



**KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GmbH**

**Abteilung Sicherheit und Strahlenschutz**

**Untersuchungen zur Ermittlung  
der Ablagerungsgeschwindigkeit  
von Aerosolen auf Vegetation und  
anderen Probenahmeflächen**

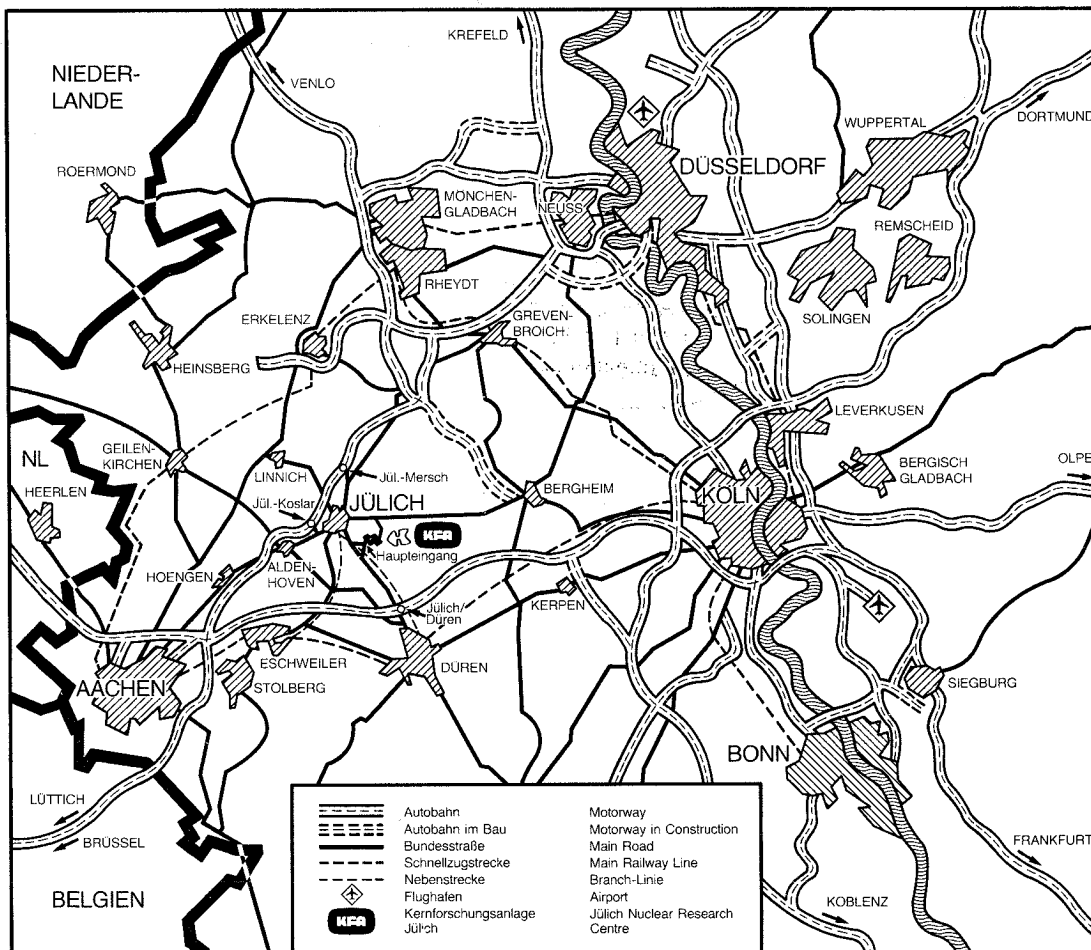
von

R. Jonas, und K.J. Vogt

**Jül - 1780**

**April 1982**

ISSN 0366-0885



Als Manuskript gedruckt

## Berichte der Kernforschungsanlage Jülich – Nr. 1780

Abteilung Sicherheit und Strahlenschutz Jül - 1780

Zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich GmbH  
Postfach 1913 · D-5170 Jülich (Bundesrepublik Deutschland)  
Telefon: 02461/610 · Telex: 833556 kfa d

# **Untersuchungen zur Ermittlung der Ablagerungsgeschwindigkeit von Aerosolen auf Vegetation und anderen Probenahmeflächen**

von

R. Jonas, und K.J. Vogt



## ABSTRACT

The deposition velocity of aerosols with diameters between 0.4 and 17  $\mu\text{m}$ , required for environmental exposure calculations, was experimentally determined in fifty-two field tests at the KFA Jülich from 1975 to 1980. The results of the deposition experiments on grass indicate that the deposition velocity is proportional to the friction velocity and depends on both the vegetation dry mass ( $v_g \sim D^{0.8}$ ) and on the aerosol diameter. The deposition velocity can be represented as an inverse polynomial function of the 3rd order as a function of the aerosol diameter. This demonstrated that the deposition velocity increases especially rapidly (by a factor of about 10) between diameters of 4 and 6  $\mu\text{m}$ , for which turbulence deposition is characteristic, while the rise diminishes for larger particles, for which sedimentation is important. The deposition velocity on grass can be regarded as a characteristic value for environmental exposure calculations. It can be assumed that in the normal operation of nuclear power stations and in the case of incidents in which radioactive substances are released in a filtered condition, a particle diameter of 3  $\mu\text{m}$  is not exceeded and differences in friction velocity and dry mass are cancelled out in the temporal mean. At a mean friction velocity of 27 cm/s and a representative dry mass for grass of 0.017 g/cm<sup>2</sup> deposition velocities of 0.01, 0.02, 0.05, 0.42 and 4.6 cm/s resulted, corresponding to particle diameters of 1, 2, 3, 5 and 10  $\mu\text{m}$ . This indicates that the reference value of 0.1 cm/s, given in the "Allgemeine Berechnungsgrundlage" ((Bg 79) - general calculation basis) for the normal operation of nuclear power stations, is sufficiently conservative. The mean deposition velocity for clover was higher by a factor of approximately 2, for artificial interfaces (smooth and structured metals, filters) and soil by a factor of approximately 3 and thus 2 lower than for grass.

| INHALT                                                                                                                                                      | Seite |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 1 EINLEITUNG                                                                                                                                                | 1     |
| 2 ABLAGERUNGSMECHANISMEN                                                                                                                                    | 4     |
| 3 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG                                                                                                                                      | 11    |
| 3.1 Konzeption                                                                                                                                              | 11    |
| 3.2 Aerosolerzeugung                                                                                                                                        | 11    |
| 3.2.1 Erzeugung monodisperser Aerosole                                                                                                                      | 11    |
| 3.2.2 Erzeugung polydisperser Aerosole                                                                                                                      | 16    |
| 3.3 Partikelspektren                                                                                                                                        | 16    |
| 3.4 Durchführung der Freilandversuche                                                                                                                       | 24    |
| 4 ANGABE VON MITTELWERTEN ZU DEN AEROSOLABLAGERUNGSVERSUCHEN                                                                                                | 28    |
| 5 AUFSTELLUNG EINER MATHEMATISCHEN BEZIEHUNG ZWISCHEN<br>ABLAGERUNGSGESCHWINDIGKEIT, SCHUBSPANNUNGSGESCHWINDIGKEIT,<br>TROCKENMASSE UND PARTIKELDURCHMESSER | 33    |
| 6 VERGLEICH MIT DER ABLAGERUNGSGESCHWINDIGKEIT DER<br>"ALLGEMEINEN BERECHNUNGSGRUNDLAGE"                                                                    | 43    |
| 7 VERGLEICH DER ABLAGERUNGSGESCHWINDIGKEIT AUF KLEE, ERDBODEN<br>UND KÜNSTLICHEN GRENZFLÄCHEN MIT DER ABLAGERUNGSGESCHWINDIG-<br>KEIT AUF GRAS              | 45    |
| 8 VERGLEICH DER IN JÜLICH GEMESSENEN ABLAGERUNGSGESCHWINDIG-<br>KEITEN MIT VON SEHMEL BERECHNETEN WERTEN                                                    | 48    |
| 9 VERGLEICH DER IN JÜLICH GEMESSENEN ABLAGERUNGSGESCHWINDIG-<br>KEITEN MIT GEMESSENEN LITERATURWERTEN                                                       | 51    |
| 10 KUMULATIVE VERTEILUNG VON EXPERIMENTELL BESTIMMTEN ABLAGE-<br>RUNGSGESCHWINDIGKEITEN AUF VEGETATION                                                      | 58    |
| 11 ZUSAMMENFASSUNG                                                                                                                                          | 70    |
| 12 LITERATURVERZEICHNIS                                                                                                                                     | 73    |
| 13 SYMBOLVERZEICHNIS                                                                                                                                        | 77    |

# 1 EINLEITUNG

Durch die Kontamination des Bodens und der Vegetation in der Umgebung kerntechnischer Anlagen aufgrund von mit der Abluft abgeleiteten radioaktiven Stoffen ist der Mensch verschiedenen Expositionspfaden ausgesetzt, und zwar der externen  $\gamma$ -Strahlung der am Boden abgelagerten Aktivität und der internen Bestrahlung durch Verzehr kontaminierter Nahrungsmittel (Ingestion) (Bg 79).

In die Berechnung der Dosis für diese beiden Expositionspfade geht die Ablagerungsgeschwindigkeit in den Fallout-Anteil linear ein. Die Kontamination der Probenahmefläche pro Flächeneinheit  $K_0$  ist proportional der Ablagerungsgeschwindigkeit bzw. die Ablagerungsgeschwindigkeit ist das Verhältnis

$$v_g = \frac{K_0}{I} \quad (1)$$

## I zeitintegrierte Luftkonzentration

Gleichbedeutend mit der in (1) eingeführten integralen Definition der Ablagerungsgeschwindigkeit ist die differentiale Definition in der Form

$$v_g = \frac{N}{x(z)} \quad (2)$$

$N$  resultierender Fluß des Schadstoffes zum Boden

$x(z)$  Konzentration des Schadstoffes in der Höhe  $z$  über dem Boden (z.B.  $z = 1 \text{ m}$ ).

Ebenso wie für die Beurteilung der Umweltbelastung durch radioaktive Ableitungen aus kerntechnischen Anlagen ist die Ablagerungsgeschwindigkeit ein wichtiger Faktor für die Berechnung der Umweltbelastung von in die Atmosphäre geleiteten Schadstoffen aus konventionellen Emittenten (z.B. Kohlekraftwerken, Zementwerken).

Die Ablagerungsgeschwindigkeit oder Fallout-Konstante wurde von Chamberlain (Ch 53) eingeführt, um die Trockenablagerung über einer Oberfläche mit Rauigkeitselementen verschiedener Größe und Form zu bestimmen. Die Ablagerungsgeschwindigkeit beschreibt den Transport des luftgetragenen Schadstoffes (Aerosol oder Gas) aus der Luft zum Boden bzw. zur Vegetation und hat die Dimension einer Geschwindigkeit. Es ist üblich, die zeitinte-

grierte Luftkonzentration in 1 Meter Höhe über dem Boden zu messen (vgl. z.B. (Vg 71)).

Messungen der Ablagerungsgeschwindigkeit von Jod (Ch 60), (Hn 76) und Aerosolen (Ch 66), (Cl 75), (Ho 76) haben gezeigt, daß die Ablagerungsgeschwindigkeit von der Schubspannungsgeschwindigkeit  $u_*$  abhängt (siehe Kapitel 2), einem meteorologischen Parameter, der die turbulente Diffusion in der bodennahen Luftschicht charakterisiert und für den unter der Voraussetzung einer neutralen Schichtung gilt:

$$u_* = \frac{k u(z)}{\ln(z/z_0)} \quad (3)$$

k v. Karman Konstante

$u(z)$  Windgeschwindigkeit in der Höhe  $z$

$z_0$  Rauigkeitsparameter

Experimente in (Zi 68) und (Hn 76) haben ergeben, daß ein annähernd linearer Zusammenhang zwischen  $v_g$  und der Trockenmasse  $D$  des Grases besteht: Macht man den Potenzansatz  $v_g \sim D^v$ , so ergeben sich nach (Zi 68) und (Hn 80) für  $v$  die Werte 0,89 bzw. 0,90.

Unter der Trockenmasse versteht man das Trockengewicht der Vegetation pro Flächeneinheit der Bodenoberfläche. Das Trockengewicht ist das konstante Gewicht, das sich nach Trocknen der Vegetation im Trockenschrank bei einer Temperatur von 100 - 110 °C ergibt. Das Trockengewicht wurde eingeführt, da das Frischgewicht eine nicht genau definierte Größe ist.

Bei der Messung der Ablagerungsgeschwindigkeit von Partikeln wird außerdem in der Literatur, z.B. in (Ch 66), (Cl 73), (Ho 76) eine starke Abhängigkeit vom Partikeldurchmesser festgestellt. Aufgabe der Untersuchungen war es deshalb, die Ablagerungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von meteorologischen Parametern, Aerosoldurchmessern und Vegetationsbedingungen experimentell zu bestimmen.

Wegen der radioökologischen Bedeutung der Transferkette Luft-Gras-Kuhmilch stand als Aufgabenstellung im Vordergrund der Versuche die Messung der Ablagerungsgeschwindigkeit auf Vegetation (Gras und Klee). Hierbei wurden auch Graskulturen in Kästen verwendet, die angelegt wurden, um Aerosolablagerungsexperimente möglicherweise unabhängig von den jeweiligen Vegetationsbedingungen auf dem Versuchsfeld durchführen zu können. Da sich Aerosole

auch auf künstlichen Oberflächen ablagern, wurde außerdem die Ablagerungsgeschwindigkeit auf glatten und rauhen Metallen sowie Filtern bestimmt. Außerdem wurde eine Untersuchung der Bodenablagerung durchgeführt.

1975 wurden in der Kernforschungsanlage Jülich erstmals Ablagerungsexperimente von Jod ( $I^{131}$ ) auf Aerosole mit definiertem Durchmesser ausgedehnt (Ho 76). Diese Versuche wurden mit dem auch bei den Ausbreitungsuntersuchungen (Vg 73) verwendeten radioaktiv markierten Kupfersulfat durchgeführt, um eine Auswertung der Luftfilterproben und der ausgelegten Testflächen durch Nachweis der  $\beta$ -Aktivität bzw. auf  $\gamma$ -spektrometrischem Wege zu ermöglichen. 1977 wurden die Ablagerungsversuche wieder aufgenommen mit dem Ziel, bei Erweiterung des Durchmesserbereiches die Anzahl der Versuche zu erhöhen und eine mathematische Beziehung zwischen der Ablagerungsgeschwindigkeit und ihren Bezugsparametern aufzustellen, die für Umweltbelastungsberechnungen angewendet werden kann. Im folgenden soll über die 1980 abgeschlossenen Freilandversuche zur Aerosolablagerung berichtet werden.

Hierbei wird gemäß Gl. (1) die Ablagerung in rein phänomenologischer Weise beschrieben und die Ablagerungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von den in der Literatur aufgeführten Einflußgrößen untersucht.

Die Dokumentation der Einzelergebnisse zu den Aerosolablagerungsuntersuchungen aus dem Jahr 1975 erfolgte in (Ho 76). Einzelergebnisse zu den Messungen der Ablagerungsgeschwindigkeiten von 1977 - 1980 werden in (Jo 81) aufgeführt. In Kap. 4 des vorliegenden Berichtes werden Mittelwerte zu den von 1975 - 1980 durchgeführten Ablagerungsversuchen angegeben. In Kap. 11 werden die Versuchsergebnisse zusammenfassend gewertet.

## 2 ABLAGERUNGSMECHANISMEN

In diesem Kapitel soll auf den physikalischen Hintergrund des Aerosolablagungsprozesses eingegangen werden, indem an Hand der Literatur (Ah 79), (Se 71) der Einfluß einzelner Mechanismen untersucht wird.

Ist der Impuls eines Partikels (oder eines Moleküls eines reaktiven Gases) senkrecht zur Grenzfläche beim Auftreffen hinreichend groß, so findet, abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit, Ablagerung der Substanz statt. Es wird angenommen, daß das Aufprallen von Partikeln (oder Gasmolekülen) und das anschließende Haftenbleiben an der Oberfläche bei Aerosolpartikeln ein von den chemischen Eigenschaften der Substanz unabhängiger Prozess ist. Die Ablagerung reaktiver Gase wird von den Bindungskräften (Adsorption) zwischen Partikel und Grenzfläche bestimmt.

Der Ablagerungsprozess wird je nach Teilchengröße überwiegend von molekularer und turbulenter Diffusion, Trägheitskräften und Sedimentation beeinflusst (Ah 79). Die Turbulenzablagerung wird nach (Ah 79) durch eine Trägheitskomponente und eine Wirbelkomponente bestimmt. Teilchen, deren Trägheit so groß ist, daß sie vom Stromlinienverlauf der Oberfläche abweichend diese erreichen können, werden durch Trägheitseffekte oder Impaktion abgeschieden. Unter Sedimentationsablagerung versteht man die Ablagerung der Partikel auf Grund des Einflusses der Gravitations- und Reibungskraft.

Außerdem kommt auch, unabhängig von molekularer Diffusion und Trägheitseffekten, Ablagerung durch Interzeption vor, wenn aufgrund geometrischer Ausdehnung die Partikel an der Oberfläche in einer Entfernung vorbeiströmen, die kleiner oder gleich dem Aerosolradius ist (Ah 79).

(Ah 79) untersuchte im Zusammenhang mit Trockendepositionsstudien im Windkanal die Teilchenabscheidung an glatten, zylinderförmigen Stäben. Zur Beschreibung der Ablagerungsvorgänge wurde der Abscheidegrad

$$E = \frac{a}{\gamma_{u_0} C_p} \quad (4)$$

eingeführt, der das Verhältnis der auf dem Zylinder pro Zeiteinheit abge-

schiedenen Teilchenmenge  $a$  zum pro Zeiteinheit auf die Zylinderprojektionsfläche  $Y$  hinströmenden Teilchenfluß ist.  $u_0$  in Gleichung (4) ist die Windgeschwindigkeit im ungestörten Zustand und  $C_p$  die Teilchenkonzentration. Für den Abscheidegrad wurde eine semiempirische Gleichung aufgestellt, in der additiv molekulare Diffusion, Interzeption und Trägheitseffekte unter Anpassung an die Meßergebnisse (Ah 79) berücksichtigt wurden.

$$E = E_{Di} + E_{Int} + E_T \quad (5)$$

$E_{Di}$  Abscheidegrad durch molekulare Diffusion

$E_{Int}$  Abscheidegrad durch Interzeption

$E_T$  Abscheidegrad durch Trägheitseffekte

$$E = 0,33 \text{ Pé}^{-0,5} + 0,8 \text{ Re}^{0,4} \left(\frac{d}{d_z}\right)^{1,5} + \frac{\psi^3}{\psi^3 + f_1 \psi^2 + f_2 \psi + f_3} \quad (6)$$

In Gleichung (6) ist  $\text{Pé} = \frac{u_0 d_z}{K_m}$  die Péclet-Zahl, ( $d_z$ : Durchmesser des Zylinders,  $K_m$ : molekularer Diffusionskoeffizient),

$$\text{Re} = d_z \cdot u_0 / \nu_L \quad \text{die Reynoldssche Zahl des Zylinders.}$$

( $\nu_L$ : kinematische Viskosität der Luft) und

$$\psi = \frac{\rho_p d^2 u_0}{18 d_z \eta} \quad \text{die Stookessche Zahl (d: Partikeldurchmesser, \eta: dynamische Viskosität der Luft). Für die Funktionen } f_1, f_2 \text{ und } f_3 \text{ in Gleichung (6) gilt:}$$

$$f_1 = -0,0133 \ln \text{Re} + 0,931 \quad (7)$$

$$f_2 = 0,0353 \ln \text{Re} - 0,36 \quad (8)$$

$$f_3 = -0,0537 \ln \text{Re} + 0,398 \quad (9)$$

In Tabelle 1 werden nach den Gleichungen 6 - 9 berechnete Einfangwirkungsgrade zwischen Kupfersulfatpartikeln und zylindrischen Stäben mit Durchmessern von 0,2 cm (Ah 79) angegeben. Dabei wird der Partikeldurchmesser von 0,1  $\mu\text{m}$  bis 10  $\mu\text{m}$  variiert. Die Bestimmung des molekularen Diffusionskoeffizienten erfolgt nach der Gleichung (Ba 53)

Tabelle 1: Einfluß von molekularer Diffusion, Interzeption und Trägheitseffekten  
auf den Ablagerungsprozess

| $\rho$<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | d<br>( $\mu$ m) | $K_m$<br>(cm <sup>2</sup> /s) 10 <sup>5</sup> | $\psi$               | $d_z$<br>( $\mu$ m) | Pé                | Re  | $v_L$<br>(cm <sup>2</sup> /s) | $n$<br>(g cm <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> ) | $u_o$<br>(cm/s) | $f_1$ | $f_2$ | $f_3$ | $\frac{E_{Di}}{E}$ | $\frac{E_{Int}}{E}$ | $\frac{E_T}{E}$ | E                   |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------|----------------------|---------------------|-------------------|-----|-------------------------------|----------------------------------------------|-----------------|-------|-------|-------|--------------------|---------------------|-----------------|---------------------|
| 3,606                          | 0,1             | 5,050                                         | $1,76 \cdot 10^{-4}$ | 2000                | $1,18 \cdot 10^6$ | 455 | 0,132                         | $1,71 \cdot 10^{-4}$                         | 300             | 0,85  | -0,14 | 0,07  | 0,99               | 0,01                | <0,01           | $3,1 \cdot 10^{-4}$ |
| 3,606                          | 0,2             | 0,180                                         | $7,03 \cdot 10^{-4}$ | 2000                | $3,33 \cdot 10^7$ | 455 | 0,132                         | $1,71 \cdot 10^{-4}$                         | 300             | 0,85  | -0,14 | 0,07  | 0,86               | 0,14                | <0,01           | $6,6 \cdot 10^{-5}$ |
| 3,606                          | 0,3             | 0,105                                         | $3,95 \cdot 10^{-3}$ | 2000                | $5,70 \cdot 10^7$ | 455 | 0,132                         | $1,71 \cdot 10^{-4}$                         | 300             | 0,85  | -0,14 | 0,07  | 0,72               | 0,28                | <0,01           | $6,1 \cdot 10^{-5}$ |
| 3,606                          | 0,5             | 0,057                                         | $4,39 \cdot 10^{-3}$ | 2000                | $1,05 \cdot 10^8$ | 455 | 0,132                         | $1,71 \cdot 10^{-4}$                         | 300             | 0,85  | -0,14 | 0,07  | 0,46               | 0,52                | 0,02            | $7,0 \cdot 10^{-5}$ |
| 3,606                          | 1               | 0,026                                         | $1,76 \cdot 10^{-2}$ | 2000                | $2,31 \cdot 10^8$ | 455 | 0,132                         | $1,71 \cdot 10^{-4}$                         | 300             | 0,85  | -0,14 | 0,07  | 0,11               | 0,50                | 0,39            | $2,1 \cdot 10^{-4}$ |
| 3,606                          | 2               | 0,012                                         | $7,03 \cdot 10^{-2}$ | 2000                | $5,00 \cdot 10^8$ | 455 | 0,132                         | $1,71 \cdot 10^{-4}$                         | 300             | 0,85  | -0,14 | 0,07  | 0,03               | 0,06                | 0,95            | $5,7 \cdot 10^{-3}$ |
| 3,606                          | 3               | 0,008                                         | $1,58 \cdot 10^{-1}$ | 2000                | $7,50 \cdot 10^8$ | 455 | 0,132                         | $1,71 \cdot 10^{-4}$                         | 300             | 0,85  | -0,14 | 0,07  | <0,01              | <0,01               | >0,99           | $5,6 \cdot 10^{-2}$ |
| 3,606                          | 5               | 0,005                                         | $4,39 \cdot 10^{-1}$ | 2000                | $1,20 \cdot 10^9$ | 455 | 0,132                         | $1,71 \cdot 10^{-4}$                         | 300             | 0,85  | -0,14 | 0,07  | <0,01              | <0,01               | >0,99           | $3,3 \cdot 10^{-1}$ |
| 3,606                          | 10              | 0,002                                         | 1,76                 | 2000                | $3,00 \cdot 10^9$ | 455 | 0,132                         | $1,71 \cdot 10^{-4}$                         | 300             | 0,85  | -0,14 | 0,07  | <0,01              | <0,01               | >0,99           | $6,9 \cdot 10^{-1}$ |

$$K_m = \frac{RT}{L} \frac{(1+cl/r)}{6\pi\eta r} \quad (10)$$

|        |                                          |
|--------|------------------------------------------|
| R      | Gaskonstante                             |
| T      | Temperatur                               |
| L      | Loschmidtsche Zahl                       |
| c      | Cunninghamsche Konstante                 |
| l      | mittlere freie Weglänge der Luftmoleküle |
| $\eta$ | dynamische Viskosität der Luft           |
| r      | Partikelradius                           |

Die Berechnung des Abscheidegrades nach Gleichung (6) wurde mit einer Windgeschwindigkeit von 3 m/s durchgeführt, was etwa dem in 10 m Höhe auf dem Wasserturm der KFA zu erwartenden Jahresmittelwert entspricht. Durch die Angabe des Verhältnisses  $E_{Di}/E$ ,  $E_{Int}/E$  und  $E_T/E$  in den Spalten 14-16 der Tabelle kann festgestellt werden, welchen Beitrag die einzelnen Abscheidungsmechanismen (Abscheidung durch molekulare Diffusion, Abscheidung durch Interzeption und Abscheidung durch Trägheitseffekte) zur Gesamtabsecheidung liefern. Beträgt der Partikeldurchmesser z.B. 0,5  $\mu\text{m}$ , so scheiden sich 46 % der Partikel durch molekulare Diffusion ab, 52 % durch Interzeption und 2 % durch Trägheitskräfte. Hieraus wird deutlich, daß eine Überlagerung der Effekte bei bestimmten Durchmessern auftritt. Überschreitet der Partikeldurchmesser 1  $\mu\text{m}$ , so tritt eine deutliche Zunahme des Abscheidegrades auf, wobei die Abscheidung fast ausschließlich auf Trägheitseffekten beruht. Kommen Partikel kleiner als 0,3  $\mu\text{m}$  vor, so ist ein Anstieg des Abscheidegrades in Richtung kleiner Teilchen festzustellen. Ursache hierfür ist eine Zunahme des Diffusionsterms  $E_{Di}$ . Bei 0,3  $\mu\text{m}$  liegt das Minimum des Abscheidegrades. Die Lage des Minimums kann sich nach (Ah79) mit der Windgeschwindigkeit ändern, ist aber offenbar auf einen Teilchenbereich von 0,1  $\mu\text{m}$  bis 1  $\mu\text{m}$  beschränkt. Die Berücksichtigung einer Mikrostruktur der Oberfläche kann nach (Ah 79) zu einer Erhöhung des Abscheidegrades führen, wobei sich der Verlauf der Funktion  $E(d)$  aber nicht ändern würde.

Bei der Untersuchung der Ablagerungsgeschwindigkeit von Aerosolen mit Durchmessern von  $10^{-3}$  bis 5  $\mu\text{m}$  auf Filterpapier, Aluminiumfolie und Rauhfaser-tapeten weist (Ah79) darauf hin, daß die Ablagerung von Partikeln mit Durchmessern kleiner als 0,4  $\mu\text{m}$  durch Brownsche Diffusion verursacht wird und größere Partikel durch Interzeption, Impaktion und Sedimentation abgeschieden werden. Der Einfluß der turbulenten Diffusion erstreckt sich auf den ge-

samen Teilchenbereich der Partikel, wobei für die größeren Partikel Sedimentationseffekte gegenüber Interzeptionseffekten überwiegen.

