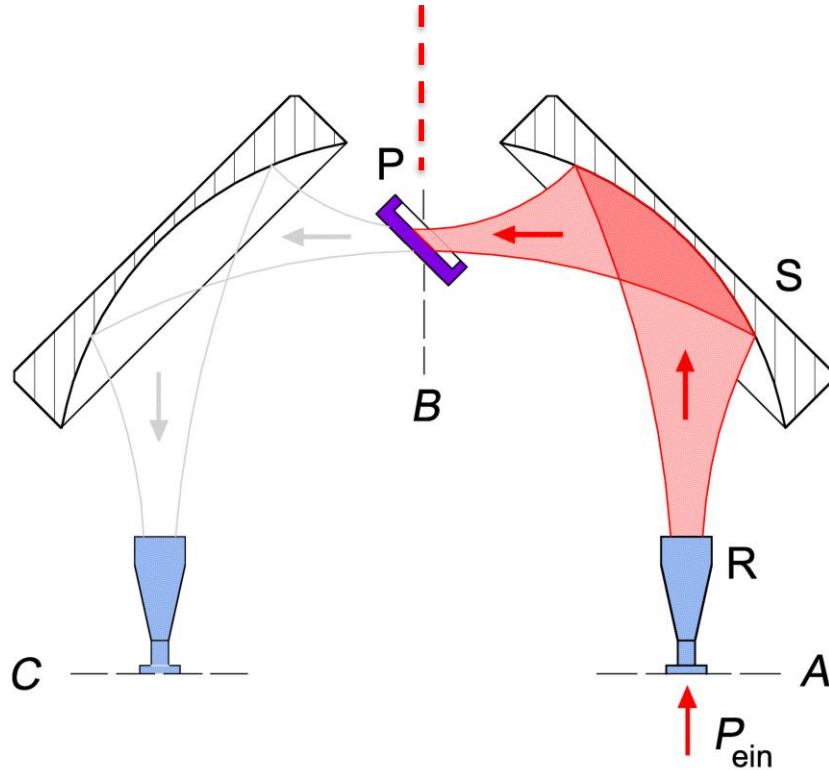
Streuparameter der diel. Leitungen



- Übersicht HF-Basisgrößen und Rückführung
- Messprinzip
 - Mikrokalorimeter
 - Außenvergleich
- Neues
 - Dielektrischer Wellenleiter
 - Messvergleich in einem quasioptischen Aufbau bis 110 GHz
- Zusammenfassung und Ausblick

