

VEREIN  
 DEUTSCHER  
 INGENIEURE

Messen von Partikeln  
 Staubbmessung in strömenden Gasen  
 Bestimmung der Staubbeladung durch kontinuierliches  
 Messen des Streulichtes mit dem Photometer KTN  
 Particulate Matter Measurement  
 Measurement of Particulate Matter in Flowing Gases  
 Determination of Dust Load by Continuous Measurement  
 of Scattered Light with the Photometer KTN

VDI 2066

Blatt 6 / Part 6

Ausg. deutsch/englisch  
 Issue German/English

*Der Entwurf der Richtlinie wurde mit Ankündigung im Bundesanzeiger einem öffentlichen Einspruchsverfahren unterworfen.  
 Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.*

*The draft of this Guideline has been subject to public scrutiny after announcement in the Bundesanzeiger (Federal Gazette).  
 No guarantee can be given with respect to the English translation. — The German version of this Guideline shall be taken as authoritative.*

Inhalt	Seite
Vorbemerkung	2
<b>1 Grundlage des Verfahrens</b>	3
<b>2 Aufbau und Funktionsweise der Meßeinrichtung</b>	4
2.1 Photometer	4
2.2 Probenahmereinrichtung	5
2.3 Zubehör	8
<b>3 Auswahl und Einrichten der Meßstelle</b>	8
3.1 Auswahl der Probenahmestelle und Festlegung des Aufstellungsortes	8
3.2 Einrichten des Meßplatzes	9
3.3 Montage der Meßeinrichtung	9
<b>4 Inbetriebnahme und Funktionsprüfung</b>	10
4.1 Überprüfen und Justieren des Meßbereiches	10
4.2 Inbetriebnahme des Photometers und Einregulieren der Gasgeschwindigkeit im Bypass	11
<b>5 Kalibrieren der Meßeinrichtung</b>	11
5.1 Allgemeines	11
5.2 Vergleichsmessungen	12
5.3 Statistische Auswertung der Kalibrierergebnisse	12
5.4 Berichterstattung über die Kalibrierung	13
<b>6 Erfassen und Auswerten der Meßwerte</b>	14
<b>7 Verfahrensbewertung</b>	14
<b>8 Fehlermöglichkeiten und Störeinflüsse</b>	15
<b>9 Wartungshinweise</b>	16
<b>10 Einsatzmöglichkeiten</b>	16
Schrifttum	17
<b>Anhang A1</b> Rechenvorschrift für lineare Regression	19
<b>Anhang A2</b> Beispiel für die Berichterstattung über die Kalibrierung	21
<b>Anhang A3</b> Protokollformblatt zur Inbetriebnahme und Funktionsprüfung	24

Contents	Page
Preliminary Remark	2
<b>1 Principle of the Method</b>	3
<b>2 Design and Operation of the Measuring Equipment</b>	4
2.1 Photometer	4
2.2 Sampling Train	5
2.3 Accessories	8
<b>3 Selection and Preparation of the Measuring Site</b>	8
3.1 Selection of Sampling Point and Assigning of Installation Site	9
3.2 Preparation of the Measuring Site	9
3.3 Assembly of the Measuring Equipment	9
<b>4 Start-up and Functional Testing</b>	10
4.1 Checking and Adjusting the Measuring Range	10
4.2 Start-up of the Photometer and Adjustment of Gas Velocity in the Bypass System	11
<b>5 Calibration of the Measuring Equipment</b>	11
5.1 General Points	11
5.2 Reference Measurements	12
5.3 Statistical Evaluation of the Calibration Results	12
5.4 Report on Calibration	13
<b>6 Collection and Analysis of the Data</b>	14
<b>7 Evaluation of the Procedure</b>	14
<b>8 Errors and Interferences</b>	15
<b>9 Maintenance Instructions</b>	16
<b>10 Applications</b>	16
References	17
<b>Appendix A1</b> Calculation Instructions for Linear Regression	19
<b>Appendix A2</b> Example of a Report on the Calibration	21
<b>Appendix A3</b> Report Form for Start-up and Functional Testing	25

VDI-Kommission Reinhaltung der Luft  
 Arbeitsgruppe Staubbmessung in strömenden Gasen  
 Ausschuß Emissionsmeßverfahren

VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 4

### Vorbemerkung

In der Richtlinie VDI 2066 werden Verfahren zum Bestimmen der Staubbelastung (Staubgehalt) und des Staubmassenstromes eines durch definierte Querschnitte, z.B. Schornsteine, Rohrleitungen oder Kanäle, strömenden Staub-Gas-Gemisches behandelt.