Nach (Sl 77) werden Partikel durch Trägheitseffekte abgelagert, wenn ihr Durchmesser zwischen 2 und 10  $\mu\text{m}$  liegt.

Als Sedimentationsgrenze, d.h. als Grenze, von der an die Ablagerung der Partikel nur noch dem Einfluß von Gravitations- und Reibungskraft unterliegt, bezeichnet (Ho 76) den Teilchenbereich zwischen 10 und 18  $\mu\text{m}$ .

(Se 71) unterscheidet bei der Bestimmung der Ablagerungsgeschwindigkeit von Partikeln mit Durchmessern von  $10^{-3}$  bis  $10^2 \mu\text{m}$  zwischen Diffusions- und Sedimentationsabscheidung und stellt für den Depositionsfluß auf eine glatte, horizontale Oberfläche die Gleichung

$$N = - (K_m + K_t) \frac{dC_p}{dz} - v_s C_p \quad (11)$$

auf.

$K_m$  molekularer Diffusionskoeffizient  
 $K_t$  turbulenter Diffusionskoeffizient  
 $C_p$  Partikelkonzentration  
 $v_s$  Sinkgeschwindigkeit

Die Partikeldiffusionskoeffizienten werden aufgrund von Messungen des Depositionsflusses im Windkanal berechnet. Als Sinkgeschwindigkeiten werden in (Se 71) konstante Sedimentationsgeschwindigkeiten von kugelförmigen Partikeln bezeichnet, deren Bewegung von der Gravitationskraft und der Stookeschen Reibungskraft beeinflußt wird. Die Berechnung der Sinkgeschwindigkeit erfolgt nach (Fu 64) (vgl. (Jo 78)). Die Ablagerungsgeschwindigkeit wurde durch die Beziehung

$$v_g = - N/C_0 \quad (12)$$

bestimmt, wobei  $C_0$  die Partikelkonzentration in 1 cm Höhe über dem Boden ist. Nach Abschätzungen in (Se 71) ergibt sich ein Bereich von 1 cm über der Oberfläche, in dem eine Wechselwirkung zwischen Partikel und Oberfläche wirksam ist. Deshalb beträgt bei dieser Definition der Ablagerungsgeschwindigkeit die Meßhöhe der Konzentration 1 cm. Zur Bestimmung des Konzentrationsprofils kann auf (Jo78) hingewiesen werden. Eine Zunahme der Ablagerungs-

geschwindigkeit zu kleinen Teilchen hin wird auch in (Se 71) auf zunehmende Diffusionsabscheidung zurückgeführt. Im Bereich zwischen 0,06 und 0,5  $\mu\text{m}$  ergibt sich ein von der Schubspannungsgeschwindigkeit abhängiges Minimum der Ablagerungsgeschwindigkeit, das durch wenig wirksame Diffusions- und Sedimentationsabscheidung erklärt wird. Turbulente Diffusion ist als Ablagerungsmechanismus im gesamten Partikeldurchmesserbereich von  $10^{-3}$  bis  $10^2 \mu\text{m}$  wirksam. Die Ablagerung von Partikeln mit Durchmessern kleiner als 1  $\mu\text{m}$  wird außerdem von der molekularen Diffusion beeinflusst (vgl. (Sl 77)). Für die Ablagerung großer Partikel kann nach (Se 71) festgestellt werden, daß der Einfluß der Sedimentation gegenüber der turbulenten Diffusion überwiegt, wenn der Partikeldurchmesser 20  $\mu\text{m}$  überschreitet.

In Kap. 8 werden in (Se 71) erzielte Werte der Ablagerungsgeschwindigkeit von Partikeln dargestellt und mit den Resultaten der Jülicher Freilandmessungen verglichen.

In Jülich wurde die Ablagerungsgeschwindigkeit von Partikeln mit Durchmessern von 0,4  $\mu\text{m}$  bis 17  $\mu\text{m}$  gemessen. Aufgrund der in diesem Kapitel durchgeführten Untersuchung des Einflusses einzelner Mechanismen auf die Gesamtablagerung kann festgestellt werden, daß die Ablagerung der Partikel durch Turbulenz- und auch durch Interzeptionsabscheidung erfolgte. Molekulare Diffusion und Sedimentation dürften hingegen nur eine unwesentliche Rolle gespielt haben.

Unter der Voraussetzung einer annähernd adiabatischen Schichtung ergibt sich für den turbulenten Diffusionskoeffizienten (Pq 74)

$$K_t = \frac{u_*^2}{\frac{du}{dz}} \quad (13)$$

nach Umformung von Gleichung (3) und anschließender Differentiation nach  $z$

$$K_t = k u_* \cdot z \quad (14)$$

Setzt man Gleichung (11) und Gleichung (14) in Gleichung (2) ein und vernachlässigt die molekulare Diffusion und die Sedimentation gegenüber der turbulenten Diffusion, so kann abgeleitet werden, daß die Ablagerungsgeschwindigkeit proportional zur Schubspannungsgeschwindigkeit ist (Hn 76), (Ho 76). Aufgrund dieser Tatsache und der aus der Literatur abgeleiteten Bedeutung

des Einflusses der turbulenten Diffusion auf die Aerosolablagerung stand im Vordergrund der Experimente die Messung des Windprofiles in der bodennahen Luftschicht und die systematische Erfassung der Schubspannungsgeschwindigkeit.

### 3 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

#### 3.1 Konzeption

Für monodisperse Aerosole mit Durchmessern von 3,7 bis 17,1  $\mu\text{m}$  wurde bei den Freilandversuchen ein nach Strahlenschutzaspekten umgebauter Berglund-Liu-Generator eingesetzt. Der Partikeldurchmesser der monodispersen Aerosole wurde aus der Arbeitsfrequenz, der Emissionsleistung des Gerätes sowie aus der Konzentration der Tracerlösung berechnet (siehe Kapitel 3.2.1). Die Herstellung polydisperser Aerosolspektren erfolgte mit einem Zweistoffdüsengenerator (Ho 76) (siehe Kapitel 3.2.2). Das Partikeldurchmesserspektrum der polydispersen Aerosole wurde mit dem Royco Partikelzähler, einem optischen Partikelzählgerät, bestimmt. Zur Kalibrierung mit einem monodispersen Aerosol diente der Berglund-Liu-Generator. Der Durchmesser der polydispersen Aerosole lag zwischen 0,4 und 6,5  $\mu\text{m}$ .

#### 3.2 Aerosolerzeugung

##### 3.2.1 Erzeugung monodisperser Aerosole

In Abb. 1 ist das Schema des Berglund-Liu-Generators dargestellt. Der Generator besteht im wesentlichen aus der Flüssigkeitspumpe, dem Frequenzgenerator, dem Zerstäubungssystem und dem Druckluftsystem.

Abb. 2 zeigt das Prinzip der Aerosolerzeugung. Die Aerosollösung wird in eine Kolbenspritze gefüllt. Die Flüssigkeitspumpe drückt die Flüssigkeit aus der Kolbenspritze durch ein Membranfilter, durch das Verunreinigungen zurückgehalten werden, in eine im Zerstäubungssystem eingebaute Düse. Durch das Getriebe der Pumpe ist die Einstellung von 30 verschiedenen Vorschubgeschwindigkeiten möglich. Als Sicherung gegen Überlastung dient eine Rutschkupplung, die bei zu großer Belastung den Vorschub zum Stillstand bringt. Wird der Stopfen vom Abflußschlauch (Abb. 2) entfernt, so erfolgt die Durchspülung des Flüssigkeitssystems. Der Zweck dieses Arbeitsvorganges besteht darin, sowohl das System zu reinigen als auch mit Flüssigkeit auszufüllen und dabei von Luftblasen freizuhalten. Deshalb ist es notwendig, eine hohe Vorschubgeschwindigkeit zu wählen (Getriebestufe 1 - 8). Durch Verschließen

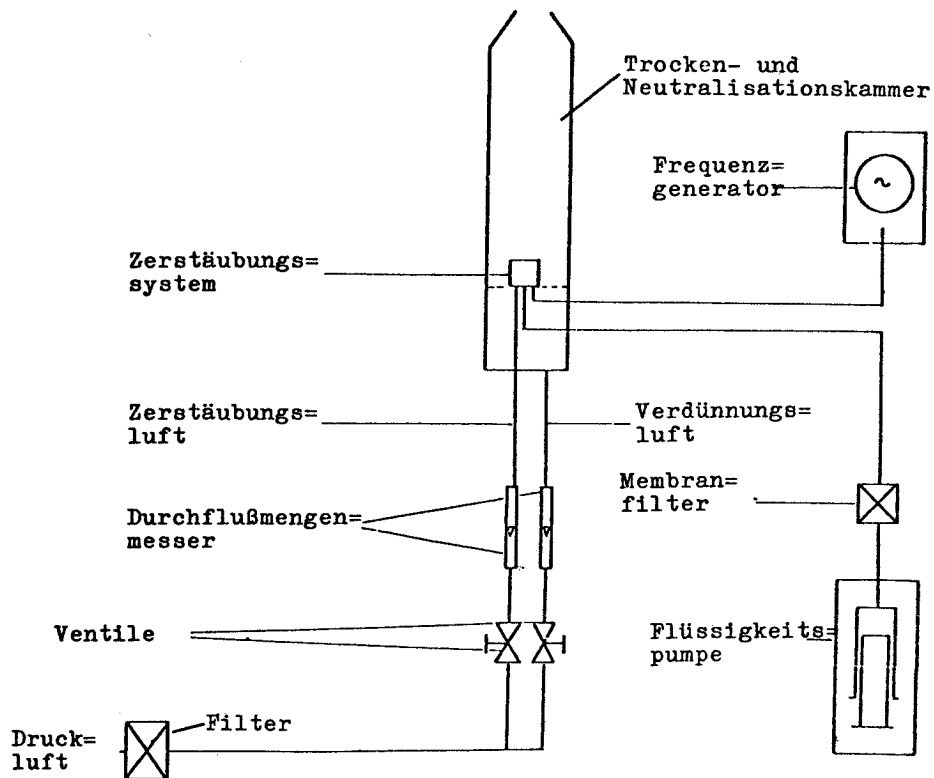


Abb. 1: Schematische Darstellung des Berglund-Liu-Aerosolgenerators



des Abflußschlauches wird die Strömung gestoppt, der Strahl kann durch die Düse treten, die sich in einem piezoelektrischen Kristall befindet, und die Rutschkupplung spricht an, da durch den zu hohen Gegendruck der Flüssigkeit die Kupplung der Pumpe die Leistung nicht mehr überträgt. Um dies zu vermeiden, wird auf eine höhere Getriebestufe geschaltet. Deren Wahl hängt vom Düsendurchmesser und vom Querschnitt der Kolbenspritze ab. Für eine 20 cm<sup>3</sup>-Spritze (Durchmesser 2,3 cm) und eine Düse mit einem Durchmesser von 20 µm wurde Getriebestufe 14 - 18 ermittelt. Schaltet man einen höheren Gang ein, so ist der Druck zu schwach, um einen Strahl zu erzeugen. Es ist nicht gelungen, einen Strahl innerhalb des Arbeitsbereiches der Pumpe (Getriebestufe 14 - 18) zu erzeugen. Durch das Membranfilter können nicht alle Verunreinigungen des Flüssigkeitssystems zurückgehalten werden. Deshalb ist es notwendig, auf Sauberkeit der Flüssigkeit zu achten, um eine Verstopfung der Blende zu vermeiden.

Der Frequenzgenerator versetzt den Kristall in harmonische Schwingungen. Bei einer bestimmten Frequenz wird der Strahl in monodisperse Tropfen zerlegt: Wie experimentelle Untersuchungen von (Sn 64) ergaben, ist hierfür eine Frequenz aus dem Bereich

$$f = \frac{4 Q}{\pi \cdot A \cdot d_j^3} \quad (15)$$

$$3,5 < A < 7$$

Q Durchflußrate des Generators (Volumenstrom)

d<sub>j</sub> Düsendurchmesser

erforderlich. Unter der Annahme kugelförmiger Tropfen ergibt sich mit

$$V_T = \frac{Q}{f} \quad (16)$$

V<sub>T</sub> Volumen des erzeugten Tropfens

der Durchmesser der monodispersen Tropfen

$$d_T = \sqrt[3]{\frac{6 Q}{\pi \cdot f}} \quad (17)$$

und durch Vergleich mit Gleichung (15)

$$d_T = d_j \sqrt[3]{\frac{3}{2} A} \quad (18)$$

Nach dem Aufsetzen von Zerstäubungskappe und Trockenzylinder können die Aerosole dem Zerstäubungs- und Verdünnungsluftsystem zugeführt werden: Die Aufgabe der Zerstäubungsluft besteht darin, eine Koagulation der Tropfen zu vermeiden. Die Verdünnungsluft nimmt die flüchtige Phase des Lösungsmittels auf. Der für die Erzeugung monodisperser Aerosole erforderliche Verdünnungs- und Zerstäubungsluftdurchsatz wird über einen Durchflußmengenmesser auf 6 m<sup>3</sup>/h bzw. 2500 cm<sup>3</sup>/min eingestellt. Die Aerosole treten dann in festem Zustand aus der Trocken- und Neutralisationskammer (Abb. 1) und können entweder für Eichzwecke oder für Ablagerungsuntersuchungen verwendet werden.

Die Beziehung zwischen dem Durchmesser des flüssigen Aerosols  $d_T$  und dem Durchmesser des festen Aerosols  $d$  lautet:

$$d = d_T \sqrt[3]{M} \quad (19)$$

Hierbei ist  $M$  das Mischungsverhältnis

$$M = \frac{V_f}{V_f + V_{f1}} \quad (20)$$

$V_f$  spezifisches Volumen der gelösten Substanz

$V_{f1}$  spezifisches Volumen des Lösungsmittels

Um die Monodispersität der Tropfen visuell festzustellen, wurden im Labor die in (Be 76) beschriebenen Methoden angewendet.

Sind die Tropfen monodispers, so sind die ersten 2 - 5 mm des Strahles, die sonst unsichtbar sind, bei seitlicher Beleuchtung sichtbar. Diese Methode funktioniert nur bei Alkohollösungen.

Eine Methode, die unabhängig vom Lösungsmittel angewendet werden kann, besteht darin, die Zerstäubungsluft durch ein Kniestück so umzulenken, daß der Luftstrom senkrecht auf den Strahl trifft. Sind die Tropfen gleich groß, so werden sie in eine Richtung abgelenkt.

Diese Methoden ermöglichen es, den Arbeitsbereich des Frequenzgenerators zu überprüfen, ohne den Düsendurchmesser und die Durchflußrate der Lösung zu kennen: Zwischen den Maximalfrequenzwerten, die durch die zuerst geschild-

derte optische Methode ermittelt wurden, und den nach Gleichung (15) für  $A = 3,5$  ermittelten Werten sind z.B. bei 7 Einzelmessungen mit Isopropylalkohol bei einer 20  $\mu\text{m}$  Blende im Mittel Abweichung von 18 % aufgetreten, was im Einklang zu (Hr 81) steht.

### 3.2.2 Erzeugung polydisperser Aerosole

In Abb. 3 ist der hier entwickelte Generator zur Erzeugung polydisperser Aerosole dargestellt (Ho 76). Durch Pressluft wird die Tracerlösung angesaugt und in einer Zweistoffdüse zerstäubt. Das zentrale Flüssigkeitsröhrchen wurde gegenüber handelsüblichen Düsen verlängert, wodurch eine Verstopfung durch an der Austrittsstelle abgelagerte Salze vermieden werden kann. In dem der Düse nachgeschalteten Rohrkrümmer schlagen sich durch Impaktorwirkung größere Tropfen nieder, die im Boden des Rohres zusammenlaufen und durch eine Trichteröffnung wieder in die für die Lösung vorgesehene Flasche gelangen. Die Rückhaltung großer Partikel wird durch eine Prallplatte vor der Düsenöffnung verstärkt: Je kleiner der Abstand zwischen Prallplatte und Düsenöffnung eingestellt wird, um so weniger größere Partikel werden emittiert. Der Abstand der Prallplatte wird durch ein Schraubengewinde von außen variiert. Eine zusätzliche Variation der Aerosolspektren kann durch Änderung der Konzentration der Lösung erreicht werden (Kap. 3.3).

Im Gegensatz zum Berglund-Liu-Generator ist eine theoretische Bestimmung des Partikeldurchmessers (siehe 3.2.1) aus Betriebsdaten dieses Generators nicht möglich.

## 3.3 Partikelspektren

Abb. 4 zeigt den Versuchsaufbau zur Messung von Partikelspektren. Der Durchmesser der Partikel wurde mit einem optischen Partikelzählgerät bestimmt, dessen Prinzip auf der Erfassung des von einem Einzelteilchen in Vorwärtsrichtung gestreuten Lichtes beruht. Das Royco-Partikelzählsystem besteht aus einem Zentralgerät (Hauptrahmen) und einem Sensor, die durch Schläuche für Vakuum- und Reinluft sowie ein Kabel zur Stromversorgung, -verstärkung und Signalweiterleitung verbunden sind. Durch eine Vakuumpumpe im Zentralgerät wird das Prüfaerosol angesaugt und in den Sensor geleitet. Die vom Fotoempfänger des Sensors ausgehenden Streulichtimpulse werden in elektri-

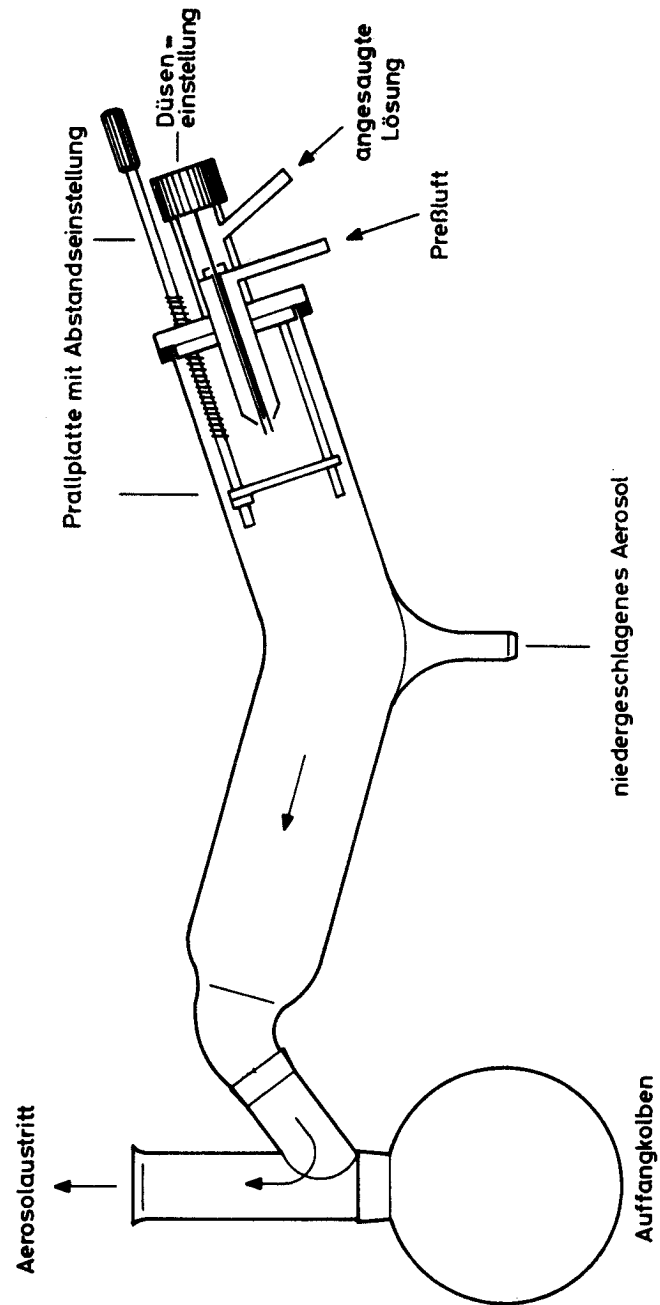


Abb. 3: Generator zur Erzeugung variabler Aerosolspektren (Ho 76)

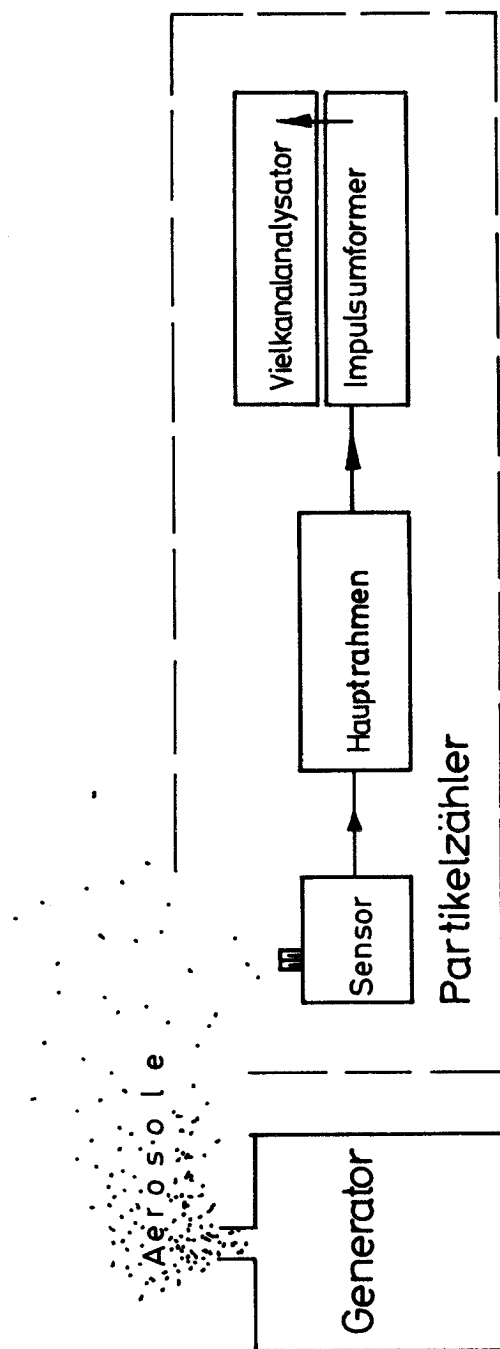


Abb. 4: Versuchsaufbau zur Messung von Partikelspektren

sche Impulse umgewandelt. Nach Verarbeitung im Zentralgerät gelangen die Impulse in den Impulsumformer. Dieser hat die Aufgabe, die Streulichtimpulse, die unterschiedliche Höhen und Anstiegszeiten haben, zu verstärken oder abzuschwächen und in Impulse mit definierter Impulsbreite ( $2 - 3 \mu\text{s}$ ) umzuformen, so daß sie im nachfolgenden Vielkanalanalysator verarbeitet werden können. Der Vielkanalanalysator verteilt die Impulse nach ihrer Größe in 511 Kanäle und dient zur Auswertung der Aerosolspektren.

Der Royco-Partikelzähler wurde mit dem Berglund-Liu-Generator kalibriert, der wiederum mit einem Generator für Latexpartikel definierter Größe kalibriert wurde. Der Durchmesser der mit dem Berglund-Liu-Generator erzeugten monodispersen Ölsäurepartikel konnte nach Gleichung (17) und (19) bestimmt werden. Abb. 5 zeigt eine mit dem Royco-Partikelzähler aufgenommene Partikelverteilung. Dem Aerosolspektrum liegen folgende Betriebsdaten des Generators zugrunde.

|                                              |                                |
|----------------------------------------------|--------------------------------|
| Durchflußrate der Lösung                     | $0,34 \text{ cm}^3/\text{min}$ |
| Düsendurchmesser                             | $20 \mu\text{m}$               |
| eingestellte Frequenz des Frequenzgenerators | 200 KHZ                        |
| Konzentration Ölsäure in Isopropanol         | 1 : 5000                       |
| Verdünnungsluftdurchsatz                     | $5,5 \text{ m}^3/\text{h}$     |
| Zerstäubungsluftdurchsatz                    | $1900 \text{ cm}^3/\text{min}$ |

Nach Gleichung (17) und (19) ergibt sich für die Aerosole ein Durchmesser von  $2,2 \mu\text{m}$ . Die Meßzeit für das Spektrum betrug 800 s. Mit einer Halbwertsbreite von 15 Kanälen kann die Aerosolverteilung als annähernd monodispers bezeichnet werden.

