

Thermogenerator characterisation –
Characterisation of planar TEM

Einsprüche bis 2022-12-31

- vorzugsweise über das VDI-Richtlinien-Einspruchportal <http://www.vdi.de/2018-2>
- in Papierform an
VDI-Gesellschaft Materials Engineering
Fachbereich Werkstofftechnik
Postfach 10 11 39
40002 Düsseldorf

Inhalt	Seite
Vorbemerkung	2
Einleitung	2
1 Anwendungsbereich	2
2 Normative Verweise	3
3 Zusammenfassung der Testmethode und Berechnungen	3
3.1 Hauptkomponenten der Thermogenerator-Messapparatur (TEGMA)	3
3.2 Messgrößenermittlung	4
3.3 Messung des Wärmestroms im Vergleichsverfahren	4
3.4 Messungen des Wärmestroms nach dem Absolutverfahren	5
3.5 Berechnung des Leitwerts (Modul)	7
3.6 Der effektive Seebeck-Koeffizient	7
3.7 Berechnung der Ausgangsleistung	7
3.8 Bestimmung des elektrischen Innenwiderstands	7
3.9 Variation der thermischen Ankopplung	9
4 Verwendung der TEGMA-Methode	9
4.1 Bestimmung von Wärmeströmen und thermischen Messgrößen	9
4.2 Funktionsgerechtes Design	9
4.3 Allgemeines zur Messunsicherheit	9
4.4 Qualifizierung einer Messapparatur	9
4.5 Wahl der Vergleichsproben für Testmessungen	10
4.6 Beurteilung der Messgenauigkeit	10
5 TEGMA-Apparatur	10
5.1 Heizer für das Wärmestrom-Vergleichsverfahren	10
5.2 Wärmestrommesser	11
5.3 Absolutheizer	14
5.4 Elektrisches Mess- und Regelsystem	17
5.5 Kaltseitaufbau	18
5.6 Äußere Dämmung	18

Inhalt	Seite
5.7 Temperatursensoren	19
5.8 Kopplungsmedium	19
5.9 Drucksystem	20
5.10 Kontrollierte Umgebung	20
5.11 Qualifikation und Leistungsüberprüfung	20
6 Probenspektrum und -vorbereitung	22
6.1 Geometrie	22
6.2 Untersuchungen vor und nach einer Messung	22
6.3 Elektrische Isolation	22
6.4 Elektrischer Anschluss	22
7 Messprozedur	22
7.1 Vorbereitungen	22
7.2 Aufbau der Messstrecke	23
7.3 Abfolge der Messung	23
7.4 Datenerfassung: Signalabtastung, Messwiederholungen und -dauer	25
8 Bericht	26
8.1 Allgemeine Angaben	26
8.2 Probeninformationen	26
8.3 Messbedingungen	26
8.4 Messstrecke	27
8.5 Eigenschaften Wärmestrommesser	27
8.6 Ergebnisse (für jede Temperaturstufe)	27
9 Genauigkeit	28
9.1 Unsicherheit des Vergleichsverfahrens	28
9.2 Unsicherheit des Absolutverfahrens	29
9.3 Unsicherheit des thermischen Leitwerts	31
9.4 Unsicherheit der Leistungsmessung	31
9.5 Unsicherheit des Wirkungsgrads	32
9.6 Unsicherheit der Leerlaufspannung	32
9.7 Unsicherheit des Seebeck-Koeffizienten	32
9.8 Unsicherheit des Innenwiderstands	32
Schrifttum	33

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), 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.

Einleitung

Diese Richtlinie beschreibt stationäre Messverfahren zur Charakterisierung planarer thermoelektrischer Module (TEM), deren Kopplungsflächen, ausgebildet als feste planparallele Oberflächen, über eine geeignete Kopplung in Kontakt mit eben solchen Kopplungsflächen von Wärmestrommessern oder von Wärmetauschern der Messanordnung stehen.

Die Richtlinie beschreibt zwei unterschiedliche Verfahren zur Wärmestromermittlung an TEM. Das Verfahren nach dem Plattengerät [1] ist eine primäre (oder absolute) Methode, die vergleichbar, jedoch nicht identisch ist zu ISO 8302, ASTM C 177 oder DIN EN 12664. Das Vergleichsverfahren ist eine referenzierende Methode, die vergleichbar, jedoch nicht identisch ist zu ASTM E1225 oder ASTM C 518. Die Richtlinie definiert ferner weitere Verfahren zur Messung mechanischer, elektrischer und thermoelektrischer TEM-Eigenschaften. Neben dem in dieser Richtlinie beschriebenen Plattengerät, das eine Schirmheizer-Absolutmethode mit aktiv geschirmtem Heizer darstellt, existieren noch weitere Absolutmethoden für die Wärmestrombestimmung an TEM (beispielsweise eine Durchflussmethode [2; 3]), die jedoch nicht Gegenstand dieser Richtlinie sind.

