

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEURE

Messung partikelförmiger Niederschläge  
Mikroskopische Unterscheidung und größenfraktionierte  
Bestimmung der Partikeldeposition auf Haftfolien  
Probenahmegerät Sigma-2

Measurement of Particulate Precipitations  
Microscopic Differentiation and Size Fractionated Determination  
of Particle Deposition on Adhesive Collection Plates  
Sigma-2 Sampler

VDI 2119

Blatt 4 / Part 4

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     | Contents   | Page      |
|---|-----------|--|-----------|
| Vorbemerkung . . . . .  | 2         | Preliminary Note . . . . .   | 2         |
| <b>1 Grundlage des Verfahrens . . . . .</b>                             | <b>3</b>  | <b>1 Principle of Method . . . . .</b>                                 | <b>3</b>  |
| <b>2 Geräte und Betriebsmittel . . . . .</b>                            | <b>5</b>  | <b>2 Instrumentation and Materials . . . . .</b>                       | <b>5</b>  |
| 2.1 Probenahmegerät Sigma-2 . . . . .                                   | 5         | 2.1 Sigma-2 Sampler . . . . .  | 5         |
| 2.2 Geräte zur Partikelanalyse . . . . .                                | 6         | 2.2 Instrumentation for Particle Analysis. . . . .                     | 6         |
| 2.3 Betriebsmittel . . . . .  | 7         | 2.3 Materials . . . . .  | 7         |
| <b>3 Probenahme . . . . .</b>   | <b>8</b>  | <b>3 Sampling . . . . .</b>  | <b>8</b>  |
| 3.1 Probenahmestandort . . . . .  | 8         | 3.1 Sampling Site . . . . .  | 8         |
| 3.2 Aufstellen des Gerätes . . . . .                                    | 8         | 3.2 Setting up the Instrumentation . . . . .                           | 8         |
| 3.3 Vorbereiten der Haftfolien . . . . .                                | 8         | 3.3 Preparation of Adhesive Collection Plates . . . . .                | 8         |
| 3.4 Auslegen der Haftfolien. . . . .                                    | 9         | 3.4 Exposure of Adhesive Collection Plates . . . . .                   | 9         |
| 3.5 Probenahmedauer . . . . .   | 9         | 3.5 Sampling Period . . . . .  | 9         |
| <b>4 Auswertung . . . . .</b>   | <b>9</b>  | <b>4 Evaluation. . . . .</b>   | <b>9</b>  |
| 4.1 Massenbestimmung . . . . .  | 10        | 4.1 Gravimetric Determination . . . . .                                | 10        |
| 4.2 Lichtmikroskopie . . . . .  | 10        | 4.2 Optical Microscopy. . . . .  | 10        |
| <b>5 Berechnen der Ergebnisse . . . . .</b>                             | <b>17</b> | <b>5 Calculation of Results . . . . .</b>                              | <b>17</b> |
| 5.1 Bestimmen der Massendepositionsrates<br>durch Wägung. . . . .       | 17        | 5.1 Determination of Mass Deposition Rate<br>by Weighing . . . . .     | 17        |
| 5.2 Bestimmen der Anzahldepositionsrates<br>durch Mikroskopie . . . . . | 17        | 5.2 Determination of Number Deposition Rate<br>by Microscopy . . . . . | 17        |
| <b>6 Verfahrenskenngrößen . . . . .</b>                                 | <b>18</b> | <b>6 Performance Characteristics of Method . . . . .</b>               | <b>18</b> |
| 6.1 Gravimetrische Auswertung . . . . .                                 | 18        | 6.1 Gravimetric Evaluation. . . . .                                    | 18        |
| 6.2 Lichtmikroskopische Auswertung . . . . .                            | 19        | 6.2 Optical Microscopy Evaluation. . . . .                             | 19        |
| 6.3 Sammelcharakteristik . . . . .                                      | 22        | 6.3 Collection Characteristic . . . . .                                | 22        |
| <b>7 Einsatzmöglichkeiten . . . . .</b>                                 | <b>24</b> | <b>7 Possible Applications . . . . .</b>                               | <b>24</b> |
| Schrifttum. . . . .   | 25        | References . . . . .   | 25        |

Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN

Arbeitsgruppe Messen von Partikeln in der Außenluft  
im Ausschuß Immissionsmeßverfahren

VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 4

**Vorbemerkung**

Die natürliche Abscheidung luftgetragener Partikel erfolgt unter atmosphärischen Bedingungen nicht nur durch Sedimentation und molekulare Diffusion, sondern in erheblichem Maße auch durch turbulente Diffusion. Die Abscheidung durch Sedimentation dominiert für Partikel mit einem aerodynamischen Partikeldurchmesser > 10 µm. Für Partikel zwischen 1 µm und 10 µm überwiegt dagegen mit rasch abnehmender Sinkgeschwindigkeit (Tabelle 1) bereits die Abscheidung durch turbulente Diffusion. Partikel mit einem aerodynamischen Partikeldurchmesser < 1 µm unterliegen zunehmend, Partikel unter 0,1 µm wegen der vernachlässigbaren Masse ausschließlich der molekularen Diffusion [2; 3].