Da die Aktivität des Tracers im Volumen homogen verteilt ist, konnte bei der Bestimmung des Durchmessers polydisperser Aerosole von der volumenbezogenen Verteilungsfunktion ausgegangen werden und als repräsentativer Durchmesser das Maximum der Verteilungsfunktion zugrunde gelegt werden. Bei der Darstellung eines polydispersen, mit dem Royco-Partikelzähler aufgenommenen Aerosolspektrums in Abb. 6 wird das von  $n_j$  Teilchen in einem Kanal  $j$  des Vielkanalanalysators gebildete Volumen  $V_j = \frac{\pi}{6} \bar{N}^3 n_j$  gegen den Partikeldurchmesser  $\bar{N}$  aufgetragen, wobei das maximale Volumen auf 1 normiert wurde. Nach den obigen Ausführungen ergibt sich für das Aerosolspektrum ein repräsentativer

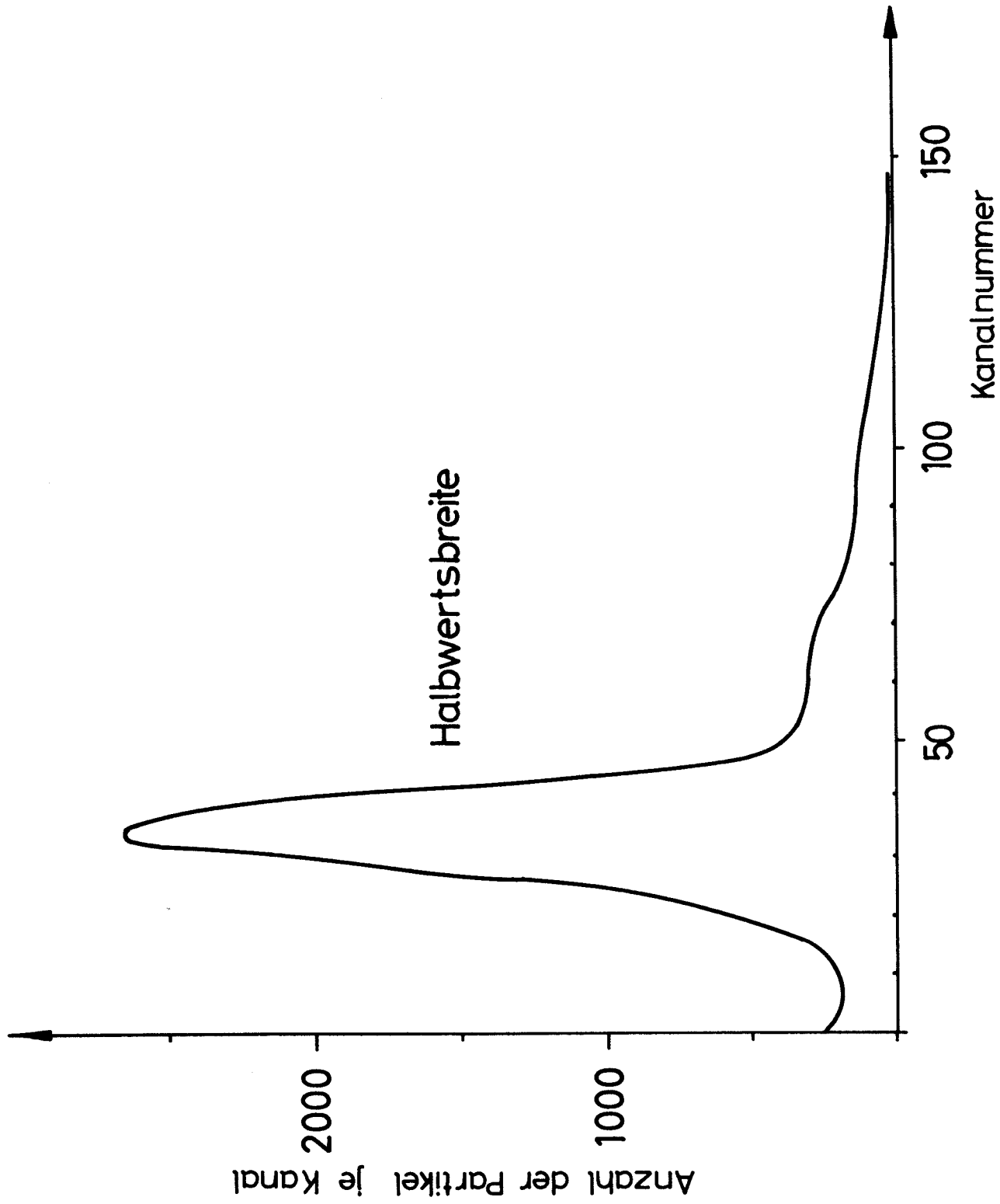


Abb. 5: Mit dem Royco Partikelzähler aufgenommenes Aerosolspektrum von Ölsäurepartikeln

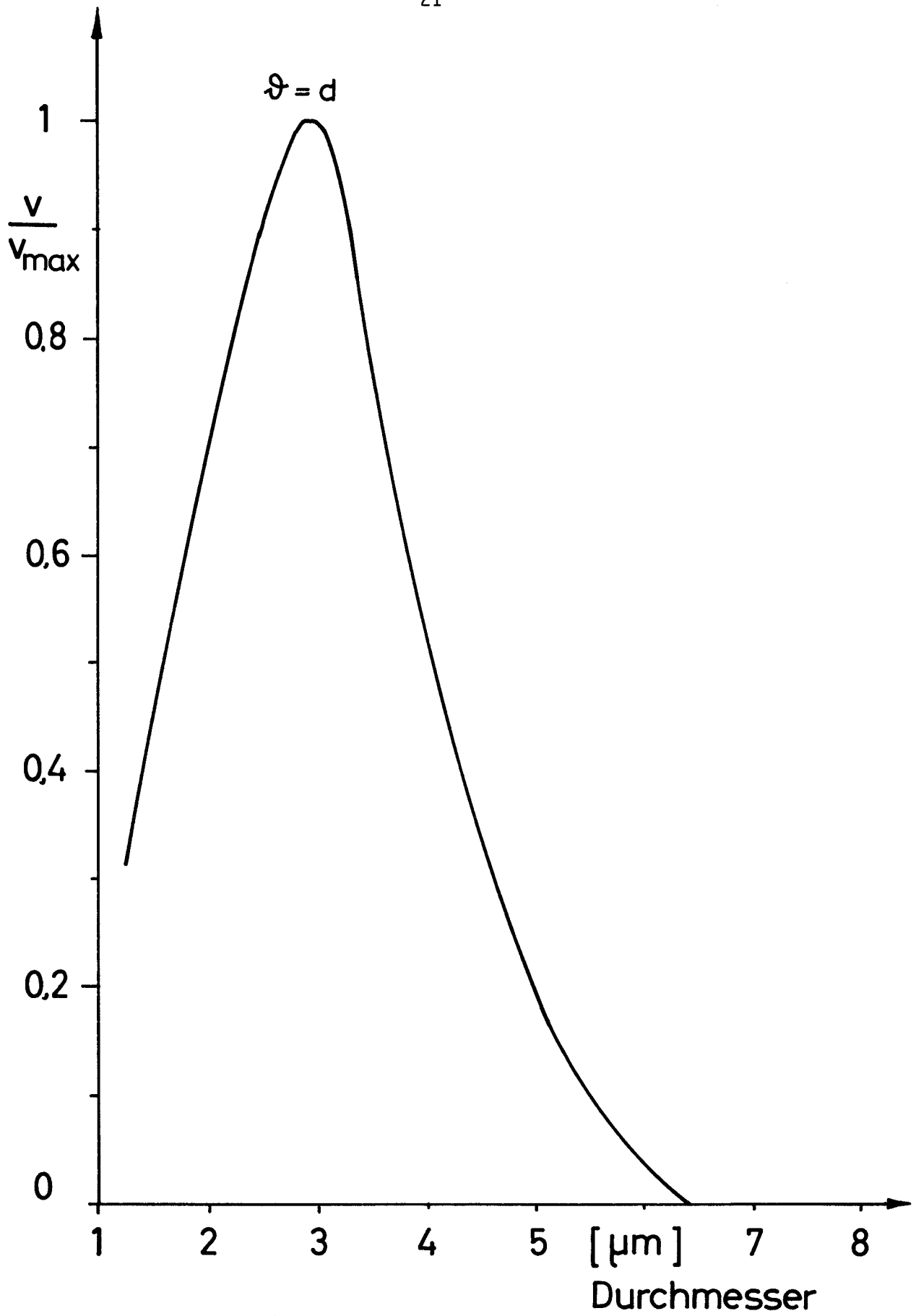


Abb. 6: Schematische Darstellung eines polydispersen Aerosolspektrums (Feldversuch Nr. 18)

Durchmesser von 2,9  $\mu\text{m}$ . Die Konzentration der Kupfersulfatlösung betrug 4 g/100 ml Wasser. Der Abstand der Prallplatte von der Düsenöffnung war auf 0,9 cm eingestellt. Das Royco-Partikelzählsystem mißt nach (Ho 76) Konzentrationen bis zu  $3 \cdot 10^6$  Partikel/Liter mit Durchmessern von 0,5 bis zu etwa 10  $\mu\text{m}$ . Die Zuordnung zwischen Kanallage und Durchmesser ist allerdings zwischen 0,5 und 1,3  $\mu\text{m}$  nicht eindeutig. Deshalb wird in den Abbildungen 6 und 7 dieser Durchmesserbereich nicht berücksichtigt.

In Abb. 7 wird die kumulative Durchmesser-Volumenverteilung des Spektrums diskutiert, indem das Verhältnis

$$H_i = \sum_{j=1}^i \frac{V_j}{V} \quad 1 \leq i \leq 511 \quad (21)$$

$V_j$     Volumen von  $n_j$  Teilchen in Kanal  $j$   
 $V$     Gesamtvolumen aller Teilchen

in Abhängigkeit vom Aerosoldurchmesser auf Wahrscheinlichkeitspapier aufgetragen wird. Wie aus der Darstellung hervorgeht, entspricht die Durchmesser-Volumenverteilung einer Normalverteilung. Bei der Anpassung der Verteilung durch eine Gerade ergibt sich ein Korrelationskoeffizient von 0,996. Der mittlere Durchmesser der Verteilung liegt bei 3,7  $\mu\text{m}$ . Die Standardabweichung  $\sigma$  beträgt 1,0  $\mu\text{m}$ . Dies zeigt, daß das Maximum der Verteilungsfunktion mit 2,9  $\mu\text{m}$  noch im Bereich der Standardabweichung vom Mittelwert der Verteilung liegt, so daß es daher zulässig war, die Bestimmung des repräsentativen Durchmessers der polydispersen Aerosolverteilung auf das Maximum der Verteilung zu beziehen.

Tabelle 2 zeigt, daß mit hinreichender Genauigkeit zwischen aus verschiedenen Lösungen  $C_i$  und  $C_{i-1}$ , aber bei gleichem Prallplattenabstand hergestellten polydispersen Partikelspektren mit dem repräsentativen Durchmesser  $d_i$  und  $d_{i-1}$  die Beziehung gilt:

$$\frac{\frac{3}{\sqrt{C_i}}}{\frac{3}{\sqrt{C_{i-1}}}} = \frac{d_i}{d_{i-1}} \quad (22)$$

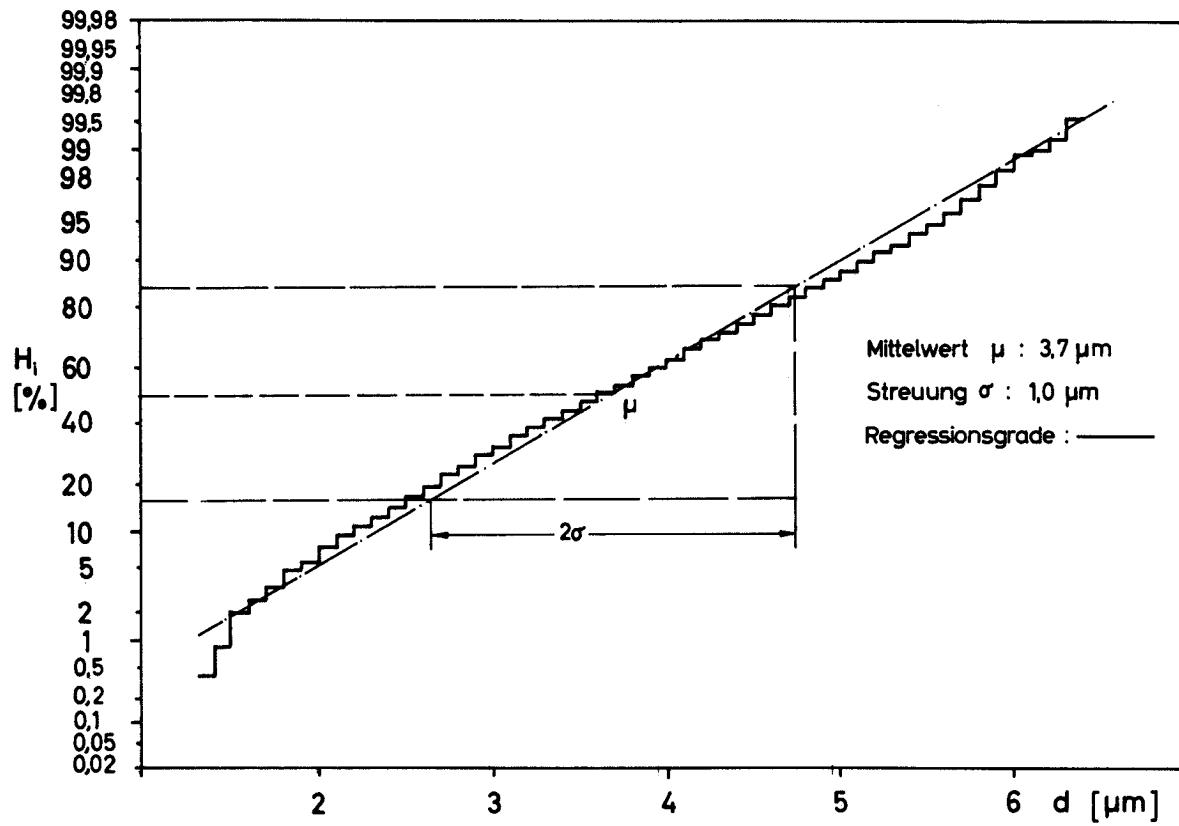


Abb. 7: Durchmesser-Volumenverteilung des polydispersen  
 Aerosolspektrums (Abb. 6)

Tabelle 2: Repräsentativer Durchmesser polydisperser Aerosole in Abhängigkeit von der Konzentration der Kupfersulfatlösung (Prallplattenabstand 2,3 cm)

| i | $C_i$ | $d_i$<br>( $\mu\text{m}$ ) | $\sqrt[3]{\frac{C_i}{C_{i-1}}}$ | $\frac{d_i}{d_{i-1}}$ |
|---|-------|----------------------------|---------------------------------|-----------------------|
| 4 | 16    | 6,1                        | 1,3                             | 1,3                   |
| 3 | 8     | 4,6                        | 1,1                             | 1,1                   |
| 2 | 6,7   | 4,3                        | 1,2                             | 1,2                   |
| 1 | 4     | 3,7                        | -                               | -                     |

Gleichung (22) erlaubt es, aus den gemessenen Aerosolverteilungen den Partikeldurchmesser bei beliebiger Konzentration der Lösung und gleichem Prallplattenabstand zu bestimmen.

Die Verschiebung des Maximums des Partikelvolumens bei abnehmender Konzentration in Richtung kleiner Teilchen zeigt, daß unmittelbar nach der Erzeugung der Lösungsströpfchen der Wassergehalt weitgehend verdampft. Die Resttrocknung von noch nicht vollständig abgedampften Partikeln erfolgt nach (Ho 76) unmittelbar nach der turbulenten Durchmischung mit der Außenluft.

Im Gegensatz zur Änderung der Spektren durch Variation der Lösungskonzentration konnte durch Steuerung der Impaktorwirkung der Prallplatte eine nur verhältnismäßig geringe Zunahme des Durchmessers erreicht werden: Untersuchungen hierzu wurden mit einer Kupfersulfatkonzentration von 6,7 g/100 ml durchgeführt. Bei einem Prallplattenabstand von 0,9 cm betrug der Partikeldurchmesser 3,4  $\mu\text{m}$ , bei einem Abstand von 2,3 cm und bei fehlender Prallplatte wurden 4,3  $\mu\text{m}$  gemessen. Ähnliche Ergebnisse werden in (Ho 76) erzielt.

### 3.4 Durchführung der Freilandversuche

Die Versuche zur Ablagerung sowohl von Jod als auch von Aerosolen wurden auf dem Versuchsfeld am Forsthaus Stetternich durchgeführt. Dieses besteht im wesentlichen aus zwei hufeisenförmigen Flächen, die in Parzellen mit verschiedenen Grassorten (Mischung aus Rotschwingel, Fuchsschwanz- und Weidelgras) und Rotklee unterteilt sind (Hn 76).

Die Aktivierung des Kupfersulfates erfolgte in den Reaktoren FRJ-1 oder FRJ-2. Die Kupfersulfatlösung wurde im Aktivlabor der Zentralabteilung Strahlenschutz zubereitet.

Zur Verwendung für radioaktive Tracerlösungen mußte der Betrieb der Generatoren nach Strahlenschutzaspekten ausgerichtet werden (Ho 76), (Jo 79). Insgesamt wurden 9 Versuche mit dem Berglund-Liu-Generator und 43 Versuche mit dem Zweistoffdüsengenerator durchgeführt. Die Emissionshöhe betrug bei beiden Generatoren 1,7 m.

Die Bestimmung der zeitintegrierten Luftkonzentration erfolgte mit den Probenahmestationen, die auch im Rahmen der Ausbreitungsexperimente zum Einsatz kommen. Eine Gerätebeschreibung wird in (Ho 76) gegeben.

In Abb. 8 ist skizzenhaft ein für die Freilandversuche charakteristischer Versuchsaufbau dargestellt. Die Probenahmestationen wurden annähernd kreisförmig angeordnet, um eine Umlagerung des Generators auch noch während der Versuche zu ermöglichen. Da bei der Definition der Ablagerungsgeschwindigkeit davon ausgegangen wird, daß die Konzentration zwischen Boden und 1 m Höhe homogen ist, wurden die Probenahmestationen in etwa 20 bis 40 m Entfernung vom Generator aufgestellt, wobei die Wahl der Entfernung auch etwas von der Diffusionskategorie abhing (Ho 76). Es wurde Wert darauf gelegt, daß sich die Stationen nicht gegenseitig beeinflussten.

Während der Versuche wurde unmittelbar auf dem Versuchsfeld das Windprofil in 0,5 m, 1 m, 2 m, 5,1 m, 9,5 m und 15,7 m Höhe gemessen, wodurch eine Bestimmung der Schubspannungsgeschwindigkeit nach Gleichung (3) erfolgen konnte. Außerdem wurde bei jedem Versuch vom 700 m vom Versuchsfeld entfernten meteorologischen Turm Windgeschwindigkeit in 30 m, Temperaturgradient, Strahlungsbilanz, Sonnenhöhe, Bewölkungsgrad, Diffusionskategorie sowie relative Feuchte und Windrichtung übernommen. Die relative Feuchte und die Schubspannungsgeschwindigkeit wird in den Tabellen 3a und 3b angegeben. Alle anderen meteorologischen Daten sind in (Ho 76) bzw. (Jo 81) enthalten.

Durch Abschneiden des Grases in einer Höhe von etwa 2 - 4 cm wurde versucht, die Bedingungen zu simulieren, die beim Abweiden der Vegetationsfläche durch Weidetiere entstehen. Die Probenahme der Erdbodenproben beschränkte sich auf eine Tiefe von 1 bis 2 cm. Die Bodenoberflächen wiesen eine ebene Struktur auf.

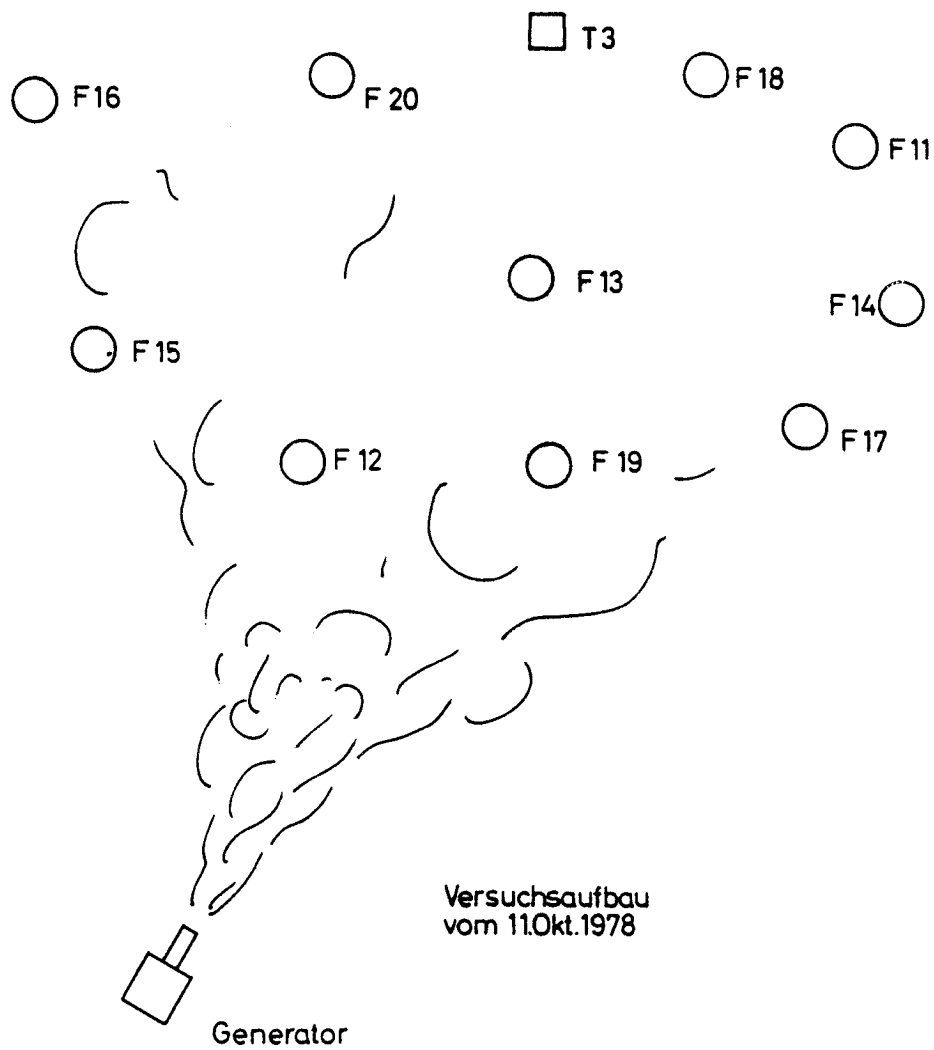


Abb. 8: Versuchsaufbau 11.10.78

Die Auswertung der Luftfilterproben erfolgte mit einem automatischen Low-Level-Meßplatz durch Nachweis der  $\beta$ -Aktivität, während die Vegetations- und Bodenproben mit Hilfe der Systeme Elvira oder ND 600  $\gamma$ -spektrometrisch ausgemessen wurden. Eine Dokumentation der Einzelergebnisse der Ablagerungsgeschwindigkeiten erfolgt in (Ho 76) bzw. (Jo 81). Der vorliegende Bericht beschränkt sich in diesem Zusammenhang auf die Angabe von Mittelwerten, die Gegenstand des nächsten Kapitels sind.

#### 4 ANGABE VON MITTELWERTEN ZU DEN AEROSOLABLAGERUNGSVERSUCHEN

In Tabelle 3a und 3b werden die Einzelergebnisse der Ablagerungsgeschwindigkeiten aus (Ho 76) bzw. (Jo 81) als Mittelwerte zusammengefaßt. Dabei wird für jeden Versuch außer der mittleren Ablagerungsgeschwindigkeit  $v_g$  und der mittleren auf die Trockenmasse normierten Ablagerungsgeschwindigkeit  $v_D$  der Aerosoldurchmesser  $d$ , die relative Feuchte  $F$ , die mittlere Vegetations-trockenmasse  $D$ , das Verhältnis  $v_g/u_*$  und  $v_D/u_*$ , die Anzahl der Proben, die Grenzfläche und das Datum angegeben.

Fehlerangaben sind in (Ho 76) nicht enthalten. Es kann aber davon ausgegangen werden, daß die Fehler zu den Meßgrößen in Tabelle 3a in derselben Größenordnung liegen wie in Tabelle 3b.

Zu der Schubspannungsgeschwindigkeit in Tabelle 3b wird der mittlere relative Fehler, der sich bei der Geradenanpassung ergibt, angegeben. Gewich-tete Mittelwerte und deren relative Fehler werden in Tabelle 3b durch das Symbol "\*" gekennzeichnet. Im übrigen wurden die Meßergebnisse in den Wei-se gemittelt, daß arithmetische Mittelwerte und deren relative Fehler be-stimmt wurden. Ein Zeichen "\*" hinter der Angabe des Partikeldurchmessers in der 2. Spalte der Tabelle bedeutet, daß der Versuch mit monodispersen Partikeln durchgeführt wurde.

Tabelle 3a: Mittelwerte zu den Ablagerungsversuchen (Ho 76)

| $v_g$<br>(cm/s)                  | $d$<br>( $\mu$ m)        | $u_*$<br>(cm/s)              | $F$<br>(%)           | $D$<br>(g/cm <sup>2</sup> ) | $v_D$<br>(cm <sup>3</sup> /gs) | $v_g/u_*$<br>$10^{-3}$    | $v_D/u_*$<br>(cm <sup>2</sup> /g) | Anzahl<br>der<br>Proben | Grenzfläche                                              | Datum                                        | Versuchs-<br>Nr. |
|----------------------------------|--------------------------|------------------------------|----------------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------|
| 0,18<br>0,46<br>0,03             | 3,0<br>3,0<br>3,0        | 43,0<br>43,0<br>43,0         | 46<br>46<br>46       | 0,015<br>0,022<br>-         | 12,0<br>20,9<br>-              | 4,2<br>11,0<br>0,7        | 0,28<br>0,49<br>-                 | 1<br>1<br>44            | Gras<br>Klee<br>künstliche Grenz-<br>flächen             | 15. 1.75<br>15. 1.75<br>15. 1.75             | 1<br>1<br>1      |
| 0,081<br>0,14<br>0,034<br>0,038  | 5,0<br>5,0<br>5,0<br>5,0 | 18,0<br>18,0<br>18,0<br>18,0 | 52<br>52<br>52<br>52 | 0,010<br>0,019<br>-<br>-    | 8,1<br>7,4<br>-<br>-           | 4,5<br>7,8<br>1,9<br>2,1  | 0,45<br>0,41<br>-<br>-            | 4<br>3<br>1<br>21       | Gras<br>Klee<br>Erdboden<br>künstliche Grenz-<br>flächen | 21. 4.75<br>21. 4.75<br>21. 4.75<br>21. 4.75 | 2<br>2<br>2<br>2 |
| 0,082<br>0,038<br>0,030          | 3,8<br>3,8<br>3,8        | 27,2<br>27,2<br>27,2         | 43<br>43<br>43       | 0,026<br>-<br>-             | 3,2<br>-<br>-                  | 3,0<br>1,4<br>1,1         | 0,12<br>-<br>-                    | 7<br>1<br>30            | Gras<br>Erdboden<br>künstliche Grenz-<br>flächen         | 28. 5.75<br>28. 5.75<br>28. 5.75             | 3<br>3<br>3      |
| 0,052<br>0,078<br>0,026<br>0,015 | 3,8<br>3,8<br>3,8<br>3,8 | 26,0<br>26,0<br>26,0<br>26,0 | 47<br>47<br>47<br>47 | 0,015<br>0,012<br>-<br>-    | 3,5<br>6,5<br>-<br>-           | 2,0<br>3,0<br>1,0<br>0,6  | 0,13<br>0,25<br>-<br>-            | 4<br>1<br>2<br>9        | Gras<br>Klee<br>Erdboden<br>künstliche Grenz-<br>flächen | 1. 7.75<br>1. 7.75<br>1. 7.75<br>1. 7.75     | 4<br>4<br>4<br>4 |
| 0,10<br>0,022                    | 3,1<br>3,1               | 33,8<br>33,8                 | 46<br>46             | 0,011<br>-                  | 9,1<br>-                       | 3,0<br>0,7                | 0,27<br>-                         | 3<br>12                 | Gras<br>künstliche Grenz-<br>flächen                     | 1. 7.75<br>1. 7.75                           | 5<br>5           |
| 0,14<br>0,022<br>0,035           | 6,5<br>6,5<br>6,5        | 24,4<br>24,4<br>24,4         | 39<br>39<br>39       | 0,013<br>-<br>-             | 10,8<br>-<br>-                 | 5,7<br>0,9<br>1,4         | 0,44<br>-<br>-                    | 5<br>1<br>35            | Gras<br>Erdboden<br>künstliche Grenz-<br>flächen         | 8. 7.75<br>8. 7.75<br>8. 7.75                | 6<br>6<br>6      |
| 0,040<br>0,22<br>0,012<br>0,010  | 4,0<br>4,0<br>4,0<br>4,0 | 15,0<br>15,0<br>15,0<br>15,0 | 50<br>50<br>50<br>50 | 0,014<br>0,034<br>-<br>-    | 2,9<br>6,5<br>-<br>-           | 2,7<br>14,7<br>0,8<br>0,7 | 0,19<br>0,43<br>-<br>-            | 6<br>2<br>1<br>14       | Gras<br>Klee<br>Erdboden<br>künstliche Grenz-<br>flächen | 22. 7.75<br>22. 7.75<br>22. 7.75<br>22. 7.75 | 7<br>7<br>7<br>7 |
| 0,041<br>0,087<br>0,011<br>0,014 | 3,0<br>3,0<br>3,0<br>3,0 | 11,8<br>11,8<br>11,8<br>11,8 | 62<br>62<br>62<br>62 | 0,022<br>0,041<br>-<br>-    | 1,9<br>2,1<br>-<br>-           | 3,5<br>7,4<br>0,9<br>1,2  | 0,16<br>0,18<br>-<br>-            | 4<br>1<br>1<br>5        | Gras<br>Klee<br>Erdboden<br>künstliche Grenz-<br>flächen | 1.10.75<br>1.10.75<br>1.10.75<br>1.10.75     | 8<br>8<br>8<br>8 |
| 0,060<br>0,048<br>0,019          | 4,0<br>4,0<br>4,0        | 12,1<br>12,1<br>12,1         | 62<br>62<br>62       | 0,021<br>-<br>-             | 2,9<br>-<br>-                  | 5,0<br>3,9<br>1,6         | 0,24<br>-<br>-                    | 4<br>1<br>5             | Gras<br>Erdboden<br>künstliche Grenz-<br>flächen         | 1.10.75<br>1.10.75<br>1.10.75                | 9<br>9<br>9      |
| 0,022<br>0,029<br>0,016          | 3,0<br>3,0<br>3,0        | 7,5<br>7,5<br>7,5            | 90<br>90<br>90       | 0,017<br>-<br>-             | 1,3<br>-<br>-                  | 2,9<br>3,8<br>2,1         | 0,17<br>-<br>-                    | 7<br>1<br>5             | Gras<br>Erdboden<br>künstliche Grenz-<br>flächen         | 21.10.75<br>21.10.75<br>21.10.75             | 10<br>10<br>10   |
| 0,073<br>0,029                   | 4,0<br>4,0               | 12,9<br>12,9                 | 90<br>90             | 0,025<br>-                  | 2,9<br>-                       | 5,7<br>2,2                | 0,23<br>-                         | 3<br>5                  | Gras<br>künstliche Grenz-<br>flächen                     | 21.10.75<br>21.10.75                         | 11<br>11         |