Zur kontinuierlichen Überwachung des Staubgehaltes werden registrierende Geräte eingesetzt [1]. In der Praxis haben sich optische Meßverfahren [2; 3] bewährt.

Das vorliegende Blatt 6 behandelt die Photometer KTN bzw. KTNR<sup>1)</sup>, mit denen über die Hilfsgröße Streulicht die Staubbelastung des Gases bestimmt werden kann. Dazu wird dem Hauptvolumenstrom ein repräsentativer Teilstrom entnommen. Die Meßwertanzeige erfolgt praktisch verzögerungsfrei. Die Zuordnung der Staubbelastung zum Meßsignal wird durch eine Kalibrierung des Gerätes an seinem Einsatzort festgelegt.

Der Vorteil des Streulichtmeßprinzips liegt in der hohen Empfindlichkeit. Mit Streulichtmeßgeräten sind Meßbereiche mit Vollausschlag bei  $0,1 \text{ mg/m}^3$ , bezogen auf Polystyrol-Latex-Aerosol (PLA) mit einer Partikelgröße von  $1 \mu\text{m}$ , möglich. Im praktischen Einsatz wurden Staubmassenkonzentrationen von  $0,1$  bis  $100 \text{ mg/m}^3$  bestimmt.

In dieser Richtlinie werden die physikalischen Grundlagen des Meßverfahrens, der Einbau, die Wartung und die Funktionsprüfung sowie die Kalibrierung der Meßeinrichtung beschrieben. Die Anwendung dieser Richtlinie setzt die Kenntnis der Richtlinien VDI 2066 Bl. 1 und Bl. 2 [4; 5] voraus.

<sup>1)</sup> Photometer KTN zur Messung von Staub in Abluft  
Photometer KTNR zur Messung von Staub im Gas  
Hersteller: Sigris Photometer AG, Ennetbürgen/Schweiz

### Preliminary Remark

Guideline VDI 2066 deals with methods for determining the dust load (dust content) and the dust mass flow of dust/gas mixtures flowing through defined cross-sections such as smokestacks, pipes or ducts.

Recording instruments are used for continuous monitoring of the dust content [1]. Optical measuring methods have proven effective in practice [2; 3].

This document, Part 6 of the Guideline, describes photometers KTN and KTNR<sup>1)</sup>, which can be employed to determine dust load of gases using scattered light as auxiliary variable. A representative partial flow is split off from the main volume flow to make the determination. The reading is displayed with virtually no delay. The correlation between dust load and measurement signal is established by calibrating the instrument at its installation site.

The advantage of the scattered light measuring principle is its high sensitivity. With scattered light measuring instruments, measuring ranges are feasible with full-scale deflection of  $0.1 \text{ mg/m}^3$ , referred to polystyrene-latex aerosol (PLA) with a particle size of  $1 \mu\text{m}$ . In actual applications, dust mass concentrations are determined from  $0.1$  to  $100 \text{ mg/m}^3$ .

This Guideline describes the physical basis of the measuring method and the installation, maintenance, functional testing and calibration of the measuring system. Use of this Guideline presumes knowledge of Guidelines VDI 2066 Part 1 and Part 2 [4; 5].

<sup>1)</sup> Photometer KTN is suitable to measure dust laden air  
Photometer KTNR is suitable to measure dust laden exhaust gas  
Manufacturer: Sigris Photometer AG, Ennetbürgen/Switzerland

## 1 Grundlage des Verfahrens

Beim Durchtritt durch ein staubbeladenes Gas erfährt ein Lichtstrom eine von der Staubbeladung abhängige Schwächung infolge Absorption und Streuung an den Partikeln. Sowohl die Lichtschwächung (Extinktion), vgl. [6], als auch die Lichtstreuung sind unter gewissen Voraussetzungen für die Bestimmung der Staubbeladung von Gasen geeignet.