Quasioptischer Aufbau

Referenzebene AG 7.34

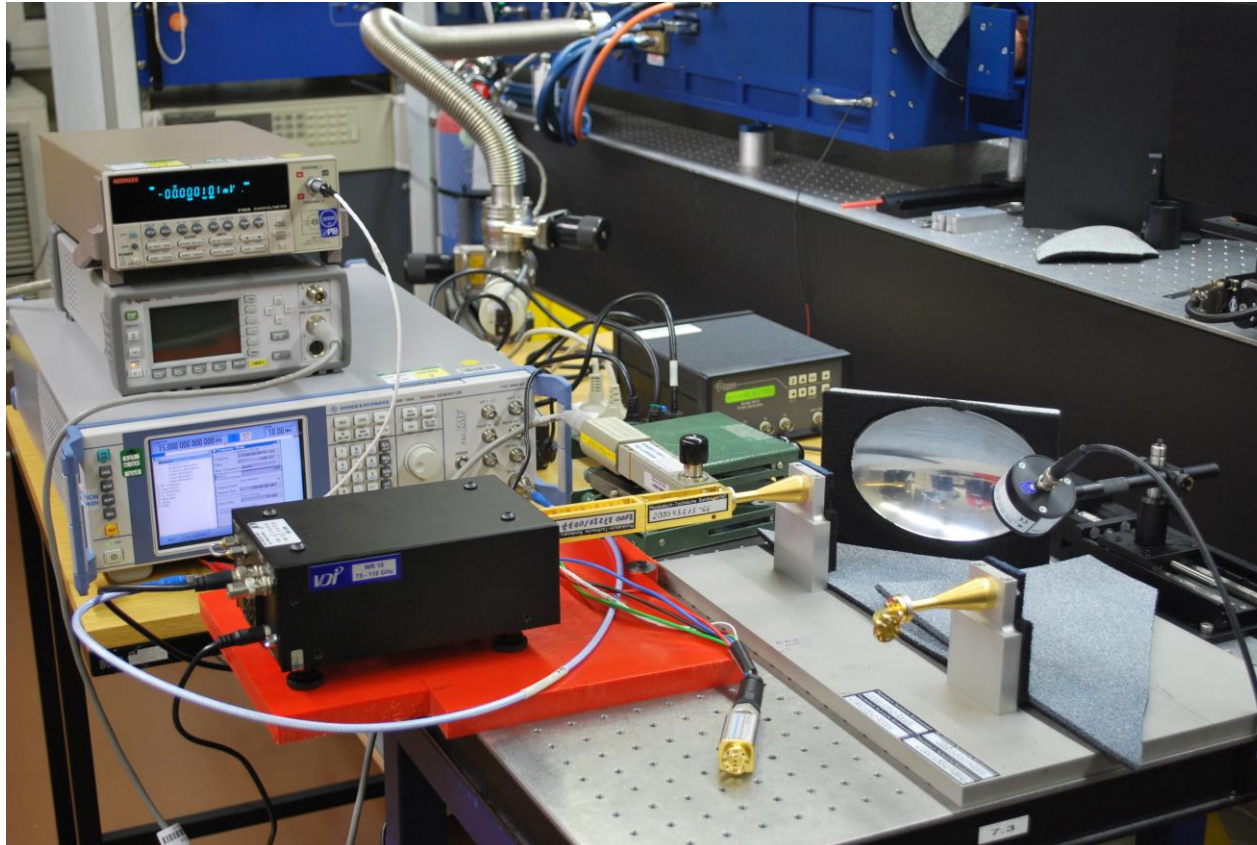


Referenzebene AG 2.22

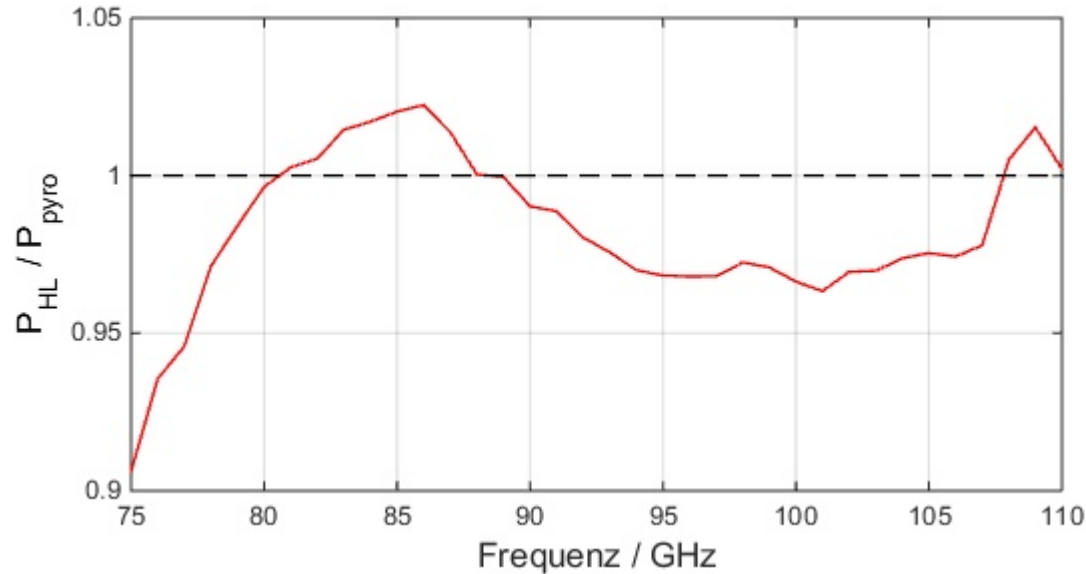
Quasioptischer Aufbau

Messvergleich in
Berlin:

- Hohlleitersensor
- Pyroelektrischer
Sensor



Quasioptischer Aufbau



Messvergleich in Berlin:
Hohlleitersensor und pyroelektrischer Sensor

Zusammenfassung

- Übersicht HF-Basisgrößen und Rückführung
- Abgedeckte Frequenzbereiche
- Messprinzip
 - Mikrokalorimeter
 - Außenvergleich
- Neues
 - Dielektrischer Wellenleiter bis 110 GHz
 - Messvergleich in einem quasioptischen Aufbau bis 110 GHz

- Außenvergleich bis 92 GHz und 110 GHz
- Dielektrischer Wellenleiter bis 170 GHz
- EMPIR JRP TEMMT
 - Mikrokalorimeter 110 GHz bis 170 GHz
 - Transfersensoren 110 GHz bis 170 GHz
 - Pyro-elektrische Sensoren bis 750 GHz

TEMMT-Traceability for electrical measurements at millimetre-wave and terahertz frequencies for communications and electronics technologies

Dank



Rolf Judaschke

Jürgen Rühaak

Florian Rausche

Fragen?



**Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Braunschweig und Berlin**

Bundesallee 100

38116 Braunschweig

Karsten Kuhlmann

Telefon: 0531 592-2220

E-Mail: karsten.kuhlmann@ptb.de

www.ptb.de



Stand: 02/2019