Tabelle 3b: Mittelwerte zu den Ablagerungsversuchen (Jo 81)

| $v_g$<br>(cm/sec)       | d<br>( $\mu$ m) | $u_*$<br>(cm/s)        | F<br>(%) | D<br>(g/cm <sup>2</sup> ) | $v_D$<br>(cm <sup>3</sup> /gs) | $v_g/u_*$<br>10 <sup>-3</sup> | $v_D/u_*$<br>(cm <sup>2</sup> /g) | Anzahl<br>der<br>Proben | Grenzfläche                                           | Datum    | Versuchs-<br>Nr. |
|-------------------------|-----------------|------------------------|----------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------------|----------|------------------|
| 0,049<br>( $\pm 26$ %)  | 4,6             | 14,7<br>( $\pm 12$ %)  | 49       | 0,012<br>( $\pm 4$ %)     | 4,3<br>( $\pm 24$ %)           | 3,3<br>( $\pm 29$ %)          | 0,29<br>( $\pm 26$ %)             | 9                       | Gras                                                  | 12.10.77 | 12               |
| 0,038<br>( $\pm 18$ %)  | 4,6             | 14,7<br>( $\pm 12$ %)  | 49       | -                         | -                              | 2,6<br>( $\pm 22$ %)          | -                                 | 9                       | Metall rauh                                           | 12.10.77 | 12               |
| 0,020                   | 4,6             | 14,7<br>( $\pm 12$ %)  | 49       | -                         | -                              | 1,4                           | -                                 | 2                       | Metall glatt                                          | 12.10.77 | 12               |
| 0,014                   | 4,6             | 14,7<br>( $\pm 12$ %)  | 49       | -                         | -                              | 1,0                           | -                                 | 3                       | Filter                                                | 12.10.77 | 12               |
| 0,030<br>( $\pm 17$ %)  | 4,6             | 14,7<br>( $\pm 12$ %)  | 49       | -                         | -                              | 2,1<br>( $\pm 21$ %)          | -                                 | 14                      | Künstliche Grenz-<br>flächen insges.                  | 12.10.77 | 12               |
| 0,016                   | 4,6             | 14,7<br>( $\pm 12$ %)  | 49       | -                         | -                              | 1,1                           | -                                 | 1                       | Erdboden                                              | 12.10.77 | 12               |
| 0,15<br>( $\pm 17$ %)*  | 3,7             | 19,2<br>( $\pm 7$ %)   | 36       | 0,023<br>( $\pm 7$ %)     | 6,6<br>( $\pm 16$ %)*          | 7,8<br>( $\pm 18$ %)          | 0,35<br>( $\pm 17$ %)             | 10                      | Gras<br>(ca. 40 cm hoch)                              | 18.5.78  | 13               |
| 0,049<br>( $\pm 21$ %)* | 3,4             | 22,9<br>( $\pm 10$ %)* | 37       | 0,006<br>( $\pm 8$ %)     | 8,1<br>( $\pm 21$ %)*          | 2,1<br>( $\pm 24$ %)          | 0,35<br>( $\pm 24$ %)             | 7                       | Gras                                                  | 21. 6.78 | 14               |
| 0,048*                  | 3,4             | 22,9<br>( $\pm 10$ %)  | 37       | 0,008                     | 5,9*                           | 2,1                           | 0,26                              | 3                       | Klee, unregelmä-<br>Big dicht und<br>hoch im Wuchs    | 21. 6.78 | 14               |
| 0,012<br>( $\pm 15$ %)  | 3,2             | 31,8<br>( $\pm 28$ %)  | 50       | 0,008<br>( $\pm 14$ %)    | 1,5<br>( $\pm 10$ %)           | 0,4<br>( $\pm 32$ %)          | 0,05<br>( $\pm 30$ %)             | 10                      | Gras<br>(trocken und naß,<br>unten zum Teil<br>braun) | 26. 7.78 | 15               |
| 0,031                   | 3,2             | 31,8<br>( $\pm 28$ %)  | 50       | -                         | -                              | 1,0                           | -                                 | 2                       | Metall rauh                                           | 26. 7.78 | 15               |
| 0,014                   | 3,2             | 31,8<br>( $\pm 28$ %)  | 50       | -                         | -                              | 0,4                           | -                                 | 2                       | Metall glatt                                          | 26. 7.78 | 15               |
| 0,019                   | 3,2             | 31,8<br>( $\pm 28$ %)  | 50       | -                         | -                              | 0,6                           | -                                 | 2                       | Filter                                                | 26. 7.78 | 15               |
| 0,021<br>( $\pm 18$ %)  | 3,2             | 31,8<br>( $\pm 28$ %)  | 50       | -                         | -                              | 0,7<br>( $\pm 33$ %)          | -                                 | 6                       | Künstliche Grenz-<br>fläche insges.                   | 26. 7.78 | 15               |
| 0,044                   | 3,3             | 28,8<br>( $\pm 8$ %)   | 45       | 0,007                     | 6,5                            | 1,5                           | 0,22                              | 3                       | Gras<br>in Kästen                                     | 15. 8.78 | 16               |
| 0,024<br>( $\pm 6$ %)   | 3,3             | 28,8<br>( $\pm 8$ %)   | 45       | -                         | -                              | 0,8<br>( $\pm 10$ %)          | -                                 | 4                       | Metall,rauh                                           | 15. 8.78 | 16               |
| 0,013<br>( $\pm 5$ %)   | 3,3             | 28,8<br>( $\pm 8$ %)   | 45       | -                         | -                              | 0,5<br>( $\pm 9$ %)           | -                                 | 5                       | Metall,glatt                                          | 15. 8.78 | 16               |
| 0,014<br>( $\pm 10$ %)  | 3,3             | 28,8<br>( $\pm 8$ %)   | 45       | -                         | -                              | 0,5<br>( $\pm 13$ %)          | -                                 | 4                       | Filter                                                | 15. 8.78 | 16               |
| 0,017<br>( $\pm 9$ %)   | 3,3             | 28,8<br>( $\pm 8$ %)   | 45       | -                         | -                              | 0,5<br>( $\pm 12$ %)          | -                                 | 13                      | Künstliche Grenz-<br>flächen,insges.                  | 15. 8.78 | 16               |
| 0,023<br>( $\pm 9$ %)   | 2,0             | 21,4<br>( $\pm 10$ %)  | 58       | 0,023<br>( $\pm 6$ %)     | 1,0<br>( $\pm 12$ %)           | 1,1<br>( $\pm 13$ %)          | 0,05<br>( $\pm 15$ %)             | 7                       | Gras                                                  | 25. 8.78 | 17               |
| 0,039<br>( $\pm 5$ %)   | 2,9             | 22,6<br>( $\pm 8$ %)   | 60       | 0,019<br>( $\pm 6$ %)     | 2,1<br>( $\pm 3$ %)            | 1,7<br>( $\pm 9$ %)           | 0,09<br>( $\pm 9$ %)              | 7                       | Gras<br>(trocken)                                     | 13. 9.78 | 18               |
| 0,052<br>( $\pm 8$ %)   | 2,9             | 22,6<br>( $\pm 8$ %)   | 60       | 0,020<br>( $\pm 11$ %)    | 2,7<br>( $\pm 8$ %)            | 2,3<br>( $\pm 11$ %)          | 0,12<br>( $\pm 11$ %)             | 6                       | Gras, schwach<br>befeuchtet                           | 13. 9.78 | 18               |
| 0,045<br>( $\pm 6$ %)   | 2,9             | 22,6<br>( $\pm 8$ %)   | 60       | 0,019<br>( $\pm 6$ %)     | 2,4<br>( $\pm 6$ %)            | 2,0<br>( $\pm 10$ %)          | 0,11<br>( $\pm 10$ %)             | 13                      | Gras, insgesamt                                       | 13. 9.78 | 18               |
| 0,32<br>( $\pm 21$ %)   | 4,6             | 5,7<br>( $\pm 25$ %)   | 85       | 0,025<br>( $\pm 11$ %)    | 13,5<br>( $\pm 25$ %)          | 56,5<br>( $\pm 33$ %)         | 2,4<br>( $\pm 35$ %)              | 7                       | Gras, feucht<br>nach Regen                            | 26. 9.78 | 19               |
| 0,38<br>( $\pm 21$ %)   | 5,2             | 24,3<br>( $\pm 11$ %)  | 70       | 0,027<br>( $\pm 14$ %)    | 13,7<br>( $\pm 7$ %)           | 15,6<br>( $\pm 24$ %)         | 0,56<br>( $\pm 13$ %)             | 5                       | Gras, trocken                                         | 6.10.78  | 20               |

Tabelle 3b: Mittelwerte zu den Ablagerungsversuchen (Jo 81)  
(Fortsetzung)

| $v_g$<br>(cm/sec)       | d<br>( $\mu$ m) | $u_*$<br>(cm/s)       | F<br>(%) | D<br>(g/cm <sup>2</sup> ) | $v_D$<br>(cm <sup>3</sup> /gs) | $v_g/u_*$<br>10 <sup>-3</sup> | $v_D/u_*$<br>(cm <sup>2</sup> /g) | Anzahl<br>der<br>Proben | Grenzfläche                                                      | Datum    | Versuchs-<br>Nr. |
|-------------------------|-----------------|-----------------------|----------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------|----------|------------------|
| 0,34<br>( $\pm 15$ %)   | 5,2             | 24,3<br>( $\pm 11$ %) | 70       | 0,027<br>( $\pm 5$ %)     | 12,5<br>( $\pm 10$ %)          | 14,1<br>( $\pm 19$ %)         | 0,51<br>( $\pm 15$ %)             | 5                       | Gras befeuchtet                                                  | 6.10.78  | 20               |
| 0,36<br>( $\pm 13$ %)   | 5,2             | 24,3<br>( $\pm 11$ %) | 70       | 0,027<br>( $\pm 7$ %)     | 13,1<br>( $\pm 6$ %)           | 14,9<br>( $\pm 17$ %)         | 0,54<br>( $\pm 13$ %)             | 10                      | Gras insgesamt                                                   | 6.10.78  | 20               |
| 0,025<br>( $\pm 8$ %)   | 2,0             | 21,2<br>( $\pm 16$ %) | 82       | 0,018<br>( $\pm 8$ %)     | 1,4<br>( $\pm 8$ %)            | 1,2<br>( $\pm 18$ %)          | 0,07<br>( $\pm 18$ %)             | 11                      | Gras, feucht bei<br>Tau                                          | 11.10.78 | 21               |
| 0,078*                  | 3,1             | 23,6<br>( $\pm 8$ %)  | 73       | 0,004                     | 18,9*                          | 3,3                           | 0,80                              | 3                       | frisches Gras,<br>leicht feucht in<br>Kästen                     | 6.11.78  | 22               |
| 0,056<br>( $\pm 11$ %)* | 3,1             | 23,6<br>( $\pm 8$ %)  | 73       | 0,021<br>( $\pm 11$ %)    | 2,7<br>( $\pm 11$ %)*          | 2,4<br>( $\pm 14$ %)          | 0,11<br>( $\pm 14$ %)             | 7                       | Gras, leicht braun                                               | 6.11.78  | 22               |
| 0,054*                  | 3,1             | 23,6<br>( $\pm 8$ %)  | 73       | 0,019<br>( $\pm 21$ %)    | 2,6*                           | 2,3                           | 0,11                              | 3                       | Gras, leicht braun<br>befeuchtet                                 | 6.11.78  | 22               |
| 0,055<br>( $\pm 9$ %)*  | 3,1             | 23,6<br>( $\pm 8$ %)  | 73       | 0,021<br>( $\pm 10$ %)    | 2,6<br>( $\pm 8$ %)*           | 2,4<br>( $\pm 12$ %)          | 0,11<br>( $\pm 11$ %)             | 10                      | Gras insgesamt,<br>leicht braun,<br>leicht braun +<br>befeuchtet | 6.11.78  | 22               |
| 0,023<br>( $\pm 7$ %)   | 2,0             | 12,9<br>( $\pm 16$ %) | 54       | 0,012<br>( $\pm 5$ %)     | 1,9<br>( $\pm 7$ %)            | 1,7<br>( $\pm 18$ %)          | 0,15<br>( $\pm 18$ %)             | 10                      | Klee                                                             | 10. 5.79 | 23               |
| 0,041<br>( $\pm 8$ %)*  | 3,1             | 26,0<br>( $\pm 8$ %)  | 33       | 0,014<br>( $\pm 11$ %)    | 3,0<br>( $\pm 7$ %)*           | 1,6<br>( $\pm 11$ %)          | 0,12<br>( $\pm 10$ %)             | 7                       | Gras                                                             | 16. 5.79 | 24               |
| 0,081<br>( $\pm 8$ %)   | 3,1             | 26,0 $\pm 8$ %        | 33       | 0,016<br>( $\pm 3$ %)     | 5,1<br>( $\pm 8$ %)            | 3,1<br>( $\pm 11$ %)          | 0,20<br>( $\pm 11$ %)             | 4                       | Klee<br>(Rotklee)                                                | 16. 5.79 | 24               |
| 0,035                   | 3,1             | 26,0 $\pm 8$ %        | 33       | 0,012                     | 2,9                            | 1,3                           | 0,11                              | 1                       | Weißklee                                                         | 16. 5.79 | 24               |
| 0,034<br>( $\pm 10$ %)* | 3,3             | 17,7<br>( $\pm 10$ %) | 45       | 0,017<br>( $\pm 10$ %)    | 2,0<br>( $\pm 8$ %)*           | 1,9<br>( $\pm 14$ %)          | 0,11<br>( $\pm 13$ %)             | 9                       | Gras                                                             | 29. 5.79 | 25               |
| 0,043<br>( $\pm 9$ %)   | 3,3             | 17,7<br>( $\pm 10$ %) | 45       | 0,018<br>( $\pm 6$ %)     | 2,4<br>( $\pm 10$ %)           | 2,4<br>( $\pm 13$ %)          | 0,14<br>( $\pm 14$ %)             | 10                      | Klee                                                             | 29. 5.79 | 25               |
| 0,011<br>( $\pm 13$ %)* | 1,4             | 20,6<br>( $\pm 11$ %) | 59       | 0,009<br>( $\pm 8$ %)     | 1,2<br>( $\pm 13$ %)*          | 0,5<br>( $\pm 17$ %)          | 0,06<br>( $\pm 17$ %)             | 8                       | Gras                                                             | 19. 6.79 | 26               |
| 0,011<br>( $\pm 11$ %)* | 1,1             | 28,3<br>( $\pm 4$ %)  | 65       | 0,020<br>( $\pm 12$ %)    | 0,6<br>( $\pm 13$ %)*          | 0,4<br>( $\pm 12$ %)          | 0,02<br>( $\pm 14$ %)             | 8                       | Gras                                                             | 25. 7.79 | 27               |
| 0,036<br>( $\pm 13$ %)  | 3,3             | 39,9<br>( $\pm 4$ %)  | 67       | 0,006<br>( $\pm 15$ %)    | 6,6<br>( $\pm 6$ %)            | 0,9<br>( $\pm 13$ %)          | 0,17<br>( $\pm 7$ %)              | 7                       | Gras                                                             | 21. 8.79 | 28               |
| 0,13<br>( $\pm 21$ %)   | 3,3             | 39,9<br>( $\pm 4$ %)  | 67       | 0,010<br>( $\pm 8$ %)     | 12,0<br>( $\pm 17$ %)          | 3,2<br>( $\pm 21$ %)          | 0,30<br>( $\pm 18$ %)             | 5                       | Gras in Kästen                                                   | 21. 8.79 | 28               |
| 0,013<br>( $\pm 8$ %)   | 0,8             | 21,7<br>( $\pm 1$ %)  | 46       | 0,011<br>( $\pm 10$ %)    | 1,2<br>( $\pm 3$ %)            | 0,6<br>( $\pm 8$ %)           | 0,05<br>( $\pm 3$ %)              | 7                       | Gras                                                             | 6. 9.79  | 29               |
| 0,029<br>( $\pm 31$ %)* | 1,1             | 20,6<br>( $\pm 10$ %) | 71       | 0,014<br>( $\pm 14$ %)    | 1,9<br>( $\pm 28$ %)*          | 1,4<br>( $\pm 32$ %)          | 0,09<br>( $\pm 30$ %)             | 9                       | Klee                                                             | 13. 9.79 | 30               |
| 0,040<br>( $\pm 10$ %)* | 3,1             | 30,4<br>( $\pm 8$ %)  | 71       | 0,016<br>( $\pm 14$ %)    | 3,0<br>( $\pm 12$ %)*          | 1,3<br>( $\pm 13$ %)          | 0,10<br>( $\pm 14$ %)             | 10                      | Gras                                                             | 20. 9.79 | 31               |
| 0,018<br>( $\pm 9$ %)   | 3,1             | 19,7<br>( $\pm 15$ %) | 47       | 0,012<br>( $\pm 7$ %)     | 1,5<br>( $\pm 12$ %)           | 0,9<br>( $\pm 17$ %)          | 0,08<br>( $\pm 19$ %)             | 8                       | Gras                                                             | 1.10.79  | 32               |
| 0,037<br>( $\pm 16$ %)  | 3,1             | 19,7<br>( $\pm 15$ %) | 47       | 0,024<br>( $\pm 13$ %)    | 1,5<br>( $\pm 6$ %)            | 1,9<br>( $\pm 22$ %)          | 0,08<br>( $\pm 16$ %)             | 6                       | Klee                                                             | 1.10.79  | 32               |
| 0,013<br>( $\pm 8$ %)   | 3,1             | 13,3<br>( $\pm 4$ %)  | 60       | 0,011<br>( $\pm 10$ %)    | 1,2<br>( $\pm 6$ %)            | 1,0<br>( $\pm 8$ %)           | 0,09<br>( $\pm 7$ %)              | 10                      | Gras                                                             | 4.10.79  | 33               |
| 0,040<br>( $\pm 9$ %)   | 3,1             | 13,3<br>( $\pm 4$ %)  | 60       | 0,014<br>( $\pm 12$ %)    | 2,9<br>( $\pm 9$ %)            | 3,0<br>( $\pm 9$ %)           | 0,22<br>( $\pm 9$ %)              | 4                       | Gras in Kästen                                                   | 4.10.79  | 33               |

Tabelle 3b: Mittelwerte zu den Ablagerungsversuchen (Jo 81)  
(Fortsetzung)

| $v_g$<br>(cm/sec)      | d<br>( $\mu$ m) | $u_*$<br>(cm/s)       | F<br>(%) | D<br>(g/cm <sup>2</sup> ) | $v_D$<br>(cm <sup>3</sup> /gs) | $v_g/u_*$<br>10 <sup>-3</sup> | $v_D/u_*$<br>(cm <sup>2</sup> /g) | Anzahl<br>der<br>Proben | Grenzfläche       | Datum    | Versuchs-<br>Nr. |
|------------------------|-----------------|-----------------------|----------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------|----------|------------------|
| 0,017<br>( $\pm 7$ %)* | 3,1             | 21,5<br>( $\pm 8$ %)  | 52       | 0,008<br>( $\pm 5$ %)     | 2,2<br>( $\pm 8$ %)*           | 0,8<br>( $\pm 11$ %)          | 0,10<br>( $\pm 11$ %)             | 6                       | Gras              | 10.10.79 | 34               |
| 0,009                  | 3,1             | 21,5<br>( $\pm 8$ %)  | 52       | -                         | -                              | 0,4                           | -                                 | 2                       | Erdboden          | 10.10.79 | 34               |
| 0,029<br>( $\pm 6$ %)  | 3,1             | 32,6<br>( $\pm 13$ %) | 34       | 0,007<br>( $\pm 9$ %)     | 4,4<br>( $\pm 10$ %)           | 0,9<br>( $\pm 14$ %)          | 0,14<br>( $\pm 16$ %)             | 6                       | Gras              | 26.10.79 | 35               |
| 0,18<br>( $\pm 12$ %)  | 3,1             | 32,6<br>( $\pm 13$ %) | 34       | 0,012<br>( $\pm 6$ %)     | 15,4<br>( $\pm 18$ %)          | 5,6<br>( $\pm 18$ %)          | 0,47<br>( $\pm 22$ %)             | 4                       | Gras in Kästen    | 26.10.79 | 35               |
| 2,16                   | 8,9**           | 21,8<br>( $\pm 9$ %)  | 73       | 0,008                     | 264,2                          | 99,1                          | 12,12                             | 3                       | Gras              | 14.11.79 | 36               |
| 3,86<br>( $\pm 17$ %)  | 8,9**           | 21,8<br>( $\pm 9$ %)  | 73       | 0,012<br>( $\pm 11$ %)    | 1149,6<br>( $\pm 13$ %)        | 635,8<br>( $\pm 19$ %)        | 52,73<br>( $\pm 16$ %)            | 6                       | Gras in Kästen    | 14.11.79 | 36               |
| 1,09<br>( $\pm 16$ %)  | 7,1**           | 18,1<br>( $\pm 15$ %) | 52       | 0,006<br>( $\pm 15$ %)    | 195,2<br>( $\pm 9$ %)          | 60,2<br>( $\pm 22$ %)         | 10,78<br>( $\pm 18$ %)            | 9                       | Gras              | 22. 4.80 | 37               |
| 0,024<br>( $\pm 11$ %) | 0,4             | 56,7<br>( $\pm 9$ %)  | 37       | 0,016<br>( $\pm 19$ %)    | 1,9<br>( $\pm 18$ %)           | 0,4<br>( $\pm 14$ %)          | 0,03<br>( $\pm 20$ %)             | 10                      | Gras              | 13. 5.80 | 38               |
| 0,087<br>( $\pm 10$ %) | 0,4             | 56,7<br>( $\pm 9$ %)  | 37       | 0,013<br>( $\pm 37$ %)    | 9,5<br>( $\pm 21$ %)           | 1,5<br>( $\pm 13$ %)          | 0,17<br>( $\pm 23$ %)             | 5                       | Gras in Kästen    | 13. 5.80 | 38               |
| 0,042<br>( $\pm 7$ %)  | 3,1             | 24,4<br>( $\pm 7$ %)  | 42       | 0,012<br>( $\pm 8$ %)     | 3,8<br>( $\pm 10$ %)           | 1,7<br>( $\pm 10$ %)          | 0,16<br>( $\pm 12$ %)             | 9                       | Gras              | 20. 5.80 | 39               |
| 0,025<br>( $\pm 9$ %)  | 3,1             | 12,7<br>( $\pm 15$ %) | 38       | 0,016<br>( $\pm 9$ %)     | 1,6<br>( $\pm 9$ %)            | 2,0<br>( $\pm 17$ %)          | 0,12<br>( $\pm 17$ %)             | 10                      | Gras              | 6. 6.80  | 40               |
| 8,12<br>( $\pm 12$ %)* | 14,4**          | 32,9<br>( $\pm 10$ %) | 65       | 0,015<br>( $\pm 7$ %)     | 483,6<br>( $\pm 12$ %)         | 246,8<br>( $\pm 15$ %)        | 14,70<br>( $\pm 15$ %)            | 10                      | Gras              | 29. 7.80 | 41               |
| 0,035<br>( $\pm 14$ %) | 3,1             | 34,6<br>( $\pm 3$ %)  | 64       | 0,011<br>( $\pm 11$ %)    | 3,2<br>( $\pm 11$ %)           | 1,0<br>( $\pm 14$ %)          | 0,09<br>( $\pm 11$ %)             | 7                       | Gras              | 5. 8.80  | 42               |
| 4,52<br>( $\pm 23$ %)  | 17,1**          | 20,8<br>( $\pm 28$ %) | 53       | 0,012<br>( $\pm 21$ %)    | 375,5<br>( $\pm 15$ %)         | 217,3<br>( $\pm 34$ %)        | 18,05<br>( $\pm 28$ %)            | 10                      | Gras              | 15. 8.80 | 43               |
| 0,39<br>( $\pm 16$ %)  | 4,3             | 23,5<br>( $\pm 11$ %) | 48       | 0,023<br>( $\pm 16$ %)    | 18,6<br>( $\pm 10$ %)          | 16,6<br>( $\pm 19$ %)         | 0,79<br>( $\pm 14$ %)             | 9                       | Gras              | 26. 8.80 | 44               |
| 0,25<br>( $\pm 18$ %)  | 3,7**           | 21,2<br>( $\pm 6$ %)  | 65       | 0,013<br>( $\pm 9$ %)     | 18,9<br>( $\pm 14$ %)          | 11,6<br>( $\pm 18$ %)         | 0,89<br>( $\pm 15$ %)             | 9                       | Gras              | 29. 8.80 | 45               |
| 0,36<br>( $\pm 16$ %)  | 4,3             | 27,7<br>( $\pm 5$ %)  | 46       | 0,015<br>( $\pm 11$ %)    | 24,1<br>( $\pm 8$ %)           | 13,1<br>( $\pm 16$ %)         | 0,87<br>( $\pm 9$ %)              | 8                       | Gras              | 8. 9.80  | 46               |
| 0,43<br>( $\pm 22$ %)  | 5,4**           | 27<br>( $\pm 3$ %)    | 69       | 0,009<br>( $\pm 13$ %)    | 49,4<br>( $\pm 21$ %)          | 15,9<br>( $\pm 22$ %)         | 1,83<br>( $\pm 21$ %)             | 8                       | trockenes Gras    | 15. 9.80 | 47               |
| 0,39<br>( $\pm 15$ %)  | 5,4**           | 27<br>( $\pm 3$ %)    | 69       | 0,012<br>( $\pm 17$ %)    | 34,9<br>( $\pm 22$ %)          | 14,3<br>( $\pm 15$ %)         | 1,29<br>( $\pm 22$ %)             | 5                       | feuchtes Gras     | 15. 9.80 | 47               |
| 0,41<br>( $\pm 14$ %)  | 5,4**           | 27<br>( $\pm 3$ %)    | 69       | 0,010<br>( $\pm 11$ %)    | 44,6<br>( $\pm 16$ %)          | 15,4<br>( $\pm 14$ %)         | 1,65<br>( $\pm 16$ %)             | 13                      | Gras<br>insgesamt | 15. 9.80 | 47               |
| 0,17<br>( $\pm 11$ %)  | 5,2             | 13,6<br>( $\pm 17$ %) | 48       | 0,013<br>( $\pm 7$ %)     | 12,9<br>( $\pm 11$ %)          | 12,3<br>( $\pm 21$ %)         | 0,95<br>( $\pm 20$ %)             | 9                       | Gras              | 1.10.80  | 48               |
| 6,31<br>( $\pm 35$ %)* | 16,8**          | 22,1<br>( $\pm 14$ %) | 73       | 0,022<br>( $\pm 21$ %)    | 347,4<br>( $\pm 24$ %)*        | 285,5<br>( $\pm 37$ %)        | 15,72<br>( $\pm 28$ %)            | 9                       | Gras              | 16.10.80 | 49               |
| 0,034<br>( $\pm 27$ %) | 1,4             | 18,8<br>( $\pm 9$ %)  | 45       | 0,022<br>( $\pm 17$ %)    | 1,53<br>( $\pm 17$ %)          | 1,8<br>( $\pm 28$ %)          | 0,08<br>( $\pm 19$ %)             | 9                       | Gras              | 22.10.80 | 50               |
| 3,58*                  | 7,1**           | 22,9<br>( $\pm 9$ %)  | 86       | 0,016                     | 259,6*                         | 156,4                         | 11,34                             | 3                       | Gras              | 11.11.80 | 51               |
| 0,76<br>( $\pm 13$ %)  | 5,7**           | 19,3<br>( $\pm 7$ %)  | 73       | 0,013<br>( $\pm 13$ %)    | 61,7<br>( $\pm 18$ %)          | 39,4<br>( $\pm 15$ %)         | 3,20<br>( $\pm 19$ %)             | 7                       | Gras              | 24.11.80 | 52               |

## 5 AUFSTELLUNG EINER MATHEMATISCHEN BEZIEHUNG ZWISCHEN ABLAGERUNGSGESCHWINDIGKEIT, SCHUBSPANNUNGSGESCHWINDIGKEIT, TROCKENMASSE UND PARTIKELDURCHMESSER

Im folgenden sollen die Meßwerte der Jülicher Ablagerungsgeschwindigkeit auf Gras durch eine Gleichung angepaßt werden, in der die in der Literatur (Kap. 1) wesentlichen Bezugsparameter, Schubspannungsgeschwindigkeit, Trockenmasse und Partikeldurchmesser enthalten sind.