Die Richtlinie beschreibt generelle Auslegungsanforderungen und Vorgehensweisen zum Aufbau und Betrieb einer Apparatur zur Charakterisierung von TEM. Das Prinzip der Apparatur lässt eine Vielfalt an konstruktiven Ausführungsformen, Test- und Betriebsbedingungen zu. Detaillierte und bindende konstruktive Gestaltungsvorgaben werden in dieser Richtlinie nicht gegeben. Die Konformität zu

dieser Richtlinie wird durch Einhaltung der prinzipiellen technischen Anforderungen erreicht, die eine ausreichende Messgenauigkeit ermöglichen. Die Erfüllung der Konformität erfordert, dass alle innerhalb des Berichts verwendeten Variablen mit Angaben zu ihrer Unsicherheit versehen sind.

Obwohl keine definitive Obergrenze für den thermischen Widerstand des TEM im Sinne einer Messbarkeit der TEM in der Apparatur angegeben werden kann, wird ein Wert angestrebt, der mindestens dem 20-Fachen des Unsicherheitswerts des thermischen Kopplungswiderstands entspricht. Unterhalb des 20-fachen Werts können die ermittelten Messgrößen nicht mehr maßgeblich nur auf das TEM bezogen werden, da der Einbau- und Installationszustand die Ergebnisse signifikant beeinflussen.

Die Apparatur kann bei entsprechender Dimensionierung der Komponenten und geeigneter technischer Auslegung für eine Vielzahl unterschiedlicher Abmessungen und Ausführungsformen planarer TEM verwendet werden. Hierzu zählen gekapselte und ungekapselte TEM, gedeckte und ungedeckte TEM, Bulk- sowie Mikro-TEM. Messungen können unter unterschiedlichen Messbedingungen, wie unter Laboratmosphäre, Schutzgas oder Vakuum oder unter axialem mechanischem Anpressdruck, unter Anwendung von oder unter Verzicht auf Kopplungsmedien, durchgeführt werden.

Prinzipbedingt hängen Messgrößen wie Temperatur und Wärmestrom von der axialen Position innerhalb der Messstrecke ab. Die Grundannahme des Messprinzips beruht auf einem eindimensionalen (1-D) Wärmefluss. Der prinzipielle Aufbau von TEM schließt jedoch laterale Inhomogenitäten der thermoelektrischen Funktionseigenschaften nicht aus. Auch bei der thermischen Ankopplung des TEM können laterale Inhomogenitäten auftreten. Hierdurch können thermische Messgrößen wie der Wärmestrom und Temperaturen je nach Sensorplatzierung und Aufbau der Messstrecke einer lateralen Ortsabhängigkeit unterliegen und damit die Grundannahme der 1-D-Messgeometrie verletzen. Zur Unterdrückung solcher lateraler Schwankungen werden in dieser Richtlinie Maßnahmen bezüglich des Aufbaus, der Instrumentierung und Datenauswertung aufgeführt, deren Einhaltung bei Messreihen zu dokumentieren ist.

1 Anwendungsbereich

Um erfolgreiche Messungen durchführen zu können, sollten Nutzende dieser Richtlinie über praktische Messerfahrungen und einschlägige Kenntnisse zu thermischen, elektrischen und thermoelektrischen Messungen sowie zu theoretischen Aspekten der Wärmeübertragung verfügen. Detaillierte Be-

schreibungen der eingesetzten Methode und Apparatur, z. B. schematische Darstellungen und elektrische Schaltpläne, sollen verfügbar sein, um die Konformität zu dieser Richtlinie sicherzustellen. Eine automatisierte Datenerfassung und -verarbeitung durch das Messsystem muss bezüglich seiner Genauigkeit verifiziert werden. Dies kann durch eine Kalibrierung des Messsystems geschehen, für die die Resultate der Datenverarbeitung vorhersagbar oder bekannt sind.

Diese Richtlinie und die darin enthaltene Verfahrensbeschreibung beabsichtigt nicht, zukünftige Entwicklungen neuer oder verbesserter Messsysteme einzuschränken.

Diese Richtlinie spezifiziert nicht alle Details einer Apparatur, die für den Aufbau, die Instrumentierung und den Betrieb notwendig sind. Entscheidungen über Signalabtastung, TEM-Auswahl, TEM-Vorbehandlung, TEM-Installation und -Positionierung, die Wahl der Testbedingungen und Ausführung bestimmter Anlagenbestandteile sollten, wo möglich, bereits definierten Standards, Richtlinien, Praktiken, Produktspezifikationen oder behördlichen Vorgaben folgen. Im Falle, dass keine anwendbaren Standards existieren, sollte eine fundierte Technik akzeptierte Prinzipien etablierter thermoelektrischer Messverfahren reflektieren, anwenden und dokumentieren.