Die Übergänge zwischen den verschiedenen Depositionsmechanismen sind fließend. Ihre Wirksamkeit kann unter dem Einfluß meteorologischer Faktoren und in Abhängigkeit von der Exposition und den Oberflächeneigenschaften der Abscheidefläche stark variieren [4].

Die beschriebenen Abscheidemechanismen werden als trockene Deposition bezeichnet. Ein Maß für die Wirksamkeit der trockenen Deposition ist die Depositionsgeschwindigkeit in cm/s, die durch das Verhältnis der Depositionsrate eines Stoffes auf eine Abscheidefläche in µg/(cm<sup>2</sup> · s) zur Konzentration eines Stoffes am Depositionsort in µg/cm<sup>3</sup> definiert ist [2]. Die Depositionsgeschwindigkeit durch trockene Deposition hat für Partikel mit Durchmessern von 0,1 µm bis 1 µm ein Minimum [5]. Die Depositionsgeschwindigkeit sinkt hier unter 0,1 cm/s (Bild 1). In der freien Atmosphäre überwiegt in diesem Bereich die nasse Deposition durch „rain-out“ in der Wolke und „wash-out“ unterhalb der Wolke [2].

Tabelle 1. Sinkgeschwindigkeit kugelförmiger Partikel der Einheitsdichte ρ<sub>0</sub> = 1 g/cm<sup>3</sup> in ruhender Luft

| d <sub>p</sub> | V <sub>S</sub> | V <sub>S</sub> <sup>1</sup> |
|----------------|----------------|-----------------------------|
| 1              | 0,00           | < 0,01                      |
| 2              | 0,01           | 0,01                        |
| 4              | 0,05           | 0,05                        |
| 6              | 0,11           | 0,11                        |
| 8              | 0,20           | 0,19                        |
| 10             | 0,31           | 0,30                        |
| 15             | 0,69           | 0,68                        |
| 20             | 1,23           | 1,20                        |
| 25             | 1,93           | 1,90                        |
| 30             | 2,77           | 2,67                        |
| 40             | 4,93           | 4,67                        |
| 50             | 7,70           | 7,14                        |
| 60             | 11,09          | 10,03                       |
| 70             | 15,09          | 13,28                       |
| 80             | 19,71          | 16,84                       |
| 90             | 24,95          | 20,64                       |
| 100            | 30,80          | 24,66                       |

d<sub>p</sub> Teilchendurchmesser in Mikrometer  
 V<sub>S</sub> Sinkgeschwindigkeit nach Stokes (cm/s) für Reynoldszahlen Re < 1  
 V<sub>S</sub><sup>1</sup> Sinkgeschwindigkeit nach Stokes (cm/s) mit der Erweiterung nach Klyachko [1] für Reynoldszahlen 1 < Re < 1000

**Preliminary Note**

Airborne particles are naturally deposited under atmospheric conditions not only by sedimentation and molecular diffusion but to a considerable extent also by turbulent diffusion. Deposition by sedimentation dominates in the case of particles having an aerodynamic particle diameter exceeding 10 µm. For particles between 1 µm and 10 µm, on the other hand, the settling velocity (Table 1) decreases rapidly and deposition already predominates as a result of turbulent diffusion. Particles having an aerodynamic diameter of less than 1 µm are increasingly subject to molecular diffusion, while those having a diameter of less than 0.1 µm are exclusively deposited by molecular diffusion because of their negligible mass [2; 3].

The transitions from one deposition mechanism to another are smooth. The extent to which they are active may vary considerably as a function of meteorological factors and of the exposure and surface properties of the deposition area [4].

The deposition mechanisms described are referred to as dry deposition. A measure of the extent to which dry deposition occurs is the deposition velocity in cm/s, which is defined as the ratio of the deposition rate of a substance on a deposition area in µg/(cm<sup>2</sup> · s) to the concentration of a substance at the deposition site in µg/cm<sup>3</sup> [2]. The dry deposition velocity is at a minimum for particles having diameters of 0.1 µm to 1 µm [5]. At this point, the deposition velocity drops below 0.1 cm/s (Figure 1). In the open air, wet deposition dominates in this range as a result of "rain-out" in the clouds and "wash-out" below the clouds [2].