Berücksichtigt man die Trockenmasse und nimmt nach (Hn 80) an, daß  $v_g \sim D^V$ ,  $v \approx 1$  (Kapitel 1) ist, so kann mit Hilfe von Tabelle 3b festgestellt werden, daß bei 4 Parallelmessungen der Ablagerungsgeschwindigkeit auf feuchter und trockener Grasoberfläche die auf die Trockenmasse normierten Ablagerungsgeschwindigkeiten gleich waren. Da auch in der Literatur (Ch 66), (Cl 75) keinsignifikanten Unterschiede zwischen der Ablagerungsgeschwindigkeit auf trockener und feuchter Vegetationsoberfläche zu verzeichnen sind (siehe Kapitel 9), werden im folgenden Ablagerungsgeschwindigkeiten auf feuchtem und auf trockenem Gras gemeinsam angepaßt.

Vergleicht man die auf die Trockenmasse normierten Ablagerungsgeschwindigkeiten  $v_D$  für freiwachsendes Gras und Graskulturen in Kästen (Tabelle 3b), so ergibt sich bei 6 Parallelmessungen, daß im Durchschnitt die Ablagerungsgeschwindigkeit auf Graskulturen in Kästen um einen Faktor 4 höher ist als auf natürlichem Gras.

Aus Tabelle 4 geht hervor, daß die unterschiedlichen Ablagerungsgeschwindigkeiten  $v_D$  zum Teil in Zusammenhang mit Schwankungen des Verhältnisses Frischgewicht/Trockengewicht gebracht werden können. Korreliert man die Verhältnisse Frischgewicht/Trockengewicht, die sich für die 14 Grasproben (natürliches Gras, Gras in Kästen) aus Versuch 38 ergeben, mit den entsprechenden auf die Trockenmasse normierten Ablagerungsgeschwindigkeiten (Abb. 9), so beträgt der Korrelationskoeffizient sogar 0,93.

Unterschiede des Verhältnisses Frischgewicht/Trockengewicht beruhen auf Schwankungen des Wassergehaltes der Pflanzen. Als Ursache können hierfür z.B. meteorologische und jahreszeitliche Einflüsse oder das Alter der Pflanzen

Tabelle 4: Unterschied von Frisch- und Trockengewicht bei natürlichem Gras und Gras in Kästen (Mittelwerte)

| Datum    | A    | B    | C    | $v_D$ Gras | $v_D$ Gras in Kästen | $\frac{v_D \text{ Gras}}{v_D \text{ Gras in Kästen}}$ |
|----------|------|------|------|------------|----------------------|-------------------------------------------------------|
| 21. 8.79 | 3,69 | 8,75 | 2,37 | 6,6        | 12,0                 | 1,82                                                  |
| 4.10.79  | 3,44 | 5,91 | 1,72 | 1,2        | 2,9                  | 2,42                                                  |
| 26.10.79 | 2,70 | 7,01 | 2,59 | 4,4        | 15,4                 | 3,50                                                  |
| 14.11.79 | 3,22 | 6,69 | 2,08 | 264,2      | 1149,6               | 4,35                                                  |
| 13. 5.80 | 2,72 | 6,14 | 2,26 | 1,9        | 9,5                  | 5,00                                                  |

Bemerkungen:

Zu Versuch 22 (6.11.78) lag eine Bestimmung des Frischgewichtes nicht vor.

$$A = \frac{\text{Frischgewicht}}{\text{Trockengewicht}} \text{ (Gras)}$$

$$B = \frac{\text{Frischgewicht}}{\text{Trockengewicht}} \text{ (Gras in Kästen)}$$

$$C = \frac{A}{B}$$

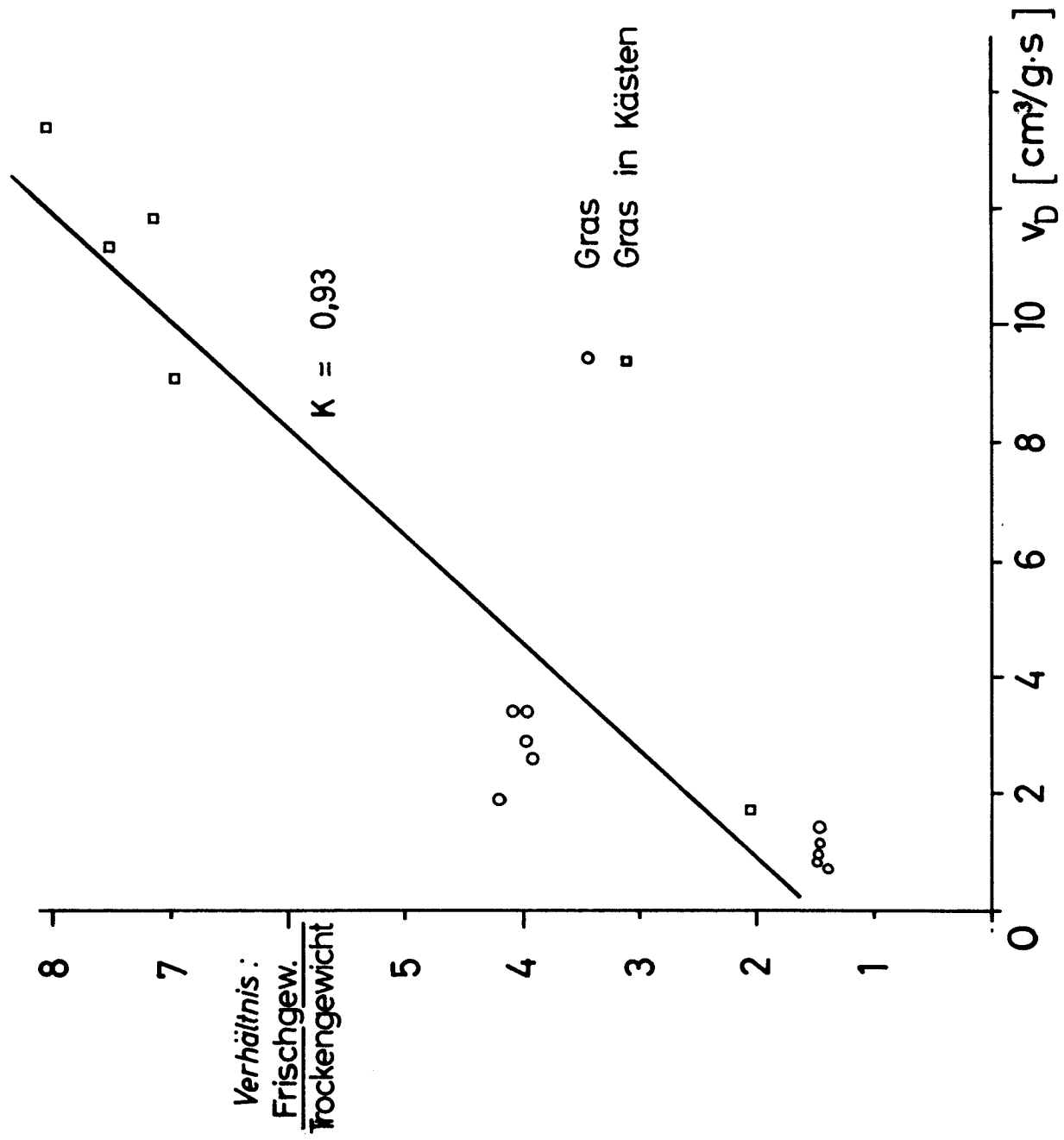


Abb. 9: Verhältnis Frischgewicht zu Trockengewicht in Abhängigkeit von der auf die Trockenmasse normierten Ablagerungsgeschwindigkeit (Versuch 38)

genannt werden. Die Erhöhung der Ablagerungsgeschwindigkeit auf Graskulturen in Kästen gegenüber natürlichem Gras kann auch auf Randeffekten beruhen. Auch Owers und Powell (Ow 74), die die Ablagerungsgeschwindigkeit von  $\text{SO}_2$  auf Wasser in Behältern untersuchen, ziehen in Betracht, daß ihre Meßwerte aufgrund von lokalen Turbulenzen, die um die Behälter herum entstehen, zu hoch sein können.

Da im einzelnen nicht geklärt werden kann, inwieweit unterschiedlicher Wassergehalt in den Pflanzen und Randeffekte die Ablagerungsgeschwindigkeit auf den Graskulturen in Kästen beeinflußt haben, sollen im folgenden nur die Ablagerungsgeschwindigkeiten auf natürlichen, für radioökologische Fragestellungen repräsentativen Vegetationsoberflächen (natürliches Gras, Klee) angepaßt werden.

Für den funktionalen Zusammenhang zwischen  $v_g$  und den Einflußgrößen  $u_*$ ,  $d$  und  $D$  können aus den Ausführungen in Kapitel 1 und 2 folgende Annahmen abgeleitet werden:

$$1. \quad v_g \sim u_* \quad (23)$$

$$2. \quad v_g \sim D^v \quad (24)$$

$$3. \quad v_g = f(d) \quad (25)$$

Für  $v$  ergab sich bei den Jodablagerungsversuchen (Zi 68), (Hn 80) ein Wert von 0,89 bzw. 0,90, was für Aerosole zu überprüfen ist.

Da der Koeffizient  $v$  in Gleichung (24) nach (Zi 68), (Hn 80) mit  $v = 0,89$  bzw.  $v = 0,90$  nahe bei 1 liegt, kann mit Annahme 1 und 2 für jeden Versuch der Mittelwert des Verhältnisses  $v_D/u_*$  gebildet werden und diese Größe in Abhängigkeit vom Partikeldurchmesser doppelt-logarithmisch aufgetragen werden (Abb. 10). Aus der Darstellung geht hervor, daß sich die Mittelwerte der auf die Schubspannungsgeschwindigkeit und die Trockenmasse normierten Ablagerungsgeschwindigkeiten  $v_D/u_*$  von polydispersen und monodispersen Aerosolen, soweit eine Überlappung der Durchmesserintervalle vorkommt, nicht signifikant unterscheiden. Dies erlaubt es, auch eine einheitliche Anpassung der Ablagerungsgeschwindigkeit von polydispersen und monodispersen Aerosolen vorzunehmen.

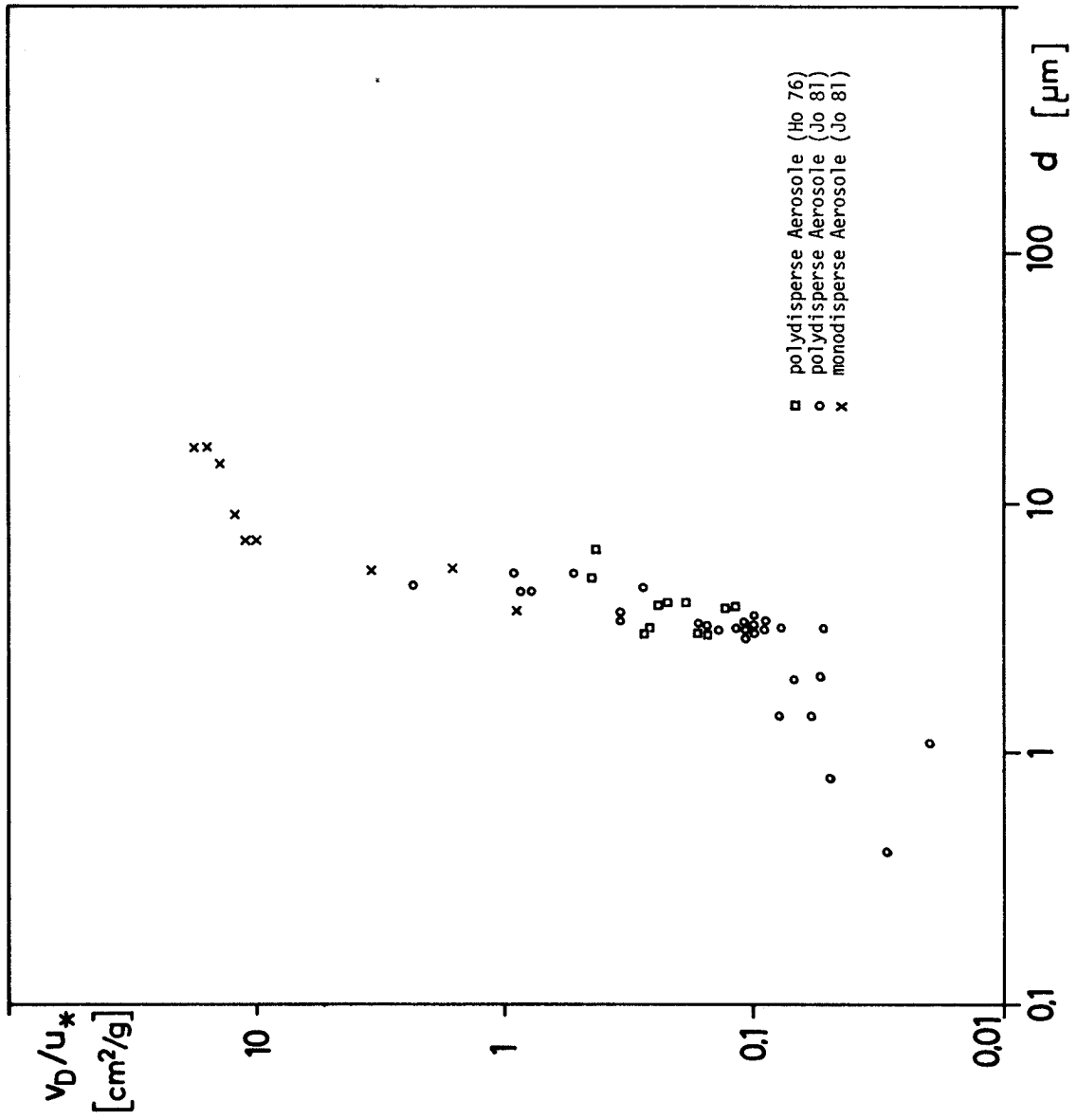


Abb. 10: Auf die Schubspannungsgeschwindigkeit und die Trockenmasse normierte Ablagerungsgeschwindigkeit auf Gras in Abhängigkeit vom Partikeldurchmesser

Betrachtet man Abb. 11, die Umkehrabbildung zu Abb. 10, so deutet sich an, daß die Abhängigkeit des Partikeldurchmessers von der auf die Schubspannungsgeschwindigkeit und die Trockenmasse normierten Ablagerungsgeschwindigkeit durch ein Polynom 3. Grades in der Form

$$\log d = \alpha_3 \left( \log \left( \frac{v_g}{u_* D} \right) \right)^3 + \alpha_2 \left( \log \left( \frac{v_g}{u_* D} \right) \right)^2 + \alpha_1 \left( \log \left( \frac{v_g}{u_* D} \right) \right) + \alpha_0 \quad (26)$$

beschrieben werden kann. ( $\alpha_3, \alpha_2, \alpha_1, \alpha_0$  sind die Koeffizienten des Polynoms.)

Berücksichtigt man Annahme 2, so lautet der Ansatz

$$\log d = a_3 \left( \log \left( \frac{v_g}{u_* D^v} \right) \right)^3 + a_2 \left( \log \left( \frac{v_g}{u_* D^v} \right) \right)^2 + a_1 \left( \log \left( \frac{v_g}{u_* D^v} \right) \right) + a_0 \quad (27)$$

Paßt man alle Einzelwerte der Jülicher Ablagerungsversuche (Ho 76), (Jo 81) auf Gras durch diese Funktion an, so ergibt sich für die Koeffizienten

$$\begin{aligned} a_3 &= 0,11 \\ a_2 &= 0,13 \\ a_1 &= 0,22 \\ a_0 &= 0,77 \\ v &= 0,80 \end{aligned}$$

Nach Einführung des aerodynamischen Durchmessers (Da 71)

$$d_{ae} = d \sqrt{\frac{\rho_p c}{\rho_0 c_0}} \quad (28)$$

$$\begin{aligned} \rho_p & \text{ Dichte des Partikels} \\ d & \text{ geometrischer Durchmesser} \\ c & \text{ Cunninghamsche Konstante} \\ c &= c_0 + 0,16/d \\ c_0 &= 1 \mu\text{m}^{-1} \\ \rho_0 &= 1 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

folgt aus Gleichung (27)

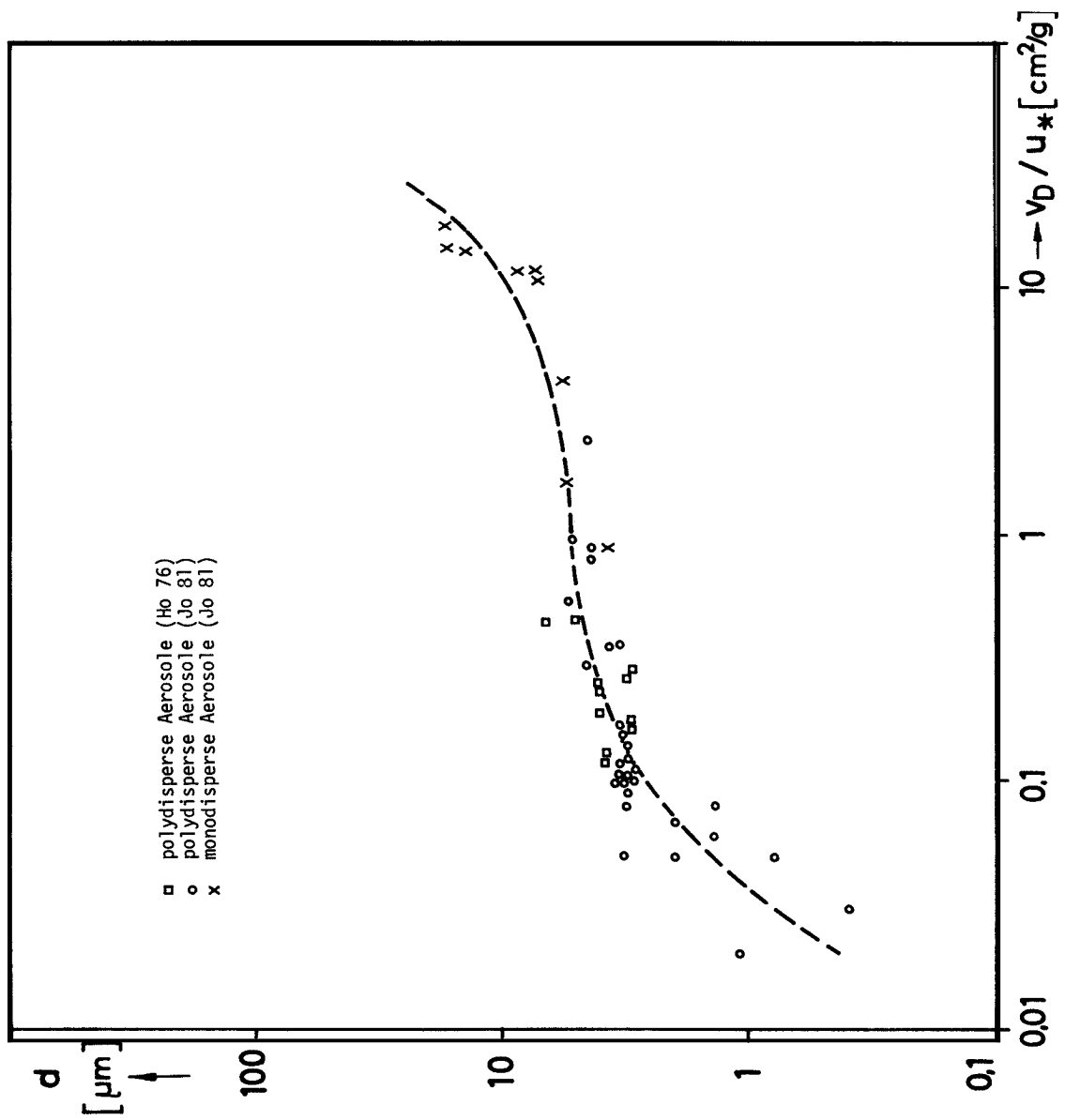


Abb. 11: Auf die Schubspannungsgeschwindigkeit und die Trockenmasse normierte Ablagerungsgeschwindigkeit und Partikeldurchmesser (Umkehrabbildung zu Abb. 10)

$$\log d_{ae} = 0,11 \left( \log \left( \frac{v_g}{u_* D^{0,8}} \right) \right)^3 + 0,13 \left( \log \left( \frac{v_g}{u_* D^{0,8}} \right) \right)^2 + 0,22 \log \left( \frac{v_g}{u_* D^{0,8}} \right) + 0,77 + \frac{1}{2} (\log \rho_p + \log c) \quad (29)$$

$$[d] = \mu\text{m}$$

$$[v_g] = \text{cm/s}$$

$$[u_*] = \text{cm/s}$$

$$[D] = \text{g/cm}^2$$

$$[\rho_p] = \text{g/cm}^3$$

$$[c] = \mu\text{m}^{-1}$$

In Abb. 12 werden die Meßwerte mit der nach Gleichung (27) bestimmten Ausgleichskurve verglichen. Aus der Abbildung kann man den funktionalen Zusammenhang zwischen der Ablagerungsgeschwindigkeit und dem Eingangsparameter  $d$  ablesen. Der Verlauf der Funktion wird nur für Partikel mit einem Durchmesser von mindestens  $1 \mu\text{m}$  angegeben, für kleinere Partikeldurchmesser liefert die Ausgleichskurve gegenüber den Meßdaten zu niedrige Werte.

Da die Partikeldurchmesser bei den Experimenten zu groß waren, als daß eine Zunahme der Ablagerungsgeschwindigkeit durch Diffusion zu kleinen Teilchen hin festgestellt werden konnte, zeigt die Anpassung das bei  $0,1 \dots 1 \mu\text{m}$  zu erwartende Minimum (Se 71), (Ah 79) nicht. Die Zunahme der Funktion  $\log (v_g/u_* D^V) = f(\log d)$  ist nach Abb. 12 am stärksten in dem durch Turbulenzablagerung gekennzeichneten Durchmesserbereich zwischen  $4$  und  $6 \mu\text{m}$ , in dem die Meßwerte auch durch eine besonders große Streubreite gekennzeichnet sind. Bei etwa  $6 \mu\text{m}$  läßt der Anstieg der Ausgleichskurve nach. Bei großen Teilchen wird die Ablagerung überwiegend durch Sedimentation bestimmt (Kap. 2). Eine Korrelation zwischen der Ablagerungsgeschwindigkeit und der relativen Feuchte wie bei elementarem (gasförmigen) Jod (Hn 80) konnte nicht festgestellt werden. Faßt man die Ablagerung von Partikeln als einen physikalischen Prozeß auf, in dem z.B. Trägheitseffekte und Diffusionseffekte von Bedeutung sind (Kap. 2) und physikalisch chemische Effekte, wie z.B. Adsorptionseffekte, keine Rolle spielen, so ist eine Beeinflussung der Ablagerungsgeschwindigkeit durch die Luftfeuchtigkeit auch nicht zu erwarten.

