

# Temperaturmessung

## Teil 1: Übersicht über laserspektroskopische Verfahren

**DIN**  
**51866-1**

ICS 17.200.01

Temperature measurement — Part 1: Survey of laser spectroscopic methods

Mesurage de la température — Partie 1: Vue d'ensemble sur les méthodes de spectroscopie laser

### Vorwort

Die vorliegende Norm wurde vom Arbeitskreis „Temperaturmessung in heißen, reaktiven Gasen“ des Arbeitsausschusses NMP/FABERG 622 „Anforderungen an und Prüfung von Brenngasen“ ausgearbeitet.

DIN 51866 „Temperaturmessung“ besteht aus:

Teil 1: Übersicht über laserspektroskopische Verfahren

Teil 2: „Rayleigh- und Raman-Streuung“ ist in Vorbereitung.

Weitere Teile zu weiteren Verfahren, z. B. kohärente anti-Stokes-Raman-Streuung (CARS) und laser-induzierte Fluoreszenz (LIF), sind in Planung.

## 1 Anwendungsbereich

Diese Norm gibt in einer Übersicht eine Auswahl von laserspektroskopischen Verfahren zur berührungslosen, räumlich aufgelösten Messung der Temperatur in heißen, reaktiven Gasen, die sich im thermischen Gleichgewicht befinden.

Die in der Tabelle 2 aufgeführten Angaben können bei der Auswahl der für einen bestimmten Zweck geeigneten Verfahren helfen.

Der erprobte Einsatzbereich der hier beschriebenen Verfahren liegt im Bereich von 1 bar bis 40 bar (technische Verbrennungsvorgänge).

## 2 Normative Verweisungen

Diese Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation.

DIN 1319-1

Grundlagen der Meßtechnik — Teil 1: Grundbegriffe

DIN 1319-2

Grundbegriffe der Meßtechnik — Begriffe für die Anwendung von Meßgeräten

DIN 1319-3

Grundlagen der Meßtechnik — Teil 3: Auswertung von Messungen einer einzelnen Meßgröße, Meßunsicherheit

DIN 5030-1

Spektrale Strahlungsmessung — Begriffe, Größen, Kennzahlen

DIN 51008-2

Optische Emissionsspektralanalyse (OES) — Systeme mit Flammen und Plasmen

VDI/VDE 3511 Blatt 4

Technische Temperaturmessungen — Strahlungsthermometrie

DIN EN ISO 11145

Optik und optische Instrumente — Laser und Laseranlagen — Begriffe und Formelzeichen (ISO 11145 : 1994);  
Deutsche Fassung EN ISO 11145 : 1994

- [1] S. Prucker, W. Meier, W. Stricker, At flat flame burner as calibration source for combustion research: Temperature and species concentrations of premixed H<sub>2</sub>/air flames, Rev. Sci. Instrum. 65 (9), 2908–2911 (1994)

## 3 Definitionen, Abkürzungen und Kurzzeichen

### 3.1 Definitionen

Für die Anwendung dieser Norm gelten die Definitionen nach DIN EN ISO 11145 und die folgenden:

Fortsetzung Seite 2 bis 7

**Tabelle 1: Erläuterung der Kurzzeichen bzw. Abkürzungen**

Abkürzung bzw. Kurzzeichen	Benennung
0D	0-dimensional; punktaufgelöste Messung
1D	1-dimensional; Messung längs einer Linie
2D	2-dimensional; flächenhafte Meßwerterfassung
BOXCARS	gekreuzte Strahlüberlagerung bei CARS, um die räumliche Auflösung zu kontrollieren und zu verbessern
CARS	kohärente anti-Stokes-Raman-Streuung (en: coherent anti-Stokes Raman scattering); spektroskopisches Verfahren
CCD	elektronische Kamera mit einem flächigen, lichtempfindlichen Sensor (en: charge coupled device)
ICCD	elektronische Kamera mit integriertem Bildverstärker (en: intensified charge coupled device)
LIF	laserinduzierte Fluoreszenz (en: laser induced fluorescence); spektroskopisches Verfahren
Nd:YAG	Festkörperlaser mit Neodym-dotiertem Yttrium-Aluminium-Granat-Kristall
USED CARS	spezielle Geometrie zur Strahlüberlagerung bei CARS unter Verwendung eines Intensitätsringprofils des Laserstrahls, wie er in einem instabilen Laserresonator erzeugt wird
UV	ultravioletter Spektralbereich

### 3.1.1

#### **abstimmbarer Laser**

Lasengerät mit kontinuierlich oder schrittweise variabler Ausgangswellenlänge.

