

Berichte aus der Elektrotechnik

**Michael Glinka**

**Thermoakustische Ultraschall-Leistungsmesser:  
Modellierung und Experiment**

Shaker Verlag  
Aachen 2002

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

*Glinka, Michael:*

Thermoakustische Ultraschall-Leistungsmesser: Modellierung und Experiment/  
Michael Glinka.

Aachen : Shaker, 2002

(Berichte aus der Elektrotechnik)

Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2002

ISBN 3-8322-0830-5

Copyright Shaker Verlag 2002

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen  
oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungs-  
anlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-0830-5

ISSN 0945-0718

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • eMail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

Diese Arbeit führt theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Realisierung *thermoakustischer Sensoren* durch. Nach einer Problemtransformation Thermodynamik-Elektrodynamik werden in 152 Abbildungen und 14 Tabellen neue *thermodynamische Ersatzschaltbilder* aufgestellt und anhand gemessener Temperaturverläufe experimentell verifiziert.

Für die *physikalische Behandlung* der Ausgleichsvorgänge im Sensor werden daher sowohl *Knotentemperaturen* als auch *Maschenwärmeströme* notwendig eingeführt, um so die experimentell beobachteten Mechanismen des Wärmetransports (Leitung; Strahlung; Konvektion) zu berücksichtigen. Die gefundenen Potentiallösungen der aufgestellten partiellen Differentialgleichungen zeigen wegen der Berücksichtigung der *realen* Randbedingungen andere Ergebnisse als die bisherigen *idealen*, *ausschließlich auf Wärmeleitung beruhenden* und als fehlerfrei angenommenen Modelle, die durch gewöhnliche Differentialgleichungen mit thermischen Randbedingungen beschrieben werden können.

In durchgeführten Temperaturmessungen wird anhand von der Variation von Vergleichsquellen bestätigt, daß die absolute, thermoakustische Leistungsmessung mit den bisherigen Sensortopologien (Einschicht-, Zweischichtsystem) ohne die Anwendung von Hilfsenergie nicht fehlerfrei zu steigenden Empfindlichkeiten realisierbar ist.

Nachdem an diesen *idealen Wärmestrommessern* in einer Vorveröffentlichung gezeigt wurde, daß die bisherigen Modelle nicht die meßtechnische Realität widerspiegeln, modelliert die Arbeit alle bisherigen Sensortopologien hingegen als *Wärmestromteiler*. Für den Fall der *absoluten* Ultraschalleistungsmessung wird so der Zusammenhang zwischen *Sensorempfindlichkeit* und *Genauigkeit* beim *Wärmeübergang* erfaßt. Hierzu werden Bildungsgesetze (u.a. der inversen thermischen Admittanzmatrizen) gefunden und damit neue, eindeutige Potentiallösungen hergeleitet, wobei analytische Lösungen im Zeitbereich zusätzlich über die Laplace-Transformation erfolgen.

So stellen die in dieser Arbeit hergeleiteten *thermodynamischen Ersatzschaltbilder* mit Einführung des Wärmestrom- und Temperaturteilers die allgemeine und universelle Theorie zur Erklärung aller Messungen dar, die anhand des Übergangs vom Dreischicht- zum Mehrschichtsystem mit Temperaturmessung über den wärmestromquellenfreien Schichten bereits vorveröffentlicht ist.

Um *beobachtete Mechanismen des Wärmetransports* in die Netzwerke (zur Erklärung aller gemessenen Temperaturverläufe als Lösung der beschreibenden Differentialgleichung) einzubetten, sind für verschiedene Anordnungen *analytische Funktionen* der eingeführten Zustandsgröße *spezifische Strahlungsleitfähigkeit* in Watt / (m·K) angegeben. Damit sind die Meßergebnisse der Linearitätsuntersuchungen bis hin zu Temperaturdifferenzen von einigen K linear modellierbar.

Analog zu den generierten thermischen Systemen wird das Auftreten von *Mehrfachreflexionen* durch die Analyse *akustischer Ersatzschaltbilder* als Lösung der Wellengleichung für *beliebige Erregungen* diskutiert. Mit der Synthese *akustischer Netzwerke* wird die Leistungsübertragung durch beliebige Schichtfolgen als *Lösung der Wellengleichung an planparallel begrenzten Schallausbreitungsmedien* experimentell verifiziert. An geeigneten Materialfolgen wird eine nahezu 100 %-ige Absorberanpassung durch den *akustischen Lambda / 4 - Transformator* behandelt.