Gleichung (27) gilt streng genommen für eine nur neutrale Schichtung (Kap. 1). Die Anpassung der Meßwerte der Ablagerungsgeschwindigkeit von Jod (Hn 80)

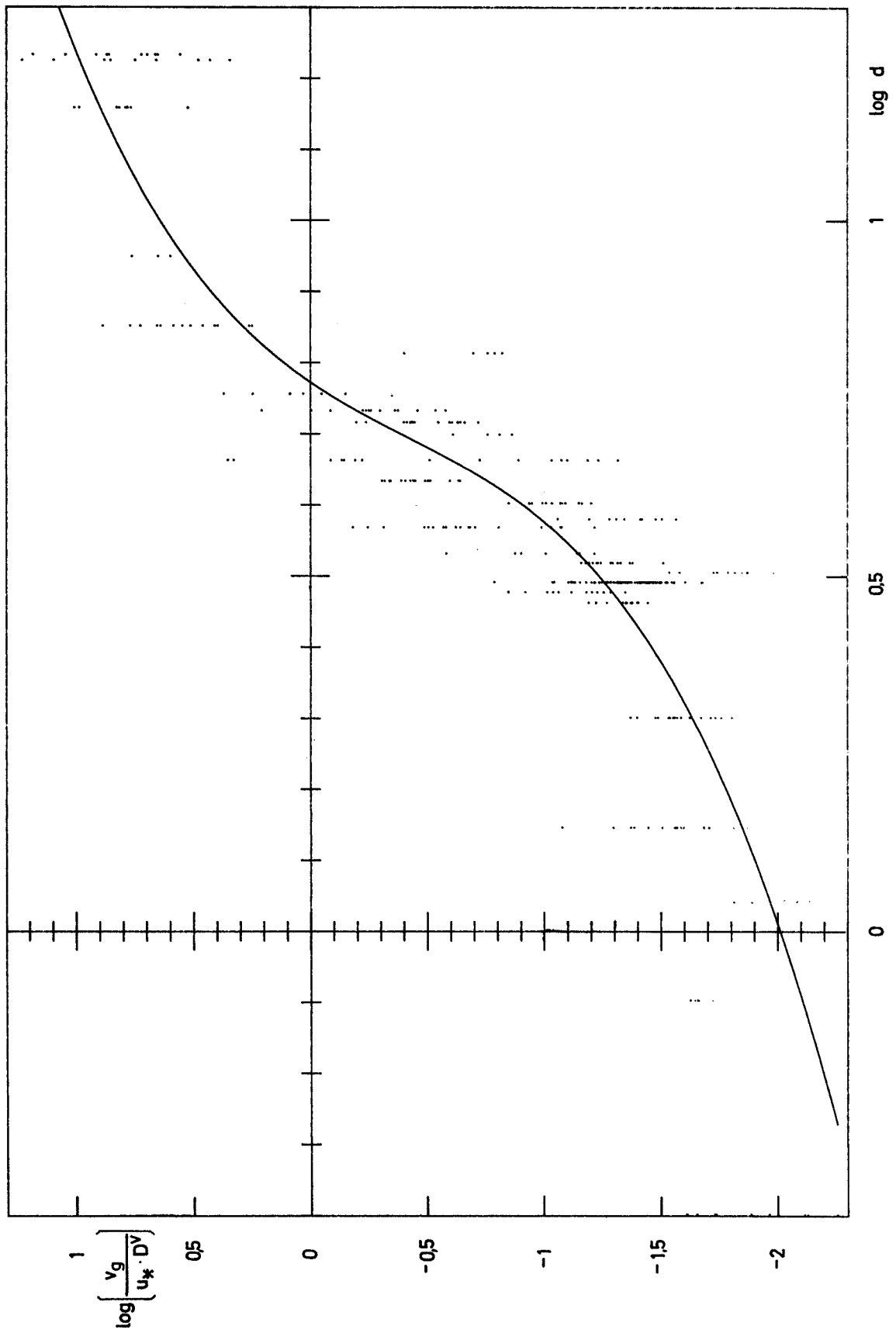


Abb. 12: Meßwerte der Ablagerungsgeschwindigkeit auf Gras und Ausgleichskurve

ergibt  $v_g \sim u_*^{1,14}$ . Deshalb wurde zusätzlich die Schubspannungsgeschwindigkeit  $u_*^n$  in Gleichung (27) durch den Ausdruck  $u_*^n$  ersetzt und der Koeffizient  $n$  bei festem  $a_0, a_1, a_2, a_3$  und  $v$  für die Diffusionskategorien B, C und D variiert. Die Summe der Abstandsqadrate zwischen den Meßwerten und den Werten der Gleichung

$$\log d = 0,11 \left( \frac{\log v_g}{u_*^{nD} 0,8} \right)^3 + 0,13 \left( \frac{\log v_g}{u_*^{nD} 0,8} \right)^2 + 0,22 \left( \frac{\log v_g}{u_*^{nD} 0,8} \right) + 0,77 \quad (30)$$

war minimal, falls  $n$  bei Diffusionskategorie B den Wert 0,99, bei Diffusionskategorie C den Wert 0,92 und bei Diffusionskategorie D den Wert 1,13 hatte. Hierzu ist zu bemerken, daß die Anzahl der Versuche, die bei den einzelnen Diffusionskategorien durchgeführt werden konnten, verschieden war. In Diffusionskategorie B konnten 21 Versuche, in Diffusionskategorie C konnten 18 Versuche und in Diffusionskategorie D konnten 8 Versuche eingeordnet werden (Ho 76), (Jo 81). Bei den Versuchen Nr. 39 und Nr. 40 lag Diffusionskategorie A vor (Jo 81). Setzt man für die beiden Versuche jeweils die Mittelwerte von  $v_g, u_*$  und  $D$  (Tabelle 3b) in Gleichung (30) ein, so ergibt sich ein Partikeldurchmesser von  $3,1 \mu\text{m}$ , falls  $n$  den Wert 1,02 bzw. 0,99 hat. Diese Ergebnisse liefern eine Begründung dafür, unabhängig von der Diffusionskategorie, eine zur Schubspannungsgeschwindigkeit proportionale Ablagerungsgeschwindigkeit  $v_g \sim u_*$  anzunehmen.

## 6 VERGLEICH MIT DER ABLAGERUNGSGESCHWINDIGKEIT DER "ALLGEMEINEN BERECHNUNGSGRUNDLAGE"

In Tabelle 5 werden nach Gleichung (27) bestimmte Ablagerungsgeschwindigkeiten für Aerosoldurchmesser von 1 bis 15  $\mu\text{m}$  aufgeführt. Die Ablagerungsgeschwindigkeiten wurden für eine für Vegetation in der Hauptwachstumsperiode repräsentative Trockenmasse des Grases von  $0,017 \text{ g/cm}^2$  (Hf 73) und eine nach (Ho 76) im Jahresmittel zu erwartende Schubspannungsgeschwindigkeit von 27 cm/s angegeben.

Tabelle 5: Ablagerungsgeschwindigkeit  
auf Gras (angepaßte Werte)

| d<br>( $\mu\text{m}$ ) | D<br>( $\text{g/cm}^2$ ) | $u_*$<br>(cm/s) | $v_g$<br>(cm/s) |
|------------------------|--------------------------|-----------------|-----------------|
| 1                      | 0,017                    | 27              | 0,010           |
| 2                      | 0,017                    | 27              | 0,024           |
| 3                      | 0,017                    | 27              | 0,053           |
| 4                      | 0,017                    | 27              | 0,131           |
| 5                      | 0,017                    | 27              | 0,422           |
| 7                      | 0,017                    | 27              | 1,949           |
| 10                     | 0,017                    | 27              | 4,600           |
| 15                     | 0,017                    | 27              | 8,744           |

Bei der Emission von Aerosolen aus kerntechnischen Anlagen über den Kamin, wie dies z.B. im bestimmungsgemäßen Betrieb von Kernkraftwerken und bei Störfällen in der Regel der Fall ist, kann davon ausgegangen werden, daß große Partikel durch Filter zurückgehalten werden und nur Aerosole in der Größenordnung von 1  $\mu\text{m}$  in die Atmosphäre gelangen. Wenn z.B. jedoch bei bestimmten Störfällen die Freisetzung nicht über den Kamin erfolgt, können auch größere Partikel in die Atmosphäre gelangen und zu höheren Ablagerungsgeschwindigkeiten führen. Unterschiede in der Aerosolgrößenverteilung, Schubspannungsgeschwindigkeit und Trockenmasse heben sich im zeitlichen Mittel auf.

Bei einem Partikeldurchmesser von 3  $\mu\text{m}$  ergibt sich nach Tabelle 5 eine Ablagerungsgeschwindigkeit von 0,053 cm/s, bei 2  $\mu\text{m}$  0,024 cm/s und bei 1  $\mu\text{m}$

0,010 cm/s, womit der in der "Allgemeinen Berechnungsgrundlage" (Bg 79) mit 0,1 cm/s angegebene Referenzwert um einen Faktor 2 bis 10 unterschritten wird.

Für große Partikel können jedoch höhere Werte auftreten: Für Partikel mit Durchmessern von 5, 10 und 15  $\mu\text{m}$  ergeben sich z.B. Ablagerungsgeschwindigkeiten von 0,4 , 4,6 und 8,7 cm/s.

Dies zeigt insgesamt, daß aufgrund der in Jülich durchgeführten Messungen die in (Bg 79) mit 0,1 cm/s angesetzte Ablagerungsgeschwindigkeit für den bestimmungsgemäßen Betrieb und für die meisten Störfälle als ausreichend konservativ erscheint. Bei Störfällen jedoch, bei denen die Freisetzung nicht über Filter erfolgt, sind Überschreitungen des Wertes möglich.

## 7 VERGLEICH DER ABLAGERUNGSGESCHWINDIGKEIT AUF KLEE, ERDBODEN UND KÜNSTLICHEN GRENZFLÄCHEN MIT DER ABLAGERUNGSGESCHWINDIGKEIT AUF GRAS

In Tabelle 6 werden die Mittelwerte der Ablagerungsgeschwindigkeit auf Klee, Erdboden und künstlichen Grenzflächen (Tabelle 3a und 3b) mit den Mittelwerten der Ablagerungsgeschwindigkeit auf Gras (Tabelle 3a und 3b) verglichen.

Es ist plausibel anzunehmen, daß für die Ablagerungsgeschwindigkeit auf Klee der gleiche funktionale Zusammenhang mit dem Aerosoldurchmesser, der Schubspannungsgeschwindigkeit und der Trockenmasse besteht wie für die Ablagerungsgeschwindigkeit auf Gras. Deshalb werden bei Parallelmessungen, bei denen Schubspannungsgeschwindigkeit und Aerosoldurchmesser gleich waren, Ablagerungsgeschwindigkeiten auf Gras und Klee verglichen, indem das Verhältnis

$$\frac{v_{gKl} \cdot D_G^{0,8}}{v_{gG} \cdot D_{Kl}^{0,8}}$$

bestimmt wird. (Die Indices Kl und G beziehen sich auf Klee bzw. Gras.)

Lagen bei bestimmten Versuchen keine Meßergebnisse der Ablagerungsgeschwindigkeit auf Gras vor, so wurde die Ablagerungsgeschwindigkeit auf Klee den angepaßten Werten der Ablagerungsgeschwindigkeit auf Gras (Gleichung 27) gegenübergestellt. Insgesamt wurde in 11 Versuchen die Ablagerungsgeschwindigkeit auf Klee untersucht, wobei der Aerosoldurchmesser zwischen 1,1 und 6,5  $\mu\text{m}$  schwankte. Aus Tabelle 6 ergibt sich, daß die Ablagerungsgeschwindigkeit auf Klee im Durchschnitt um einen Faktor 1,85 größer war als die Ablagerungsgeschwindigkeit auf Gras. Berücksichtigt man den Unterschied der beiden Ablagerungsgeschwindigkeiten durch die Einführung eines biologischen Qualitätsfaktors B in Gleichung (27), so ergibt sich für die Bestimmung der Ablagerungsgeschwindigkeit auf Klee

$$\log d = a_3 \left( \log \left( \frac{v_g}{Bu_* D^v} \right) \right)^3 + a_2 \left( \log \left( \frac{v_g}{Bu_* D^v} \right) \right)^2 + a_1 \left( \log \left( \frac{v_g}{Bu_* D^v} \right) \right) + a_0 \quad (31)$$

$$a_3 = 0,11; a_2 = 0,13; a_1 = 0,22; a_0 = 0,77.$$

**Tabelle 6:** Vergleich der Ablagerungsgeschwindigkeit auf Klee, Erdboden und künstlichen Oberflächen mit der Ablagerungsgeschwindigkeit auf Gras

| Versuch Nr. | Datum    | d (µm) | u* (cm/s) | Gras                   |                       | Klee                   |                       |      | Erdboden              |      |      | künstliche Oberflächen |      |      |
|-------------|----------|--------|-----------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------|-----------------------|------|------|------------------------|------|------|
|             |          |        |           | D (g/cm <sup>2</sup> ) | v <sub>g</sub> (cm/s) | D (g/cm <sup>2</sup> ) | v <sub>g</sub> (cm/s) | *1   | v <sub>g</sub> (cm/s) | *2   | *3   | v <sub>g</sub> (cm/s)  | *4   | *5   |
| 1(Ho76)     | 15. 1.75 | 3,0    | 43,0      | 0,015                  | 0,180                 | 0,022                  | 0,46                  | 1,88 | -                     | -    | -    | 0,030                  | 0,17 | 0,15 |
| 2(Ho76)     | 21. 4.75 | 5,0    | 18,0      | 0,010                  | 0,081                 | 0,019                  | 0,14                  | 1,03 | 0,034                 | 0,42 | 0,27 | 0,038                  | 0,47 | 0,31 |
| 3(Ho76)     | 28. 5.75 | 3,8    | 27,2      | 0,026                  | 0,082                 | -                      | -                     | -    | 0,038                 | 0,46 | 0,65 | 0,030                  | 0,37 | 0,51 |
| 4(Ho76)     | 1. 7.75  | 3,8    | 26,0      | 0,015                  | 0,052                 | 0,012                  | 0,078                 | 1,79 | 0,026                 | 0,50 | 0,45 | 0,015                  | 0,29 | 0,26 |
| 5(Ho76)     | 1. 7.75  | 3,1    | 33,8      | 0,011                  | 0,100                 | -                      | -                     | -    | -                     | -    | -    | 0,022                  | 0,22 | 0,16 |
| 6(Ho76)     | 8. 7.75  | 6,5    | 24,4      | 0,013                  | 0,140                 | -                      | -                     | -    | 0,022                 | 0,16 | 0,13 | 0,035                  | 0,25 | 0,20 |
| 7(Ho76)     | 22. 7.75 | 4,0    | 15,0      | 0,014                  | 0,040                 | 0,034                  | 0,22                  | 2,84 | 0,012                 | 0,30 | 0,26 | 0,010                  | 0,25 | 0,21 |
| 8(Ho76)     | 1.10.75  | 3,0    | 11,8      | 0,022                  | 0,041                 | 0,041                  | 0,087                 | 1,29 | 0,011                 | 0,27 | 0,33 | 0,014                  | 0,34 | 0,42 |
| 9(Ho76)     | 1.10.75  | 4,0    | 12,1      | 0,021                  | 0,060                 | -                      | -                     | -    | 0,048                 | 0,80 | 0,95 | 0,019                  | 0,32 | 0,37 |
| 10(Ho76)    | 21.10.75 | 3,0    | 7,5       | 0,017                  | 0,022                 | -                      | -                     | -    | 0,029                 | 1,32 | 1,32 | 0,016                  | 0,73 | 0,73 |
| 11(Ho76)    | 21.10.75 | 4,0    | 12,9      | 0,025                  | 0,073                 | -                      | -                     | -    | -                     | -    | -    | 0,029                  | 0,40 | 0,54 |
| 12          | 12.10.77 | 4,6    | 14,7      | 0,012                  | 0,049                 | -                      | -                     | -    | 0,016                 | 0,33 | 0,25 | 0,030                  | 0,61 | 0,46 |
| 14          | 21. 6.78 | 3,4    | 22,9      | 0,006                  | 0,049                 | 0,008                  | 0,048                 | 0,78 | -                     | -    | -    | -                      | -    | -    |
| 15          | 26. 7.78 | 3,2    | 31,8      | 0,008                  | 0,012                 | -                      | -                     | -    | -                     | -    | -    | 0,021                  | 1,75 | 0,96 |
| 16          | 15. 8.78 | 3,3    | 28,8      | 0,017 <sup>+</sup>     | 0,073 <sup>+</sup>    | -                      | -                     | -    | -                     | -    | -    | 0,017                  | 0,23 | 0,23 |
| 23          | 10. 5.79 | 2,0    | 12,9      | 0,012 <sup>+</sup>     | 0,009 <sup>+</sup>    | 0,012                  | 0,023                 | 2,61 | -                     | -    | -    | -                      | -    | -    |
| 24          | 16. 5.79 | 3,1    | 26,0      | 0,014                  | 0,041                 | 0,016                  | 0,081                 | 1,78 | -                     | -    | -    | -                      | -    | -    |
| 25          | 29. 5.79 | 3,3    | 17,7      | 0,017                  | 0,034                 | 0,018                  | 0,043                 | 1,21 | -                     | -    | -    | -                      | -    | -    |
| 30          | 13. 9.79 | 1,1    | 20,6      | 0,014 <sup>+</sup>     | 0,007 <sup>+</sup>    | 0,014                  | 0,029                 | 3,93 | -                     | -    | -    | -                      | -    | -    |
| 32          | 1.10.79  | 3,1    | 19,7      | 0,012                  | 0,018                 | 0,024                  | 0,037                 | 1,18 | -                     | -    | -    | -                      | -    | -    |
| 34          | 10.10.79 | 3,1    | 21,5      | 0,008                  | 0,017                 | -                      | -                     | -    | 0,009                 | 0,55 | 0,29 | -                      | -    | -    |
| Mittel      |          | 3,5    | 21,3      | 0,015                  | 0,056                 | 0,020                  | 0,11                  | 1,85 | 0,025                 | 0,51 | 0,49 | 0,023                  | 0,46 | 0,39 |

Bemerkung: Die mit "+" gekennzeichneten Werte beziehen sich auf Gleichung (30)

$$\begin{aligned}
 *1 &= \frac{v_{g_{K1}} D_G^{0,8}}{v_{g_G} D_{K1}^{0,8}} & *2 &= \frac{v_g}{v_{g_G}} & *3 &= \frac{v_g}{v_{g_G} (D=0,017 \text{ g/cm}^2)} & *4 &= \frac{v_g}{v_{g_G}} & *5 &= \frac{v_g}{v_{g_G} (D=0,017 \text{ g/cm}^2)}
 \end{aligned}$$

B hat für Gras definitionsgemäß den Wert 1 (Gl. (30)).

Im einzelnen wurde nicht untersucht, ob sich die Unterschiede der Ablagerungsgeschwindigkeiten auf Gras und Klee aus den unterschiedlichen Blattflächen pro  $\text{m}^2$  Bodenoberfläche oder aus den verschiedenen Orientierungen der Blätter gegenüber der Windrichtung ergeben.

Nach Gleichung (31) erhält man für Klee eine Ablagerungsgeschwindigkeit von 0,1 cm/s etwa bei einem Partikeldurchmesser von 3  $\mu\text{m}$ . Wenn davon ausgegangen wird, daß die Nahrung von Weidetieren überwiegend aus Gras besteht, braucht die höhere Ablagerungsgeschwindigkeit auf Klee nicht in Rechnung gestellt zu werden.

Der Vergleich der Ablagerungsgeschwindigkeit auf dem Erdboden und auf künstlichen Grenzflächen (strukturierte und glatte Metalle, Filter) mit der Ablagerungsgeschwindigkeit auf Gras bezieht sich einerseits auf die direkt gemessenen Werte der Ablagerungsgeschwindigkeit auf Gras  $v_g$ , andererseits auf die Werte der Ablagerungsgeschwindigkeit auf Gras, die sich aus den Messungen für eine mittlere Trockenmasse von 0,017  $\text{g}/\text{cm}^2$  ergeben ( $v_g^G$  ( $D = 0,017 \text{ g}/\text{cm}^2$ )). Diese Werte wurden aufgrund der Proportionalität  $v_g^G \sim D^{0,8}$  berechnet.

Fanden keine Parallelmessungen der Ablagerungsgeschwindigkeit auf Gras statt, so wurden die Werte der Ablagerungsgeschwindigkeit auf dem Erdboden und auf künstlichen Grenzflächen mit der Ausgleichskurve für die Ablagerungsgeschwindigkeit auf Gras (Gleichung 27) verglichen, wobei für das Gras eine Trockenmasse von 0,017  $\text{g}/\text{cm}^2$  angesetzt wurde. Insgesamt wurden in 10 Experimenten Ablagerungsgeschwindigkeiten auf dem Erdboden und in 14 Experimenten Ablagerungsgeschwindigkeiten auf künstlichen Grenzflächen bestimmt.

Nimmt man für Gras eine nach (Hf 73) repräsentative Trockenmasse von 0,017  $\text{g}/\text{cm}^2$  an, so beträgt im Durchschnitt das Verhältnis zwischen der Ablagerungsgeschwindigkeit auf künstlichen Grenzflächen bzw. Erdboden und der Ablagerungsgeschwindigkeit auf Gras 0,39 bzw. 0,49. Für den Erdboden und für künstliche Grenzflächen ergaben sich im Mittel Ablagerungsgeschwindigkeiten von 0,025 bzw. 0,023 cm/s.

## 8 VERGLEICH DER IN JÜLICH GEMESSENEN ABLAGERUNGSGESCHWINDIGKEITEN MIT VON SEHMEI BERECHNETEN WERTEN

In Abb. 13 werden die angepaßten Werte der Ablagerungsgeschwindigkeit auf Gras (Abb. 12) mit von Sehmel (Se 71) (Kap. 2) für glatte Messingoberflächen berechneten verglichen, obwohl eine Vergleichbarkeit offensichtlich nur in sehr eingeschränktem Maße als gegeben zu unterstellen ist.

Der Vergleich wird für eine Schubspannungsgeschwindigkeit von 34 cm/s durchgeführt, die dem im Jahresmittel zu erwartenden Wert von 27 cm/s am nächsten kommt. Für die Ablagerungsgeschwindigkeit wird eine repräsentative Trockenmasse von  $0,017 \text{ g/cm}^2$  angenommen. Abb. 13 zeigt, daß die in Jülich gemessenen Werte der Ablagerungsgeschwindigkeiten auf Gras für aerodynamische Durchmesser (Gl 28) von 1 bis  $10 \text{ }\mu\text{m}$  im Durchschnitt etwa um einen Faktor 1,5 niedriger liegen als die Werte für glatte Messingoberflächen von Sehmel. Für aerodynamische Durchmesser größer als  $10 \text{ }\mu\text{m}$  ergeben sich jedoch nach der Theorie von Sehmel (Se 71) im Vergleich zu den Jülicher Messungen niedrigere Werte. Berücksichtigt man, daß nach den Jülicher Messungen die Ablagerungsgeschwindigkeit auf glatten Oberflächen im Durchschnitt etwa um einen Faktor 3 niedriger ist als die Ablagerungsgeschwindigkeit auf Gras (Kap. 7), so kann insgesamt festgestellt werden, daß in dem durch Turbulenzablagerung gekennzeichneten Bereich die in Jülich bestimmten Werte der Ablagerungsgeschwindigkeit etwa um einen Faktor 1,5 bis 5 niedriger sind als die von Sehmel (Se 71). Für große Partikel jedoch, deren Ablagerung überwiegend durch Sedimentation beeinflusst wird, kann eine Übereinstimmung der Ablagerungsgeschwindigkeiten verzeichnet werden.

Zu der von Sehmel (Se 71) entwickelten Ablagerungstheorie ist noch zu bemerken, daß in dieser totale Absorption vorausgesetzt wird, was zu einer Überbestimmung der Ablagerungsgeschwindigkeit führen kann. Der hier durchgeführte Vergleich mit unseren Meßwerten ist außerdem insofern problematisch, als nicht nur die Ablagerung auf verschiedenen Oberflächen untersucht wurde, sondern auch Unterschiede im Verlauf der Funktion  $v_g = f(d)$  nicht ausgeschlossen werden können (siehe Kap. 9).

In (Jo 78) wird festgestellt, daß die in der Literatur angegebenen theoretischen Modelle zur Bestimmung der Ablagerungsgeschwindigkeit wegen proble-

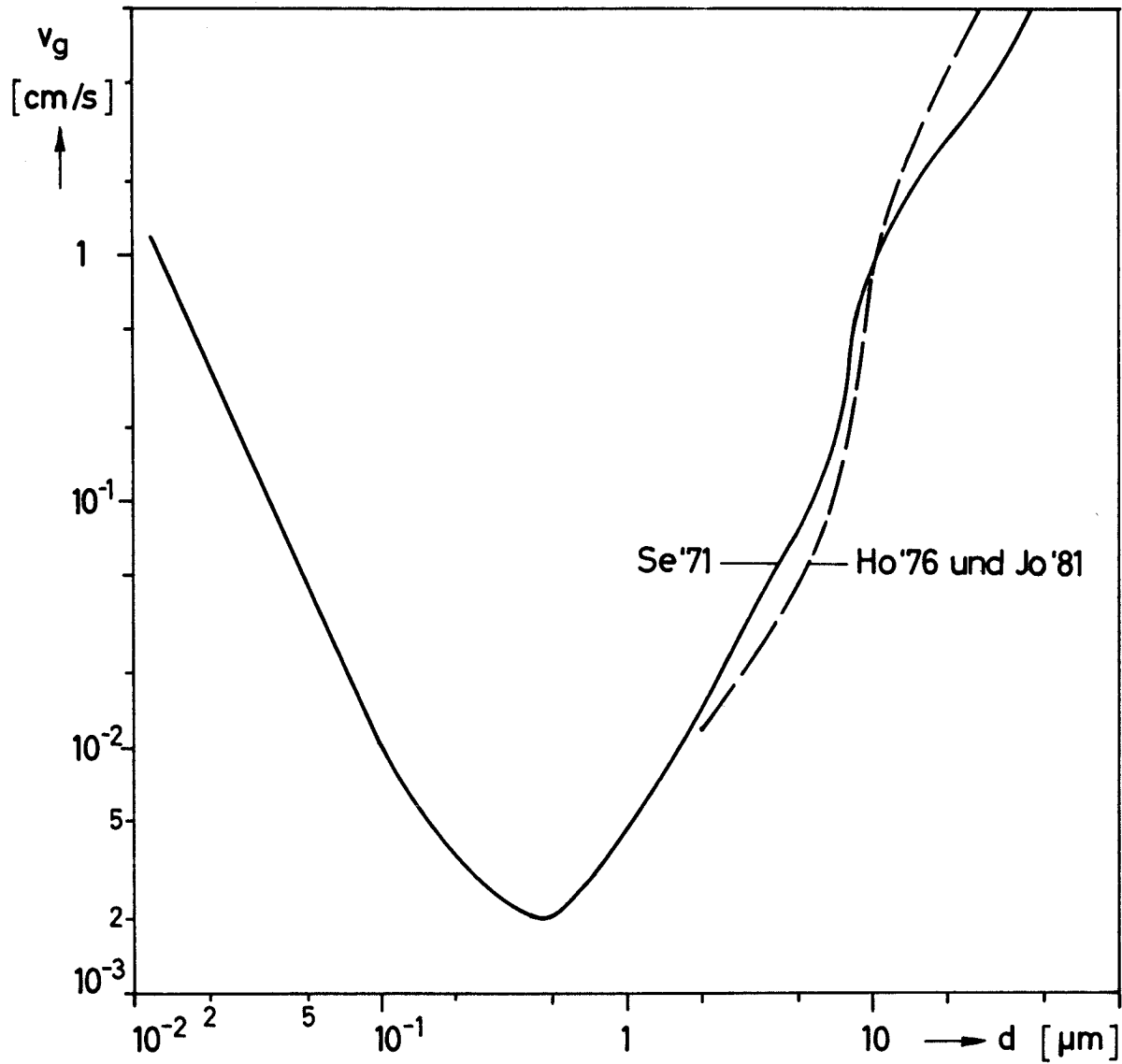


Abb. 13: Ablagerungsgeschwindigkeit auf Gras im Vergleich zu (Se 71)

matischer Ansätze, vereinfachender Annahmen oder nicht ausreichend bekannter Eingangsparameter zum großen Teil nur beschränkt geeignet sind, um die Ablagerung unter natürlichen Verhältnissen zu beschreiben. Deshalb bietet es sich an, für den Vergleich der in Jülich gemessenen Ablagerungsgeschwindigkeiten mit Literaturstellen im folgenden Meßwerte heranzuziehen.

## 9 VERGLEICH DER IN JÜLICH GEMESSENEN ABLAGERUNGSGESCHWINDIGKEITEN MIT GEMESSENEN LITERATURWERTEN

Im Gegensatz zu den Jülicher Freilandversuchen, bei denen systematisch die in die Ablagerungsgeschwindigkeit eingehenden Parameter bestimmt wurden, liegen in der Literatur nur unvollständige Messungen dieser Größen vor.

Nach Kapitel 1 und 2 wird in der Literatur eine Proportionalität zwischen der Ablagerungsgeschwindigkeit und der Schubspannungsgeschwindigkeit einerseits und der Trockenmasse andererseits festgestellt; außerdem zeigen die Messungen der Ablagerungsgeschwindigkeit von (Ch 66), (Se 73), (Cl 75), (Ho 76) u.a. eine starke Abhängigkeit vom Aerosoldurchmesser. Da bei den Aerosolablagerungsversuchen in der Literatur jedoch lediglich (Ho 76) gezielte Bestimmungen der Vegetationstrockenmasse vornimmt, kann im folgenden diese Größe nicht berücksichtigt werden. Es bietet sich an, aus den Literaturstellen und den Jülicher Messungen (einschließlich (Ho 76)) bestimmte Mittelwerte der Verhältnisse  $v_g/u_*$  als Funktion des Aerosoldurchmessers aufzutragen und miteinander zu vergleichen. Dies geschieht in der Abb. 14a für die Ablagerung auf Vegetation und in Abb. 14b für die Ablagerung auf künstlichen Grenzflächen und Erdboden.