### 3.1.2

#### **Einzelpulstechnik**

Verfahren zur Temperaturmessung, bei welchen das Meßergebnis nach Aussenden von einem einzelnen Laserpuls bereitsteht.

### 3.1.3

#### **Fluoreszenzlöschung**

Quenching

Deaktivierung von nach Laserbestrahlung angeregten molekularen Teilchen ohne vorherige Lichtemission. Im allgemeinen sind Fluoreszenzlöschprozesse temperatur- und speziesabhängig und skalieren proportional mit dem Druck.

### 3.1.4

#### **Indikatormolekül**

Molekülart, mit welcher die Laserstrahlung in einem Gasgemisch spezifisch wechselwirkt und damit zur Signal-erzeugung führt.

### 3.1.5

#### **nicht-lineare Suszeptibilität**

Koeffizient, der die spezifischen, nicht-linearen optischen Eigenschaften eines Moleküls beschreibt.

### 3.1.6

#### **Raumwinkel**

Bruchteil des von der Empfangsoptik erfaßten Teiles einer Kugelschale mit dem Ort der Signalerzeugung als Mittel-

punkt. Gibt den Bruchteil des erfaßten Signals am gesamten erzeugten Signal an.

### 3.1.7

#### **Streuquerschnitt**

Stoffabhängige Proportionalitätskonstante zur Berechnung der Signalintensität aus der eingestrahlten Laserintensität.

### 3.1.8

#### **Vierwellenmischprozeß**

Nichtlineares optisches Verfahren, bei welchem durch die kohärente Wechselwirkung von drei Laserstrahlen in einem Medium ein vierter Laserstrahl erzeugt wird. Der erzeugte Laserstrahl trägt Informationen über das Wechselwirkungsmedium mit sich. Zwei bzw. drei der Anregungswellenlängen der Laserstrahlen können gleich sein (teilentartete bzw. entartete Vierwellenmischung).

### 3.1.9

#### **Zeitauflösung**

Das zeitliche Auflösungsvermögen der beschriebenen Meßtechniken wird bestimmt durch die Pulsdauer des verwendeten Lasengerätes.

### 3.1.10

#### **Zweilinienvorfahren**

Meßverfahren zur Temperaturbestimmung durch Verhältnissbildung zweier simultan gemessener Signale. Dabei werden im allgemeinen zwei Laser mit unterschiedlichen Wellenlängen eingesetzt.

## **3.2 Abkürzungen und Kurzzeichen**

Für die Anwendung dieser Norm gelten die Abkürzungen und Kurzzeichen nach Tabelle 1.

## 4 Zusammenstellung der Temperaturmeßverfahren

### 4.1 Allgemeines

Bei den hier behandelten Temperaturmeßverfahren handelt es sich um berührungslos arbeitende Laserverfahren. Sie sind für die meßtechnische Erfassung der Temperaturmittelwerte und Temperaturfluktuationen in heißen, reaktiven Gasen, wie z. B. Flammen, motorischen Brennräumen oder Gasturbinenbrennkammern, geeignet.

Die Verfahren beruhen auf der Wechselwirkung von Laserstrahlung (Lichtquanten) mit Molekülen. Ihr Anwendungsbereich ist gegeben, soweit die zur Temperaturmessung verwendeten Moleküle Stickstoff ( $N_2$ ) und Stickoxid (NO) sowie das Hydroxylradikal (OH) thermisch stabil sind.

### 4.2 Kurzbeschreibung der Temperaturmeßverfahren

#### 4.2.1 Spontane Raman-Streuung

Die spontane Raman-Streuung beruht auf der Streuung von Licht an Molekülen. Da keine resonante Molekülanregung erfolgt, ist die Raman-Streuung unabhängig von der eingestrahlten Lichtwellenlänge. Dies bedeutet, daß alle Moleküle im beleuchteten Volumen zum Signal beitragen. Die Raman-Signale werden als molekülspezifische Wellenlängenverschiebung des Streulichtes (sog. Raman-Shift) gegenüber der eingestrahlten Wellenlänge beobachtet. Die Gesamtintensität des Streulichtsignals steigt mit dem Druck im beleuchteten Volumen. Die Intensitätsverhältnisse einzelner Raman-Signale verschiedener Spezies zueinander sind druckunabhängig. Da sich die Signalintensität umgekehrt proportional zur vierten Potenz der eingestrahlten Wellenlänge verhält, sind frequenzver-

