

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEURE

Thermogeneratorcharakterisierung  
Grundlagen und Begriffe

VDI 2018  
Blatt 1  
Entwurf

Thermogenerator characterisation – Fundamentals, terms, and definitions

*Einsprüche bis 2022-12-31*

- vorzugsweise über das VDI-Richtlinien-Einspruchportal <http://www.vdi.de/2018-1>
- in Papierform an  
VDI-Gesellschaft Materials Engineering  
Fachbereich Werkstofftechnik  
Postfach 10 11 39  
40002 Düsseldorf

Inhalt	Seite
Vorbemerkung .....	2
Einleitung .....	2
<b>1 Anwendungsbereich</b> .....	3
<b>2 Begriffe</b> .....	3
2.1 Komponenten des Aufbaus von planaren TEM .....	3
2.2 Komponenten des Messaufbaus zur TEM-Charakterisierung sowie Verfahrenstermini .....	5
2.3 Messgrößen, Kennwerte des Messaufbaus und seiner Komponenten sowie zum Ablauf der Charakterisierung planarer TEM .....	7
<b>3 Formelzeichen</b> .....	7
<b>4 Thermoelektrische Module</b> .....	11
4.1 Thermoelektrische Effekte .....	11
4.2 Aufbau und Funktion eines planaren thermoelektrischen Moduls ..	12
Schrifttum .....	15

VDI-Gesellschaft Materials Engineering (GME)  
Fachbereich Werkstofftechnik

VDI-Handbuch Werkstofftechnik

## Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen ([www.vdi.de/richtlinien](http://www.vdi.de/richtlinien)), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Eine Liste der aktuell verfügbaren und in Bearbeitung befindlichen Blätter dieser Richtlinienreihe sowie gegebenenfalls zusätzliche Informationen sind im Internet abrufbar unter [www.vdi.de/2018](http://www.vdi.de/2018).

## Einleitung

Diese Richtlinie beschreibt stationäre Messverfahren zur Charakterisierung thermoelektrischer Module (TEM), die zur Umwandlung von Wärme in elektrische Energie eingesetzt werden. Die Richtlinienreihe VDI 2018 ist in einzelne Blätter unterteilt. Blatt 1 definiert die Richtlinienstruktur, den Anwendungsbereich sowie den metrologischen Grundansatz der Richtlinienreihe. Weiterhin definiert Blatt 1 die behandelten Bauformen von TEM sowie die Terminologie der Richtlinie im Kontext des Aufbaus und der Charakterisierung von TEM. In VDI 2018 Blatt 2 werden Messverfahren zur Ermittlung von Betriebseigenschaften planarer TEM beschrieben. Dies umfasst Techniken zur Einstellung und Erfassung von mechanischen, thermischen und elektrischen Messbedingungen sowie Verfahren zur Ermittlung folgender TEM-Messgrößen und Vorgaben zur Bestimmung ihrer Messunsicherheit:

- Wärmestrom
- elektrische Ausgangsleistung
- Wirkungsgrad
- thermischer Widerstand
- elektrischer Widerstand
- effektiver Seebeck-Koeffizient

Von besonderer Bedeutung für die Genauigkeit der TEM-Charakterisierung ist die möglichst genaue Bestimmung des Wärmestroms. Zur Messung von Wärmeströmen an TEM werden in VDI 2018 Blatt 2 zwei verschiedene Verfahren beschrieben. Das longitudinale Vergleichsverfahren und die Schirmheizer-Absolutmethode erfassen den Wärmestrom unter stationären Bedingungen und basie-

ren auf einem kontrollierten Wärmestrom zwischen Wärmequelle und TEM bzw. zwischen TEM und Wärmesenke, wobei eine homogene laterale Wärmeflussverteilung beim Eintritt in das TEM und beim Austritt aus dem TEM sowie beim Vergleichsverfahren innerhalb der Messstrecke(n) des Referenzblocks/der Referenzblöcke notwendig ist.

Die Verfahren gemäß VDI 2018 Blatt 2 beschreiben eine anwendungsnahe Charakterisierung von TEM unter Berücksichtigung ihrer Installationsbedingungen. Diese können die Nutzung von Medien zur thermischen Ankopplung der TEM an die Wärmetauscher des Messsystems wie Folien oder Wärmeleitpasten umfassen. Der so ermittelte thermische Widerstand des TEM beinhaltet immer auch den Beitrag der gewählten Installations- und Ankopplungsart, sofern dieser nicht – basierend auf ergänzenden Messungen und Abschätzungen – subtrahiert wird. Gleichmaßen beinhaltet auch die gemessene Temperaturdifferenz am TEM als Differenz der Grenzflächentemperaturen der beidseitigen Berührungsflächen der Wärmetauscher zum TEM stets auftretende Temperaturabfälle an den Kopplungsmedien und -grenzschichten. Zur Reduktion der hiermit verbundenen Messunsicherheit bei der Charakterisierung von TEM behandelt die Verfahrensbeschreibung der Vergleichsmethode im Rahmen dieser Richtlinie auch die Ermittlung von Wärmeübergangskoeffizienten thermischer Ankopplungen für TEM. Es existieren weitere Möglichkeiten, beispielsweise über transiente und quasistationäre Verfahren thermische Übergänge an TEM zu charakterisieren, die innerhalb dieser Richtlinienreihe nicht behandelt werden, jedoch gegebenenfalls Gegenstand einer späteren Revision sein werden.

Die Betriebseigenschaften eines Thermogenerators (TEG) hängen neben den Funktionseigenschaften der TEM selbst ab von

- den thermischen Randbedingungen an den TEM,
- ihren elektrischen Anschlussbedingungen im TEG sowie
- der äußeren elektrischen Last.

Die effektiven Randbedingungen an den TEM werden bestimmt durch

- die Art der Installation und Positionierung relativ zu Wärmequellen und Wärmesenken,
- deren Temperaturen sowie
- von den Kennwerten des Wärmetransportsystems und thermischen Verlusten innerhalb des TEG.

In dieser Richtlinienreihe kann die Vielzahl potenzieller Anwendungen mit unterschiedlichen Arten

des Wärmetransports (Leitung, Konvektion, Strahlung) und entsprechender Umsetzung für die TEM-Installation nicht für jedes mögliche TEG-System ausgeführt werden.

In dieser Richtlinienreihe werden angegebene Werte standardmäßig in SI-Einheiten ausgedrückt. Die Richtlinienreihe verwendet keine anderen Einheiten.

Die Richtlinienreihe beabsichtigt nicht die Behandlung von Sicherheitsbelangen. Es liegt in der Verantwortung der Nutzer, angemessene Sicherheitsvorkehrungen zu treffen sowie die Anwendbarkeit von Verfahrensweisen und Vorgaben für einen sicheren Betrieb von Aufbauten und Anlagen vor Inbetriebnahme zu bestimmen.

## **1 Anwendungsbereich**

Diese Richtlinie erläutert und beschreibt stationäre Messverfahren zur Charakterisierung thermoelektrischer Module (TEM), die zur Umwandlung von Wärme in elektrische Energie eingesetzt werden. Eine tiefergehende Definition findet sich in Abschnitt 4.