Zur Bestimmung des Aerosoldurchmessers bei den Jülicher Freilandversuchen wird auf die Kap. 3.1, 3.2.1 und 3.3 verwiesen.

Partikel mit geometrischen Durchmessern von 32  $\mu\text{m}$ , 5  $\mu\text{m}$  und 1  $\mu\text{m}$ , die in (Ch 66) vorkommen, sind monodispers; ebenfalls monodispers sind Partikel mit geometrischen Durchmessern größer als 2  $\mu\text{m}$  in (Se 73). Die Ablagerungsgeschwindigkeiten in (Ah 78) wurden ausschließlich mit monodispersen Aerosolen erzielt, wobei auch in (Ah 78) der geometrische Durchmesser angegeben wird. Einzelheiten über die Partikelspektren polydisperser Aerosole sind aus (Ch 66), (Ra 70), (Ra 70), (Cl 73), (Se 73), (Cl 75) nicht zu entnehmen. Aus diesen Ausführungen geht hervor, daß Unterschiede in der Größenverteilung der Aerosole vorgelegen haben können und die Bestimmung des Partikeldurchmessers zum Teil nach verschiedenen Methoden erfolgt ist. Diese Tatsachen können Ursachen für die in den Abbildungen 14a und 14b auftretenden Streuungen der Meßwerte sein. Weitere Ursachen für die beobachteten Streuungen können sein:



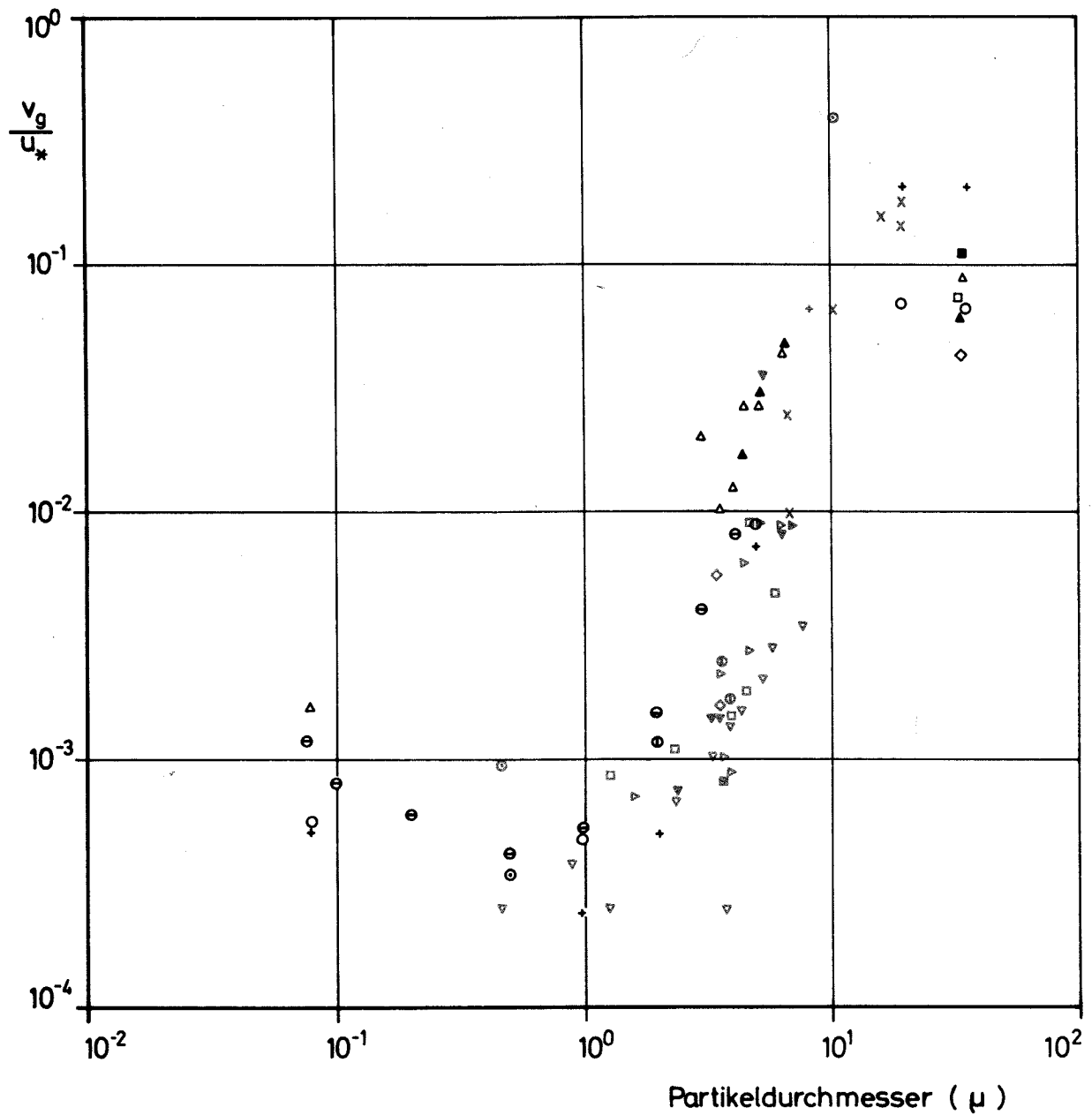


Abb. 14a: Auf die Schubspannungsgeschwindigkeit normierte Ablagerungsgeschwindigkeit auf Vegetation in Abhängigkeit vom Partikeldurchmesser



Legende zu Abb. 14a:

- △ trockenes Moos in Schalen (Windkanalversuche) (Cl 75)
- ▲ feuchtes Moos in Schalen (Windkanalversuche) (Cl 75)
- ◇ Gras (Freilandversuche) (Ch 66)
- ◊ Gras (Windkanalversuche) (Cl 75)
- Gras und Erde (Freilandversuche) (Ch 66)
- Gras und Erde nach Regen (Wert eines Freilandversuches) (Ch 66)
- Gras (Windkanalversuche) (Ch 66)
- ⊖ Gras (Mittelwert eines Windkanalversuches) (Ch 66)
- + künstliches Gras (Windkanalversuche (Ch 66), bei  $d = 2 \mu\text{m}$  handelt es sich um den Mittelwert eines Versuches)
- ⊖ Gras (Windkanalversuche, monodisperse Aerosole) (Ah 78)

## JÜLICHER FELDVERSUCHE (rote Farbe)

- ▽ Gras (Wert eines Jülicher Ablagerungsversuches)
- ▷ Gras (Jülicher Ablagerungsversuche)
- ▼ feuchtes Gras (Wert eines Jülicher Ablagerungsversuches)
- Klee (Wert eines Jülicher Ablagerungsversuches)
- Weißklee (Wert eines Jülicher Ablagerungsversuches)
- ◇ Klee (Jülicher Ablagerungsversuche)
- x Gras (Wert eines Jülicher Ablagerungsversuches, monodisperse Aerosole)
- + Gras (Jülicher Ablagerungsversuche, monodisperse Aerosole)
- ▶ feuchtes Gras (Wert eines Jülicher Ablagerungsversuches, monodisperse Aerosole)
- Gras in Kästen (Wert eines Jülicher Ablagerungsversuches)
- ⊖ Gras in Kästen (Jülicher Ablagerungsversuche)
- ⊖ Gras in Kästen (Wert eines Jülicher Ablagerungsversuches, monodisperse Aerosole)







Legende zu Abb. 14b:

- feuchtes Handtuch (Windkanalversuche) (Ch 66)
- ▣ trockenes Handtuch (Windkanalversuche) (Ch 66)
- x Filterpapier (Windkanalversuche) (Cl 73)
- + Filterpapier (Windkanalversuche, monodisperse Aerosole) (Ah 78)
- ▼ glatte Flächen (Windkanalversuche) (Cl 73)
- ▲ glatte Flächen (Mittelwert eines Windkanalversuches) (Cl 73)
- ◆ glatte Flächen an der Decke, mit Petroleumgallerte überstrichen (Windkanalversuche) (Se 73)
- ◆ glatte Fläche an der Decke, mit Petroleumgallerte überstrichen (Mittelwert eines Windkanalversuches) (Se 73)
- ◇ glatte Flächen an der Decke (Windkanalversuche) (Se 73)
- ◇ glatte Fläche an der Decke (Mittelwert eines Windkanalversuches) (Se 73)
- glatte Bodenfläche, mit Petroleumgallerte überstrichen (Mittelwert eines Windkanalversuches) (Se 73)
- glatte Bodenflächen (Windkanalversuche) (Se 73)
- rauhes Glas (Windkanalversuche) (Ch 66)
- ⊖ glatte Bodenfläche (Mittelwert eines Windkanalversuches) (Se 73)
- ▼ Objektträger eines Mikroskopes (Freilandversuche (Ra 70),(Ra 70))
- ▲ Petrischale (Freilandversuche (Ch 66))

## JÜLICHER FELDVERSUCHE (rote Farbe)

- glatte Metalle (Mittelwert eines Jülicher Feldversuches, bei  $d = 3,1 \mu\text{m}$  handelt es sich um eine Einzelmessung eines Versuches)
- glatte Metalle (Jülicher Feldversuche)
- x rauhe Metalle (Mittelwert eines Jülicher Feldversuches)
- + rauhe Metalle (Jülicher Feldversuche)
- ◇ Filter (Mittelwert eines Jülicher Feldversuches)
- ◆ Filter (Jülicher Feldversuche)
- ▲ Erdboden (Mittelwert eines Jülicher Feldversuches)
- ▲ Erdboden (Jülicher Feldversuche)

- In den Abbildungen werden Ergebnisse aus Windkanal- und Freilandversuchen zusammengefaßt.
- In Abb. 14a werden Trockenmasse und Zustand der Vegetation nicht berücksichtigt.

Wie aus der Abbildung hervorgeht, wurde bei den Jülicher Feldversuchen für  $d = 3,2 \mu\text{m}$  ein sehr niedriger Wert der auf die Schubspannungsgeschwindigkeit normierten Ablagerungsgeschwindigkeit erzielt. Zur Versuchszeit herrschte sommerliche Trockenheit, so daß das Gras trocken und hart war.

Die Abbildungen zeigen, daß ein Minimum für  $v_g/u_*$  im Partikeldurchmesserbereich zwischen  $0,1$  und  $1 \mu\text{m}$  besteht. Dieses ist wie das Minimum des Abscheidgrades (Kap. 2, Tab. 1) auf wenig wirksame Diffusions-, Interzeptions- und Trägheitseffekte in diesem Bereich zurückzuführen (Ah 79). Abb. 14a deutet darauf hin, daß die Zunahme der Ablagerungsgeschwindigkeit zu großen Teilchen hin bei etwa  $10 \mu\text{m}$  nachläßt. Dieser Effekt kann nach (Se 71) dadurch erklärt werden, daß für Partikeldurchmesser in diesem Bereich die Ablagerung durch turbulente Diffusion nicht mehr zunimmt. In Abb. 14b ist ein derartiger Verlauf der Funktion  $v_g/u_* = f(d)$  nicht zu erkennen.

Abb. 14a deutet darauf hin, daß keine signifikanten Erhöhungen der Ablagerungsgeschwindigkeiten auf feuchter Oberfläche gegenüber trockener Oberfläche auftraten. Ausgenommen hiervon ist das Ergebnis eines Jülicher Freilandversuches für  $d = 4,6 \mu\text{m}$ , das auf von Regen durchnäßigem Gras erzielt wurde. Hierzu ist zu bemerken:

- 1) Wie Abb. 14a zeigt, nimmt die Ablagerungsgeschwindigkeit im Bereich von  $2$  bis  $10 \mu\text{m}$  um fast 2 Größenordnungen zu. Deshalb können signifikante Erhöhungen der Falloutkonstante schon durch geringe, noch im Bereich der Fehlergrenze liegende positive Abweichungen des Aerosoldurchmessers auftreten.
- 2) Der Fehler für die Bestimmung des Verhältnisses  $v_g/u_*$  beträgt 33 %.

In Abb. 14a fällt auf, daß sich auf Graskulturen in Kästen zum Teil wesentlich höhere Ablagerungsgeschwindigkeiten ergeben als auf natürlichem Gras (Kap. 5). Da im einzelnen nicht entschieden werden kann, ob dieser Effekt auf die unterschiedliche Beschaffenheit des Grases oder auf Randeffekte zurück-

zuführen ist, werden diese Werte auch in Kap. 10 nicht mehr berücksichtigt.

Vergleicht man in Abb. 14a und 14b die Ergebnisse der Jülicher Freilandversuche mit den Literaturwerten, so kann insgesamt eine befriedigende Übereinstimmung festgestellt werden.

## 10 KUMULATIVE VERTEILUNG VON EXPERIMENTELL BESTIMMTEN ABLAGERUNGSGESCHWINDIGKEITEN AUF VEGETATION

Im folgenden wird eine statistische Untersuchung durchgeführt, um zu überprüfen, inwieweit die in der "Allgemeinen Berechnungsgrundlage" (Bg 79) empfohlene Falloutkonstante mit experimentell bestimmten Werten der Ablagerungsgeschwindigkeit übereinstimmt. In die Statistik werden über die Partikeldurchmesser gemittelte Ablagerungsgeschwindigkeiten auf natürlichen Vegetationsoberflächen (Gras und Klee) aufgenommen, und zwar Resultate der Jülicher Ablagerungsversuche und Literaturwerte, die sich aus Windkanal- und Freilandmessungen ergeben. Da in der Literatur nur unvollständige Angaben über die Einflußgrößen: Aerosoldurchmesser, Schubspannungsgeschwindigkeit und Trockenmasse der Vegetation (Kap. 9) vorhanden sind, erfolgt die Anfertigung der Statistiken, ohne diese Parameter zu berücksichtigen.

In Tabelle 7a, 7b und 7c werden die Ablagerungsgeschwindigkeiten mit Klasseneinteilung, Aerosoldurchmesser und Bemerkungen aufgeführt. Der Aerosoldurchmesser kann als der wichtigste Bezugsparameter für die Ablagerungsgeschwindigkeit angesehen werden (Kap. 5). Die Bemerkungen enthalten Angaben über die Herkunft der Werte sowie über die Art der Vegetation, auf die sich die Substanz ablagerte.

Die in Tab. 7a, 7b und 7c angegebenen Durchmesser entsprechen den Partikelgrößen, die bei der Freisetzung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen möglicherweise zu erwarten sind, wobei angenommen werden kann, daß sich die Partikelgrößenverteilung bei bestimmungsgemäßem Betrieb auf die kleinen Durchmesser beschränkt, während bei Störfällen auch das Auftreten von großen Partikeln (z.B.  $d > 5 \mu\text{m}$ ) nicht ausgeschlossen werden kann (siehe Kap. 6).

Zur Bestimmung der für die Jülicher Freilandversuche angegebenen Aerosoldurchmesser wird auf die Kap. 3.2.1 und 3.3 verwiesen. Einzelheiten über die Aerosoldurchmesser in (Ch 66) und (Ah 78) sind in Kap. 9 angegeben. Die Angabe des Aerosoldurchmessers in (Ne 71) bezieht sich auf den mittleren Durchmesser der Partikelverteilung (Count Median Diameter), d.h. den Durchmesser, bei dem in der Häufigkeitstabelle 50 % der Gesamtanzahl der Partikel erreicht wird. Der mittlere Massendurchmesser in (Se 73) ist der

**Tabelle 7a:** Statistik über gemessene Ablagerungsgeschwindigkeiten von Aerosolen mit Durchmessern bis zu 20 µm auf Vegetation ((Me 56), (Ch 60), (L 60), (Gi 62), (Ch 66), (Ne 71), (Se 73), (Cl 75), (Li 77), (Wi 77), (Ah 78) und Ergebnisse der Jülicher Freilandmessungen (Ho 76), (Jo 81))

| $v_g$<br>(cm/s) | $\log v_g$ | Klasse          | Anzahl der<br>Werte n pro<br>Klasse | $\Sigma n$ | Aerosol-<br>durchmesser<br>(µm) | Bemerkungen                             |
|-----------------|------------|-----------------|-------------------------------------|------------|---------------------------------|-----------------------------------------|
| 0,011           | -1,96      | -1,99 bis -1,95 | 2                                   | 2          | 1,1                             | Jülicher Messungen Gras                 |
| 0,011           | -1,96      | -1,99 bis -1,95 |                                     |            | 0,5                             | Windkanalversuche Gras (Ah 78)          |
| 0,012           | -1,92      | -1,94 bis -1,90 | 1                                   | 3          | 3,2                             | Jülicher Messungen Gras                 |
| 0,013           | -1,89      | -1,89 bis -1,85 | 2                                   | 5          | 0,8                             | Jülicher Messungen Gras                 |
| 0,013           | -1,89      | -1,89 bis -1,85 |                                     |            | 1                               | Windkanalversuche Gras (Ah 78)          |
| 0,015           | -1,82      | -1,84 bis -1,80 | 1                                   | 6          | 0,2                             | Windkanalversuche Gras (Ah 78)          |
| -               | -          | -1,79 bis -1,75 | 0                                   | 6          | -                               | -                                       |
| 0,019           | -1,72      | -1,74 bis -1,70 | 3                                   | 9          | 0,1-0,25                        | Windkanalversuche Gras (Wi 77)          |
| 0,020           | -1,70      | -1,74 bis -1,70 |                                     |            | 0,1                             | Windkanalversuche Gras (Ah 78)          |
| 0,020           | -1,70      | -1,74 bis -1,70 |                                     |            | 0,5                             | Windkanalversuche Gras (Cl 75)          |
| -               | -          | -1,69 bis -1,65 | 0                                   | 9          | -                               | -                                       |
| 0,023           | -1,64      | -1,64 bis -1,60 | 4                                   | 13         | 1,4                             | Jülicher Messungen Gras                 |
| 0,023           | -1,64      | -1,64 bis -1,60 |                                     |            | 2,0                             | Jülicher Messungen Klee                 |
| 0,024           | -1,62      | -1,64 bis -1,60 |                                     |            | 0,4                             | Jülicher Messungen Gras                 |
| 0,024           | -1,62      | -1,64 bis -1,60 |                                     |            | 2,0                             | Jülicher Messungen Gras                 |
| 0,026           | -1,59      | -1,59 bis -1,55 | 1                                   | 14         | 0,1-0,25                        | Windkanalversuche Gras und Erde (Wi 77) |
| 0,029           | -1,54      | -1,54 bis -1,50 | 2                                   | 16         | 1,1                             | Jülicher Messungen Klee                 |
| 0,030           | -1,52      | -1,54 bis -1,50 |                                     |            | 0,07                            | Windkanalversuche Gras (Ah 78)          |
| 0,034           | -1,47      | -1,49 bis -1,45 | 3                                   | 19         | -                               | Freilandmessungen Hafer (Me 56)         |
| 0,035           | -1,46      | -1,49 bis -1,45 |                                     |            | 3,1                             | Jülicher Messungen Weißklee             |
| 0,035           | -1,45      | -1,49 bis -1,45 |                                     |            | 1,0                             | Windkanalversuche Gras (Ch 66)          |
| 0,038           | -1,42      | -1,44 bis -1,40 | 4                                   | 23         | 3,3                             | Jülicher Messungen Gras                 |
| 0,038           | -1,42      | -1,44 bis -1,40 |                                     |            | 3,1                             | Jülicher Messungen Gras                 |
| 0,038           | -1,42      | -1,44 bis -1,40 |                                     |            | 2,0                             | Windkanalversuche Gras (Ah 78)          |
| 0,038           | -1,42      | -1,44 bis -1,40 |                                     |            | 0,05                            | Windkanalversuche Gras (Ah 78)          |
| 0,043           | -1,37      | -1,39 bis -1,35 | 3                                   | 26         | 3,3                             | Jülicher Messungen Klee                 |
| 0,044           | -1,36      | -1,39 bis -1,35 |                                     |            | 0,08                            | Windkanalversuche Gras (Ch 66)          |
| 0,045           | -1,35      | -1,39 bis -1,35 |                                     |            | 2,9                             | Jülicher Messungen Gras                 |
| 0,049           | -1,31      | -1,34 bis -1,30 | 1                                   | 27         | 3,4                             | Jülicher Messungen Gras                 |
| -               | -          | -1,29 bis -1,25 | 0                                   | 27         | -                               | -                                       |
| 0,058           | -1,24      | -1,24 bis -1,20 | 2                                   | 29         | 4,0                             | Jülicher Messungen Gras                 |
| 0,059           | -1,23      | -1,24 bis -1,20 |                                     |            | 3,1                             | Jülicher Messungen Klee                 |
| 0,067           | -1,17      | -1,19 bis -1,15 | 1                                   | 30         | 3,8                             | Jülicher Messungen Gras                 |
| 0,075           | -1,12      | -1,14 bis -1,10 | 2                                   | 32         | 0,02                            | Windkanalversuche Gras (Ah 78)          |
| 0,078           | -1,11      | -1,14 bis -1,10 |                                     |            | 3,8                             | Jülicher Messungen Klee                 |
| 0,081           | -1,09      | -1,09 bis -1,05 | 3                                   | 35         | 5,0                             | Jülicher Messungen Gras                 |
| 0,081           | -1,09      | -1,09 bis -1,05 |                                     |            | 3,0                             | Jülicher Messungen Gras                 |
| 0,090           | -1,05      | -1,09 bis -1,05 |                                     |            | 2,0                             | Windkanalversuche Gras (Ch 66)          |
| 0,10            | -1,00      | -1,04 bis -1,00 | 1                                   | 36         | 3,0                             | Windkanalversuche Gras (Ah 78)          |
| 0,11            | -0,95      | -0,99 bis -0,95 | 2                                   | 38         | 2,75                            | Windkanalversuche Gras (Li 77)          |
| 0,11            | -0,95      | -0,99 bis -0,95 |                                     |            | -                               | Freilandmessungen Gras (Me 56)          |
| 0,13            | -0,90      | -0,94 bis -0,90 | 1                                   | 39         | 0,01-0,02                       | Windkanalversuche Gras (Wi 77)          |
| 0,14            | -0,85      | -0,89 bis -0,85 | 3                                   | 42         | 6,5                             | Jülicher Messungen Gras                 |
| 0,14            | -0,85      | -0,89 bis -0,85 |                                     |            | 5,0                             | Jülicher Messungen Klee                 |
| 0,14            | -0,85      | -0,89 bis -0,85 |                                     |            | 0,01-0,02                       | Windkanalversuche Gras und Erde (Wi 77) |
| 0,15            | -0,82      | -0,84 bis -0,80 | 1                                   | 43         | 3,7                             | Jülicher Messungen Gras                 |
| -               | -          | -0,79 bis -0,75 | 0                                   | 43         | -                               | -                                       |
| 0,18            | -0,73      | -0,74 bis -0,70 | 3                                   | 46         | 4,6                             | Jülicher Messungen Gras                 |
| 0,20            | -0,70      | -0,74 bis -0,70 |                                     |            | -                               | Freilandmessungen Gras (Ch 60)          |
| 0,20            | -0,70      | -0,74 bis -0,70 |                                     |            | 4,0                             | Windkanalversuche Gras (Ah 78)          |

**Tabelle 7a:** Statistik über gemessene Ablagerungsgeschwindigkeiten von Aerosolen mit Durchmessern bis zu 20 µm auf Vegetation ((Me 56), (Ch 60), (L 60), (Gi 62), (Ch 66), (Ne 71), (Se 73), (Cl 75), (Li 77), (Wi 77), (Ah 78) und Ergebnisse der Jülicher Freilandmessungen (Ho 76), (Jo 81)) (Fortsetzung)

| $v_g$<br>(cm/s) | $\log v_g$ | Klasse          | Anzahl der<br>Werte n pro<br>Klasse | zn | Aerosol-<br>durchmesser<br>(µm)             | Bemerkungen                                               |
|-----------------|------------|-----------------|-------------------------------------|----|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 0,21            | -0,68      | -0,69 bis -0,65 | 2                                   | 48 | 0,7<br>(mittl. Massen-<br>durchmesser)      | Freilandmessungen, polydisperse Aerosole auf Gras (Se 73) |
| 0,22            | -0,66      | -0,69 bis -0,65 |                                     |    | 4,0                                         | Jülicher Messungen Klee                                   |
| 0,25            | -0,60      | -0,64 bis -0,60 | 1                                   | 49 | 3,7                                         | Jülicher Messungen Gras (monodisperse Partikel)           |
| 0,27            | -0,58      | -0,59 bis -0,55 | 2                                   | 51 | 5,2                                         | Jülicher Messungen Gras                                   |
| 0,27            | -0,58      | -0,59 bis -0,55 |                                     |    | 3,0                                         | Jülicher Messungen Klee                                   |
| -               | -          | -0,54 bis -0,50 | 0                                   | 51 | -                                           | -                                                         |
| -               | -          | -0,49 bis -0,45 | 0                                   | 51 | -                                           | -                                                         |
| 0,38            | -0,42      | -0,44 bis -0,40 | 2                                   | 53 | -                                           | Freilandmessungen Gras (Gi 62)                            |
| 0,38            | -0,42      | -0,44 bis -0,40 |                                     |    | 4,3                                         | Jülicher Messungen Gras                                   |
| 0,43            | -0,37      | -0,39 bis -0,35 | 1                                   | 54 | 5,4                                         | Jülicher Messungen Gras (monodisperse Partikel)           |
| 0,49            | -0,31      | -0,35 bis -0,30 | 1                                   | 55 | 5,0                                         | Windkanalversuche Gras (Li 77)                            |
| -               | -          | -0,29 bis -0,25 | 0                                   | 55 | -                                           | -                                                         |
| -               | -          | -0,24 bis -0,20 | 0                                   | 55 | -                                           | -                                                         |
| 0,64            | -0,19      | -0,19 bis -0,15 | 1                                   | 56 | -                                           | Freilandmessungen Roggengras (L 60)                       |
| 0,72            | -0,14      | -0,14 bis -0,10 | 3                                   | 59 | 5,0                                         | Windkanalversuche Gras (Ch 66)                            |
| 0,74            | -0,13      | -0,14 bis -0,10 |                                     |    | ≈ 1,0<br>(keine wei-<br>teren An-<br>gaben) | Freilandmessungen Gras (Me 56)                            |
| 0,76            | -0,12      | -0,14 bis -0,10 |                                     |    | 5,7                                         | Jülicher Messungen Gras (monodisperse Partikel)           |
|                 |            | -0,09 bis -0,05 | 0                                   | 59 | -                                           | -                                                         |
| 0,96            | -0,02      | -0,04 bis 0,00  | 1                                   | 60 | 2,3<br>(CMD)                                | Freilandmessungen Sudangras (Ne 71)                       |
| -               | -          | 0,01 bis 0,05   | 0                                   | 60 | -                                           | -                                                         |
| -               | -          | 0,06 bis 0,10   | 0                                   | 60 | -                                           | -                                                         |
| 1,4             | 0,15       | 0,11 bis 0,15   | 2                                   | 62 | 2,0<br>(CMD)                                | Freilandmessungen Luzernenweide (Ne 71)                   |
| 1,4             | 0,15       | 0,11 bis 0,15   |                                     |    | 0,6<br>(CMD)                                | Freilandmessungen Luzernenweide (Ne 71)                   |
| 1,6             | 0,20       | 0,16 bis 0,20   | 1                                   | 63 | 0,6<br>(CMD)                                | Freilandmessungen Gras (Ne 71)                            |
| -               | -          | 0,21 bis 0,25   | 0                                   | 63 | -                                           | -                                                         |
| -               | -          | 0,26 bis 0,30   | 0                                   | 63 | -                                           | -                                                         |
| 2,16            | 0,33       | 0,31 bis 0,35   | 1                                   | 64 | 8,9                                         | Jülicher Messungen Gras (monodisperse Partikel)           |
| 2,34            | 0,37       | 0,36 bis 0,40   | 1                                   | 65 | 7,1                                         | Jülicher Messungen Gras (monodisperse Partikel)           |
| -               | -          | 0,41 bis 0,45   | 0                                   | 65 | -                                           | -                                                         |
| -               | -          | 0,46 bis 0,50   | 0                                   | 65 | -                                           | -                                                         |
| 3,3             | 0,52       | 0,51 bis 0,55   | 1                                   | 66 | 19,0                                        | Windkanalversuche Gras (Ch 66)                            |
| -               | -          | 0,56 bis 0,60   | 0                                   | 66 | -                                           | -                                                         |
| -               | -          | 0,61 bis 0,65   | 0                                   | 66 | -                                           | -                                                         |
| 4,52            | 0,66       | 0,66 bis 0,70   | 1                                   | 67 | 17,1                                        | Jülicher Messungen Gras (monodisperse Partikel)           |
| -               | -          | 0,71 bis 0,75   | 0                                   | 67 | -                                           | -                                                         |
| 6,31            | 0,80       | 0,76 bis 0,80   | 1                                   | 68 | 16,8                                        | Jülicher Messungen Gras (monodisperse Partikel)           |
| -               | -          | 0,81 bis 0,85   | 0                                   | 68 | -                                           | -                                                         |
| -               | -          | 0,86 bis 0,90   | 0                                   | 68 | -                                           | -                                                         |
| 8,12            | 0,91       | 0,91 bis 0,95   | 1                                   | 69 | 14,4                                        | Jülicher Messungen Gras (monodisperse Partikel)           |