Table 1. Settling velocity of spherical particles having a unit density ρ<sub>0</sub> = 1 g/cm<sup>3</sup> in stationary air

| d <sub>p</sub> | V <sub>S</sub> | V <sub>S</sub> <sup>1</sup> |
|----------------|----------------|-----------------------------|
| 1              | 0.00           | < 0.01                      |
| 2              | 0.01           | 0.01                        |
| 4              | 0.05           | 0.05                        |
| 6              | 0.11           | 0.11                        |
| 8              | 0.20           | 0.19                        |
| 10             | 0.31           | 0.30                        |
| 15             | 0.69           | 0.68                        |
| 20             | 1.23           | 1.20                        |
| 25             | 1.93           | 1.90                        |
| 30             | 2.77           | 2.67                        |
| 40             | 4.93           | 4.67                        |
| 50             | 7.70           | 7.14                        |
| 60             | 11.09          | 10.03                       |
| 70             | 15.09          | 13.28                       |
| 80             | 19.71          | 16.84                       |
| 90             | 24.95          | 20.64                       |
| 100            | 30.80          | 24.66                       |

d<sub>p</sub> Particle diameter in micrometers  
 V<sub>S</sub> Stokes settling velocity (cm/s) for Reynolds numbers Re < 1  
 V<sub>S</sub><sup>1</sup> Stokes settling velocity (cm/s) as expanded by Klyachko [1] for Reynolds numbers 1 < Re < 1000

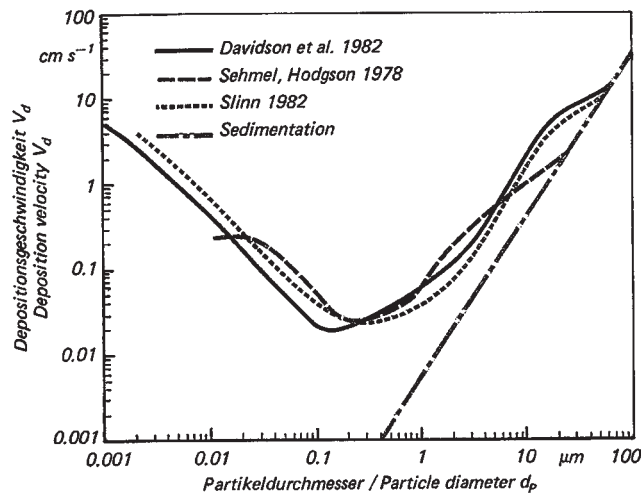


Bild 1. Trockene Depositionsgeschwindigkeiten nach verschiedenen Modellen in Abhängigkeit vom Partikeldurchmesser und für verschiedene Oberflächen nach [5]

Fig. 1. Dry deposition velocities according to various models as a function of particle diameter for various surfaces according to [5]

Ein Massenfluß von der Abscheidefläche weg kann unter natürlichen Bedingungen als Folge einer Resuspension durch den Wind oder Abwaschen durch Regen auftreten. Eine windbedingte Resuspension ist besonders wirksam für Partikel zwischen 50 µm und 100 µm Durchmesser [6].

Das in dieser Richtlinie beschriebene Verfahren dient der mikroskopischen Unterscheidung verschiedener Partikelgruppen und der Bestimmung einer größenfraktionierten Anzahldepositionsrate für luftgetragene Partikel > 3 µm Durchmesser.

## 1 Grundlage des Verfahrens

Zur Probenahme partikelförmiger Niederschläge sind unterschiedliche Geräte in Gebrauch [7], die u. a. in weiteren Einzelblättern der Richtlinie VDI 2119 beschrieben werden. Diese Geräte können grundsätzlich in Verfahren mit Auffanggefäßen und solche mit Haftfolien unterschieden werden. In der vorliegenden Richtlinie wird die Bestimmung der Partikeldepositionsrate mit Hilfe einer transparenten Haftfolie beschrieben. Die Haftfolie wird in einer speziellen Probenahmeeinrichtung exponiert, in deren windberuhigtem Inneren die Partikelabscheidung nahezu ausschließlich durch Sedimentation erfolgt. Die Probenahmeverrichtung schließt eine nasse Deposition und auch die Abscheidung durch turbulente Diffusion weitgehend aus [8].

Die Partikelprobenahme in dem Sigma-2-Sammler erfolgt auf einer transparenten, mit einem witterungsbeständigen Kleber beschichteten Haftfolie. Auch grobe Partikel bleiben dadurch auf der Sammelfläche

Under natural conditions, a mass flow away from the deposition area may occur as a consequence of resuspension by the wind or washing-out by rain. Wind-induced resuspension operates in particular for particles having diameters between 50 µm and 100 µm [6].

The method described in this Guideline is used to distinguish microscopically various groups of particles and to determine a size fractionated number deposition rate for airborne particles having diameters > 3 µm.

## 1 Principle of Method

Various instruments are in use for sampling particulate precipitations [7] and are described in other individual Parts of Guideline VDI 2119. In principle, these instruments may be divided into those employing collecting vessels and those employing adhesive foils. The present Guideline describes the determination of the particle deposition rate using a transparent adhesive collection plate. The adhesive collection plate is exposed in a special sampling device in which the particles are deposited almost exclusively by sedimentation in the wind-free interior. The sampling device largely eliminates wet deposition and also deposition by turbulent diffusion [8].

In the Sigma-2 sampler, the particle sample is collected on a transparent adhesive collection plate coated with a weather-resistant adhesive. As a result, even coarse particles adhere to the collection area.