Ein wesentliches Merkmal des Streulicht-Meßprinzips (siehe Bild 1) ist die optische Trennung des unter einem bestimmten Winkel auf einen Lichtdetektor auftretenden Streulichtes vom Primär-Lichtstrahl. Damit wird der Meßwert-Nullpunkt unabhängig von der Intensität des Primärlichtes, so daß die Nachweisempfindlichkeit im Vergleich zum Extinktions-Meßprinzip erheblich gesteigert werden kann. Voraussetzung dafür ist, daß die Intensität des vom Meßgerät herrührenden Störlichtes vernachlässigbar klein ist.

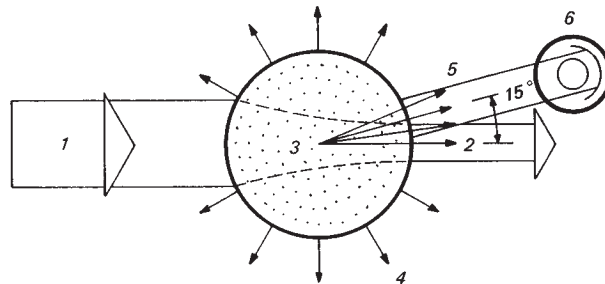


Bild 1. Meßprinzip der Streulichtmessung

- 1 auf die Probe auftreffender Lichtstrahl (Primärlicht)
- 2 von der Probe durchgelassener Lichtstrahl
- 3 Meßprobe
- 4 Streulicht
- 5 zur Messung benutztes Streulichtbündel
- 6 Photocelle

Die Intensität des gestreuten Lichtes hängt ab von der Intensität, der Wellenlänge und der Polarisation des einfallenden Lichtes, dem Winkel, unter dem das Streulicht gemessen wird, der Größe und Form der Partikeln sowie dem Brechungsindex des Partikelmaterials. Wegen der Vielzahl der Einflußgrößen läßt sich ein einfacher formelmäßiger Zusammenhang zwischen der Staubbeladung und der Streulichtintensität nicht angeben. Experimentell ist jedoch nachgewiesen, daß innerhalb bestimmter Grenzen zwischen beiden eine lineare Beziehung besteht, sofern alle anderen Einflußgrößen annähernd konstant gehalten werden. In diesem Fall kann durch eine Vergleichsmessung mit einem Referenzverfahren [7; 8; 9] dem Meßsignal für die Streulichtintensität ein Zahlenwert der Staubbeladung zugeordnet werden. Der Linearitätsbereich ist nach unten durch den Einfluß von Störlicht und nach oben durch Mehrfachstreuung an den Partikeln begrenzt (siehe Abschnitt 2).

## 1 Principle of the Method

A beam of light passing through dust-laden gas undergoes attenuation in proportion to the dust load as a result of absorption and scattering of light by the particles. Both the light attenuation (extinction), see [6], and the light scatter are appropriate for determining the dust load of gases under certain conditions.

An intrinsic characteristic of the scattered light measuring principle (see Fig. 1) is the optical separation of the scattered light striking a light detector at a specific angle from the primary light beam. Because this makes the reading of zero point independent of the intensity of the primary light beam, measurement sensitivity can be increased substantially over that obtained with the extinction measuring principle. This presumes, however, that the intensity of the stray light produced by the instrument is negligibly small.

Fig. 1. Scattered light measuring principle

- 1 Light beam (primary light) striking sample
- 2 Light beam transmitted by sample
- 3 Sample
- 4 Scattered light
- 5 Pencil of scattered light used for measurement
- 6 Photocell

The intensity of the scattered light depends on the intensity, wavelength and polarization of the incident light, on the angle at which the scattered light is measured, on the size and shape of the particles, and on the refractive index of the particle material. The large number of variables precludes the establishment of a simple formula for expressing the relationship between dust load and scattered light intensity. It has been shown empirically, however, that a linear relationship exists between the two within certain limits, provided all other variables are maintained essentially constant. This being the case, it is possible to use a comparative measurement with a reference method [7; 8; 9] to assign a numerical dust load value to the measurement signal for scattered light intensity. The linearity range is limited downward by the effect of stray light and upward by multiple light scatter by the particles (see Section 2).