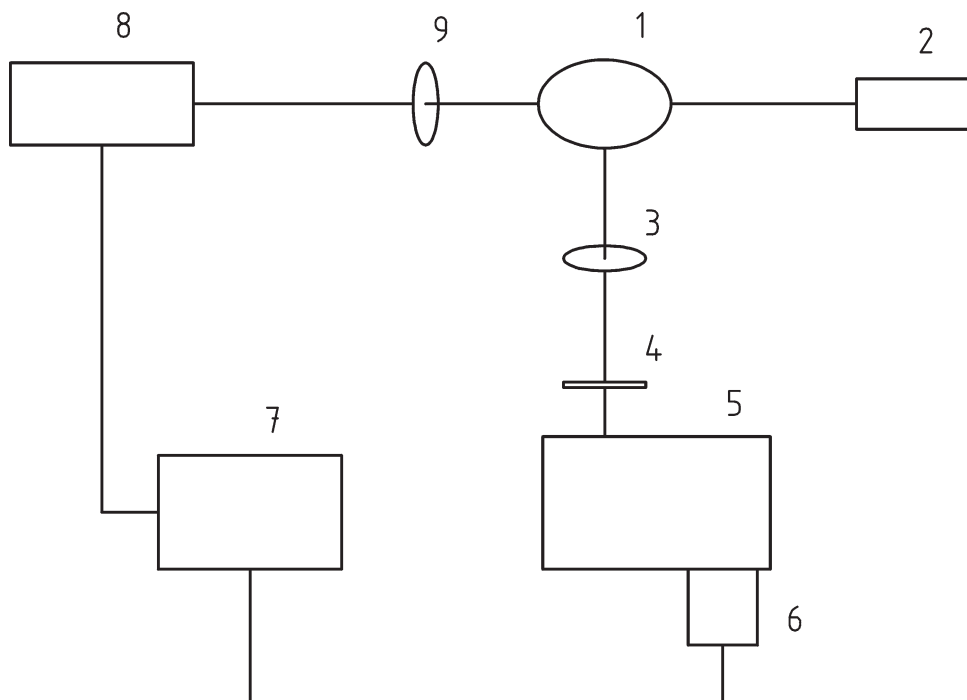
vielfache Nd:YAG- oder Excimerlaser mit Wellenlängen im ultravioletten Spektralbereich als Anregungslichtquellen bevorzugt einzusetzen. Um interferierende Fluoreszenzanregung, die die Temperaturbestimmung aus den Raman-Signalen verfälschen kann, zu vermeiden, kann gegebenenfalls ein in seiner Wellenlänge abstimmbarer Laser verwendet werden.

Zur Wellenlängentrennung der molekülspezifischen Raman-Verschiebungen ist ein Spektrometer notwendig. Das Meßvolumen — punktförmig oder entlang einer Linie — wird auf den Eintrittsspalt eines Spektrometers abgebildet. Bei Einsatz einer intensivierten CCD-Kamera hinter dem Spektrometer erhält man punktförmig oder eindimensional orts aufgelöste Spektren. Durch Auswertung der Intensitätsverteilung der Wellenlängenverschiebungen werden die entsprechenden Temperaturverteilungen erhalten.

Bild 1 zeigt die schematische Darstellung der Meßanordnung.

#### 4.2.2 Rayleigh-Streuung

Rayleigh-Streuung wird bei der Streuung von Licht an Molekülen beobachtet. Die Streuintensität wird bestimmt durch die Anzahl der vorhandenen Moleküle im Meßvolumen und ist daher proportional zur Dichte, woraus sich dann die Temperatur ableiten läßt. Die Streuung erfolgt unabhängig von molekularen und atomaren Resonanzen, d. h. alle im beleuchteten Volumen vorhandenen Moleküle tragen zur Rayleigh-Streuung bei. Aus diesem Grund ist für eine Temperaturmessung kein in seiner Wellenlänge abstimmbarer Laser notwendig. Allerdings haben unterschiedliche Moleküle unterschiedliche Wirkungsquerschnitte für die Rayleigh-Streuung, die bei Untersuchungen von Gasgemischen berücksichtigt werden müssen. Die Streuquerschnitte sind umgekehrt proportional zur



- |                   |                |
|-------------------|----------------|
| 1 Meßobjekt       | 5 Spektrometer |
| 2 Strahlfalle     | 6 ICCD-Kamera  |
| 3 Abbildungsoptik | 7 Computer     |
| 4 Filter          | 8 Laser        |

**Bild 1: Schematische Darstellung für die Temperaturbestimmung mit Raman-Streuung**