**Tabelle 7b: Statistik über gemessene Ablagerungsgeschwindigkeiten von Aerosolen mit Durchmessern bis zu 3 µm auf Vegetation ((Me 56), (Ch 60), (L 60), (Gi 62), (Ch 66), (Ne 71), (Se 73), (Cl 75), (Li 77), (Wi 77), (Ah 78) und Ergebnisse der Jülicher Freilandmessungen (Ho 76), (Jo 81))**

| $v_g$<br>(cm/s) | $\log v_g$ | Klasse          | Anzahl der<br>Werte n pro<br>Klasse | zn | Aerosol-<br>durchmesser<br>(µm)        | Bemerkungen                                               |
|-----------------|------------|-----------------|-------------------------------------|----|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 0,011           | -1,96      | -1,99 bis -1,95 | 2                                   | 2  | 1,1                                    | Jülicher Messungen Gras                                   |
| 0,011           | -1,96      |                 |                                     |    | 0,5                                    | Windkanalversuche Gras (Ah 78)                            |
| -               | -          | -1,94 bis -1,90 | 0                                   | 2  | -                                      | -                                                         |
| 0,013           | -1,89      | -1,89 bis -1,85 | 2                                   | 4  | 0,8                                    | Jülicher Messungen Gras                                   |
| 0,013           | -1,89      | -1,89 bis -1,85 |                                     |    | 1                                      | Windkanalversuche Gras (Ah 78)                            |
| 0,015           | -1,82      | -1,84 bis -1,80 | 1                                   | 5  | 0,2                                    | Windkanalversuche Gras (Ah 78)                            |
| -               | -          | -1,79 bis -1,75 | 0                                   | 5  | -                                      | -                                                         |
| 0,019           | -1,72      | -1,74 bis -1,70 | 3                                   | 8  | 0,1-0,25                               | Windkanalversuche Gras (Wi 77)                            |
| 0,020           | -1,70      | -1,74 bis -1,70 |                                     |    | 0,1                                    | Windkanalversuche Gras (Ah 78)                            |
| 0,020           | -1,70      | -1,74 bis -1,70 |                                     |    | 0,5                                    | Windkanalversuche Gras (Cl 75)                            |
| -               | -          | -1,69 bis -1,65 | 0                                   | 8  | -                                      | -                                                         |
| 0,023           | -1,64      | -1,64 bis -1,60 | 4                                   | 12 | 1,4                                    | Jülicher Messungen Gras                                   |
| 0,023           | -1,64      | -1,64 bis -1,60 |                                     |    | 2,0                                    | Jülicher Messungen Klee                                   |
| 0,024           | -1,62      | -1,64 bis -1,60 |                                     |    | 0,4                                    | Jülicher Messungen Gras                                   |
| 0,024           | -1,62      | -1,64 bis -1,60 |                                     |    | 2,0                                    | Jülicher Messungen Gras                                   |
| 0,026           | -1,59      | -1,59 bis -1,55 | 1                                   | 13 | 0,1-0,25                               | Windkanalversuche Gras und Erde (Wi 77)                   |
| 0,029           | -1,54      | -1,54 bis -1,50 | 2                                   | 15 | 1,1                                    | Jülicher Messungen Klee                                   |
| 0,030           | -1,52      | -1,54 bis -1,50 |                                     |    | 0,07                                   | Windkanalversuche Gras (Ah 78)                            |
| 0,034           | -1,47      | -1,49 bis -1,45 | 2                                   | 17 | -                                      | Freilandmessungen Hafer (Me 56)                           |
| 0,035           | -1,45      | -1,49 bis -1,45 |                                     |    | 1,0                                    | Windkanalversuche Gras (Ch 66)                            |
| 0,038           | -1,42      | -1,44 bis -1,40 | 2                                   | 19 | 2,0                                    | Windkanalversuche Gras (Ah 78)                            |
| 0,038           | -1,42      | -1,44 bis -1,40 |                                     |    | 0,05                                   | Windkanalversuche Gras (Ah 78)                            |
| 0,044           | -1,36      | -1,39 bis -1,35 | 2                                   | 21 | 0,08                                   | Windkanalversuche Gras (Ch 66)                            |
| 0,045           | -1,35      | -1,39 bis -1,35 |                                     |    | 2,9                                    | Jülicher Messungen Gras                                   |
| -               | -          | -1,34 bis -1,30 | 0                                   | 21 | -                                      | -                                                         |
| -               | -          | -1,29 bis -1,25 | 0                                   | 21 | -                                      | -                                                         |
| -               | -          | -1,24 bis -1,20 | 0                                   | 21 | -                                      | -                                                         |
| -               | -          | -1,19 bis -1,15 | 0                                   | 21 | -                                      | -                                                         |
| 0,075           | -1,12      | -1,14 bis -1,10 | 1                                   | 22 | 0,02                                   | Windkanalversuche Gras (Ah 78)                            |
| 0,081           | -1,09      | -1,09 bis -1,05 | 2                                   | 24 | 3,0                                    | Jülicher Messungen Gras                                   |
| 0,090           | -1,05      | -1,09 bis -1,05 |                                     |    | 2,0                                    | Windkanalversuche Gras (Ch 66)                            |
| 0,10            | -1,0       | -1,04 bis -1,00 | 1                                   | 25 | 3,0                                    | Windkanalversuche Gras (Ah 78)                            |
| 0,11            | -0,95      | -0,99 bis -0,95 | 2                                   | 27 | 2,75                                   | Windkanalversuche Gras (Li 77)                            |
| 0,11            | -0,95      | -0,99 bis -0,95 |                                     |    | -                                      | Freilandmessungen Gras (Me 56)                            |
| 0,13            | -0,90      | -0,94 bis -0,90 | 1                                   | 28 | 0,01-0,02                              | Windkanalversuche Gras (Wi 77)                            |
| 0,14            | -0,85      | -0,89 bis -0,85 | 1                                   | 29 | 0,01-0,02                              | Windkanalversuche Gras und Erde (Wi 77)                   |
| -               | -          | -0,84 bis -0,80 | 0                                   | 29 | -                                      | -                                                         |
| -               | -          | -0,79 bis -0,75 | 0                                   | 29 | -                                      | -                                                         |
| 0,20            | -0,70      | -0,74 bis -0,70 | 1                                   | 30 | -                                      | Freilandmessungen Gras (Ch 60)                            |
| 0,21            | -0,68      | -0,69 bis -0,65 | 1                                   | 31 | 0,7<br>(mittl. Massen-<br>durchmesser) | Freilandmessungen, polydisperse Aerosole auf Gras (Se 73) |
| -               | -          | -0,64 bis -0,60 | 0                                   | 31 | -                                      | -                                                         |
| 0,27            | -0,58      | -0,59 bis -0,55 | 1                                   | 32 | 3,0                                    | Jülicher Messungen Klee                                   |
| -               | -          | -0,54 bis -0,50 | 0                                   | 32 | -                                      | -                                                         |
| -               | -          | -0,49 bis -0,45 | 0                                   | 32 | -                                      | -                                                         |
| 0,38            | -0,42      | -0,44 bis -0,40 | 1                                   | 33 | -                                      | Freilandmessungen Gras (Gi 62)                            |
| -               | -          | -0,39 bis -0,35 | 0                                   | 33 | -                                      | -                                                         |
| -               | -          | -0,34 bis -0,30 | 0                                   | 33 | -                                      | -                                                         |
| -               | -          | -0,29 bis -0,25 | 0                                   | 33 | -                                      | -                                                         |
| -               | -          | -0,24 bis -0,20 | 0                                   | 33 | -                                      | -                                                         |
| 0,64            | -0,19      | -0,19 bis -0,15 | 1                                   | 34 | -                                      | Freilandmessungen Roggengras (L 60)                       |
| 0,74            | -0,13      | -0,14 bis -0,10 | 1                                   | 35 | -                                      | Freilandmessungen Gras (Me 56)                            |
| -               | -          | -0,09 bis -0,05 | 0                                   | 35 | -                                      | -                                                         |
| 0,96            | -0,02      | 0,04 bis 0,00   | 1                                   | 36 | 2,3<br>(CMD)                           | Freilandmessungen Sudangras (Ne 71)                       |
| -               | -          | 0,01 bis 0,05   | 0                                   | 36 | -                                      | -                                                         |
| -               | -          | 0,06 bis 0,10   | 0                                   | 36 | -                                      | -                                                         |
| 1,4             | 0,15       | 0,11 bis 0,15   | 2                                   | 38 | 2,0<br>(CMD)                           | Freilandmessungen Luzernenweide (Ne 71)                   |
| 1,4             | 0,15       | 0,11 bis 0,15   |                                     |    | 0,6<br>(CMD)                           | Freilandmessungen Luzernenweide (Ne 71)                   |
| 1,6             | 0,20       | 0,16 bis 0,20   | 1                                   | 39 | 0,6<br>(CMD)                           | Freilandmessungen Gras (Ne 71)                            |

Tabelle 7c: Statistik über in Jülich gemessene Ablagerungsgeschwindigkeiten  
(Ho 76), (Jo 81)

| $v_g$<br>(cm/s) | $\log v_g$ | Klasse          | Anzahl der<br>Werte n pro<br>Klasse | $\Sigma n$ | Aerosol-<br>durchmesser<br>( $\mu\text{m}$ ) | Bemerkungen                 |
|-----------------|------------|-----------------|-------------------------------------|------------|----------------------------------------------|-----------------------------|
| 0,011           | -1,96      | -1,99 bis -1,95 | 1                                   | 1          | 1,1                                          | Jülicher Messungen Gras     |
| 0,012           | -1,92      | -1,94 bis -1,90 | 1                                   | 2          | 3,2                                          | Jülicher Messungen Gras     |
| 0,013           | -1,89      | -1,89 bis -1,85 | 1                                   | 3          | 0,8                                          | Jülicher Messungen Gras     |
| -               | -          | -1,84 bis -1,80 | 0                                   | 3          | -                                            | -                           |
| -               | -          | -1,79 bis -1,75 | 0                                   | 3          | -                                            | -                           |
| -               | -          | -1,74 bis -1,70 | 0                                   | 3          | -                                            | -                           |
| -               | -          | -1,69 bis -1,65 | 0                                   | 3          | -                                            | -                           |
| 0,023           | -1,64      | -1,64 bis -1,60 | 4                                   | 7          | 1,4                                          | Jülicher Messungen Gras     |
| 0,023           | -1,64      | -1,64 bis -1,60 |                                     |            | 2,0                                          | Jülicher Messungen Klee     |
| 0,024           | -1,62      | -1,64 bis -1,60 |                                     |            | 0,4                                          | Jülicher Messungen Gras     |
| 0,024           | -1,62      | -1,64 bis -1,60 |                                     |            | 2,0                                          | Jülicher Messungen Gras     |
| -               | -          | -1,59 bis -1,55 | 0                                   | 7          | -                                            | -                           |
| 0,029           | -1,54      | -1,54 bis -1,50 | 1                                   | 8          | 1,1                                          | Jülicher Messungen Klee     |
| 0,035           | -1,46      | -1,49 bis -1,45 | 1                                   | 9          | 3,1                                          | Jülicher Messungen Weißklee |
| 0,038           | -1,42      | -1,44 bis -1,40 | 2                                   | 11         | 3,3                                          | Jülicher Messungen Gras     |
| 0,038           | -1,42      | -1,44 bis -1,40 |                                     |            | 3,1                                          | Jülicher Messungen Gras     |
| 0,043           | -1,37      | -1,39 bis -1,35 | 2                                   | 13         | 3,3                                          | Jülicher Messungen Klee     |
| 0,045           | -1,35      | -1,39 bis -1,35 |                                     |            | 2,9                                          | Jülicher Messungen Gras     |
| 0,049           | -1,31      | -1,34 bis -1,30 | 1                                   | 14         | 3,4                                          | Jülicher Messungen Gras     |
| -               | -          | -1,29 bis -1,25 | 0                                   | 14         | -                                            | -                           |
| 0,058           | -1,24      | -1,24 bis -1,20 | 2                                   | 16         | 4,0                                          | Jülicher Messungen Gras     |
| 0,059           | -1,23      | -1,24 bis -1,20 |                                     |            | 3,1                                          | Jülicher Messungen Klee     |
| 0,067           | -1,17      | -1,19 bis -1,15 | 1                                   | 17         | 3,8                                          | Jülicher Messungen Gras     |
| 0,078           | -1,11      | -1,14 bis -1,10 | 1                                   | 18         | 3,8                                          | Jülicher Messungen Klee     |
| 0,081           | -1,09      | -1,09 bis -1,05 | 2                                   | 20         | 5,0                                          | Jülicher Messungen Gras     |
| 0,081           | -1,09      | -1,09 bis -1,05 |                                     |            | 3,0                                          | Jülicher Messungen Gras     |
| -               | -          | -1,04 bis -1,00 | 0                                   | 20         | -                                            | -                           |
| -               | -          | -0,99 bis -0,95 | 0                                   | 20         | -                                            | -                           |
| -               | -          | -0,94 bis -0,90 | 0                                   | 20         | -                                            | -                           |
| 0,14            | -0,85      | -0,89 bis -0,85 | 2                                   | 22         | 6,5                                          | Jülicher Messungen Gras     |
| 0,14            | -0,85      | -0,89 bis -0,85 |                                     |            | 5,0                                          | Jülicher Messungen Klee     |
| 0,15            | -0,82      | -0,84 bis -0,80 | 1                                   | 23         | 3,7                                          | Jülicher Messungen Gras     |
| -               | -          | -0,79 bis -0,75 | 0                                   | 23         | -                                            | -                           |

**Tabelle 7c: Statistik über in Jülich gemessene Ablagerungsgeschwindigkeiten (Ho 76), (Jo 81) (Fortsetzung)**

| $v_g$<br>(cm/s) | $\log v_g$ | Klasse          | Anzahl der<br>Werte n pro<br>Klasse | zn | Aerosol-<br>durchmesser<br>( $\mu\text{m}$ ) | Bemerkungen                                     |
|-----------------|------------|-----------------|-------------------------------------|----|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 0,18            | -0,73      | -0,74 bis -0,70 | 1                                   | 24 | 4,6                                          | Jülicher Messungen Gras                         |
| 0,22            | -0,66      | -0,69 bis -0,65 | 1                                   | 25 | 4,0                                          | Jülicher Messungen Klee                         |
| 0,25            | -0,60      | -0,64 bis -0,60 | 1                                   | 26 | 3,7                                          | Jülicher Messungen Gras (monodisperse Partikel) |
| 0,27            | -0,58      | -0,59 bis -0,55 | 2                                   | 28 | 5,2                                          | Jülicher Messungen Gras                         |
| 0,27            | -0,58      | -0,59 bis -0,55 |                                     |    | 3,0                                          | Jülicher Messungen Klee                         |
| -               | -          | -0,54 bis -0,50 | 0                                   | 28 | -                                            | -                                               |
| -               | -          | -0,49 bis -0,45 | 0                                   | 28 | -                                            | -                                               |
| 0,38            | -0,42      | -0,44 bis -0,40 | 1                                   | 29 | 4,3                                          | Jülicher Messungen Gras                         |
| 0,43            | -0,37      | -0,39 bis -0,35 | 1                                   | 30 | 5,4                                          | Jülicher Messungen Gras (monodisperse Partikel) |
| -               | -          | -0,34 bis -0,30 | 0                                   | 30 | -                                            | -                                               |
| -               | -          | -0,29 bis -0,25 | 0                                   | 30 | -                                            | -                                               |
| -               | -          | -0,24 bis -0,20 | 0                                   | 30 | -                                            | -                                               |
| -               | -          | -0,19 bis -0,15 | 0                                   | 30 | -                                            | -                                               |
| 0,76            | -0,12      | -0,14 bis -0,10 | 1                                   | 31 | 5,7                                          | Jülicher Messungen Gras (monodisperse Partikel) |
| -               | -          | -0,09 bis -0,05 | 0                                   | 31 | -                                            | -                                               |
| -               | -          | -0,04 bis 0,00  | 0                                   | 31 | -                                            | -                                               |
| -               | -          | 0,01 bis 0,05   | 0                                   | 31 | -                                            | -                                               |
| -               | -          | 0,06 bis 0,10   | 0                                   | 31 | -                                            | -                                               |
| -               | -          | 0,11 bis 0,15   | 0                                   | 31 | -                                            | -                                               |
| -               | -          | 0,16 bis 0,20   | 0                                   | 31 | -                                            | -                                               |
| -               | -          | 0,21 bis 0,25   | 0                                   | 31 | -                                            | -                                               |
| -               | -          | 0,26 bis 0,30   | 0                                   | 31 | -                                            | -                                               |
| 2,16            | 0,33       | 0,31 bis 0,35   | 1                                   | 32 | 8,9                                          | Jülicher Messungen Gras (monodisperse Partikel) |
| 2,34            | 0,37       | 0,36 bis 0,40   | 1                                   | 33 | 7,1                                          | Jülicher Messungen Gras (monodisperse Partikel) |
| -               | -          | 0,41 bis 0,45   | 0                                   | 33 | -                                            | -                                               |
| -               | -          | 0,46 bis 0,50   | 0                                   | 33 | -                                            | -                                               |
| -               | -          | 0,51 bis 0,55   | 0                                   | 33 | -                                            | -                                               |
| -               | -          | 0,56 bis 0,60   | 0                                   | 33 | -                                            | -                                               |
| -               | -          | 0,61 bis 0,65   | 0                                   | 33 | -                                            | -                                               |
| 4,52            | 0,66       | 0,66 bis 0,70   | 1                                   | 34 | 17,1                                         | Jülicher Messungen Gras (monodisperse Partikel) |
| -               | -          | 0,71 bis 0,75   | 0                                   | 34 | -                                            | -                                               |
| 6,31            | 0,80       | 0,76 bis 0,80   | 1                                   | 35 | 16,8                                         | Jülicher Messungen Gras (monodisperse Partikel) |
| -               | -          | 0,81 bis 0,85   | 0                                   | 35 | -                                            | -                                               |
| -               | -          | 0,86 bis 0,90   | 0                                   | 35 | -                                            | -                                               |
| 8,12            | 0,91       | 0,91 bis 0,95   | 1                                   | 36 | 14,4                                         | Jülicher Messungen Gras (monodisperse Partikel) |

Durchmesser, bei dem die von den Aerosolen erzeugte Masse 50 % der Gesamtmasse ausmacht. Partikel mit geometrischen Durchmessern von  $2,75 \mu\text{m}$  und  $5 \mu\text{m}$  in (Li 77) waren monodispers. Die Durchmesserbestimmung der Partikel in (Wi 77) erfolgte elektronenmikroskopisch. Angaben über die Polydispersität der Partikel liegen nicht vor.

Die Freilandversuche wurden, soweit es auch aus den Veröffentlichungen (Me 56), (Ch 60), (L 60), (Gi 62), (Ne 71) und (Se 73) zu entnehmen war, bei Schubspannungsgeschwindigkeiten von  $5,7$  bis  $56,7 \text{ cm/s}$  durchgeführt. Damit wird der Bereich der meteorologisch relevanten Werte erfaßt. Der Meßbereich der Schubspannungsgeschwindigkeiten bei den Windkanalversuchen lag zwischen  $25 \text{ cm/s}$  und  $140 \text{ cm/s}$ , wobei in (Li 77) und (Wi 77) Angaben hierüber fehlen. Die Trockenmasse schwankte bei den Experimenten in Jülich zwischen  $0,005$  und  $0,048 \text{ g/cm}^2$ . Der Mittelwert der Trockenmasse betrug  $0,016 \text{ g/cm}^2$ , was etwa dem von (Hf 73) mit  $0,017 \text{ g/cm}^2$  angegebenen Wert für die Trockenmasse von Vegetation in der Hauptwachstumsperiode entspricht (Kap. 6). In der Literatur fehlen Angaben über diese Meßgröße (Kap. 9).

Für den bestimmungsgemäßen Betrieb scheint es gerechtfertigt, Mittelwerte der Ablagerungsgeschwindigkeit anzugeben, da sich Schwankungen in der Aerosolverteilung und Schubspannungsgeschwindigkeit im langjährigen Mittel aufheben (Kap. 6). Bei Störfällen dagegen ist es notwendig, eine ausreichend konservative Abschätzung vorzunehmen. Erfolgt die Freisetzung der Schadstoffe z.B. bei Störfällen nicht über Filter, so kann die Verteilung der Meßwerte der Ablagerungsgeschwindigkeit von Partikeln mit Durchmessern bis zu  $20 \mu\text{m}$  zugrundegelegt werden (Abb. 15a). Werden Aerosole bei der Freisetzung gefiltert, so ist Abb. 15b als Grundlage für die Abschätzung einer mittleren Ablagerungsgeschwindigkeit geeignet.

Die Abbildungen zeigen, daß die sich aus den Jülicher Freilandversuchen und den Literaturstellen (Me 56), (Ch 60), (L 60), (Gi 62), (Ch 66), (Ne 71), (Se 73), (Cl 75), (Li 77), (Wi 77), (Ah 78) ergebenden Werte der Ablagerungsgeschwindigkeit nahezu lognormalverteilt sind. Paßt man die Häufigkeitsverteilungen durch eine Gerade an, so ergeben sich für die Anpassungen in Abb. 15a bzw. 15b Korrelationskoeffizienten von  $0,98$  bzw.  $0,97$ . Die Anzahl der Klassen beträgt  $58$  in Abb. 15a und  $43$  in Abb. 15b. Die Zufallsgrenze für die Anpassung von  $58$  bzw.  $43$  Werten entspricht nach (Ba 53) einem Korrelationskoeffizienten von  $0,39$  bzw.  $0,44$ . Der Mittelwert der Verteilung liegt für

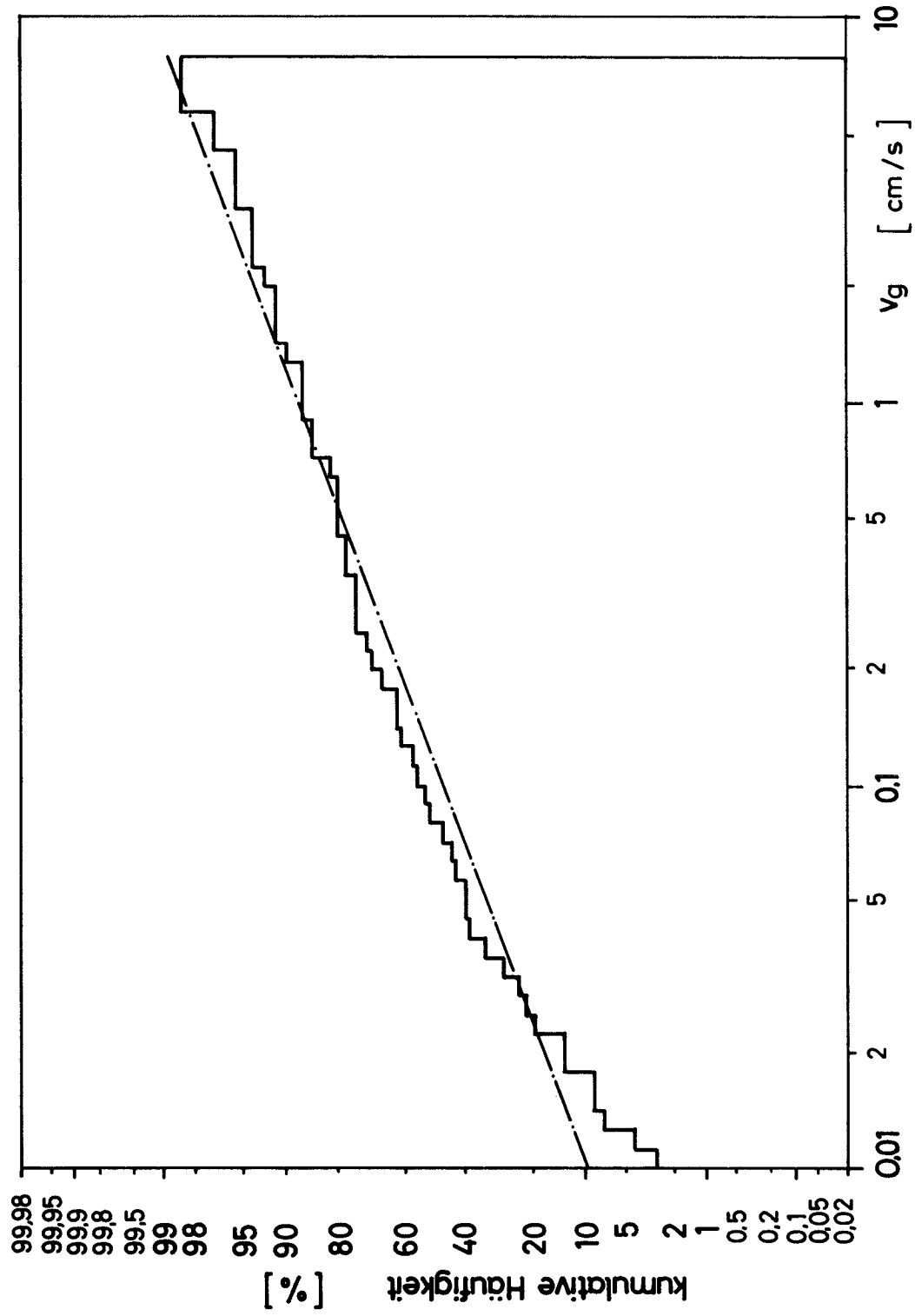


Abb. 15a: Kumulative Verteilung gemessener Ablagerungsgeschwindigkeiten von Aerosolen mit Durchmessern bis zu  $20 \mu\text{m}$  auf Vegetation (Me 56), (Ch 60), (L 60), (Gi 62), (Ch 66), (Ne 71), (Se 73), (Cl 75), (Li 77), (Wi 77), (Ah 78) und Ergebnisse der Jülicher Freilandmessungen (Ho 76), (Jo 81))

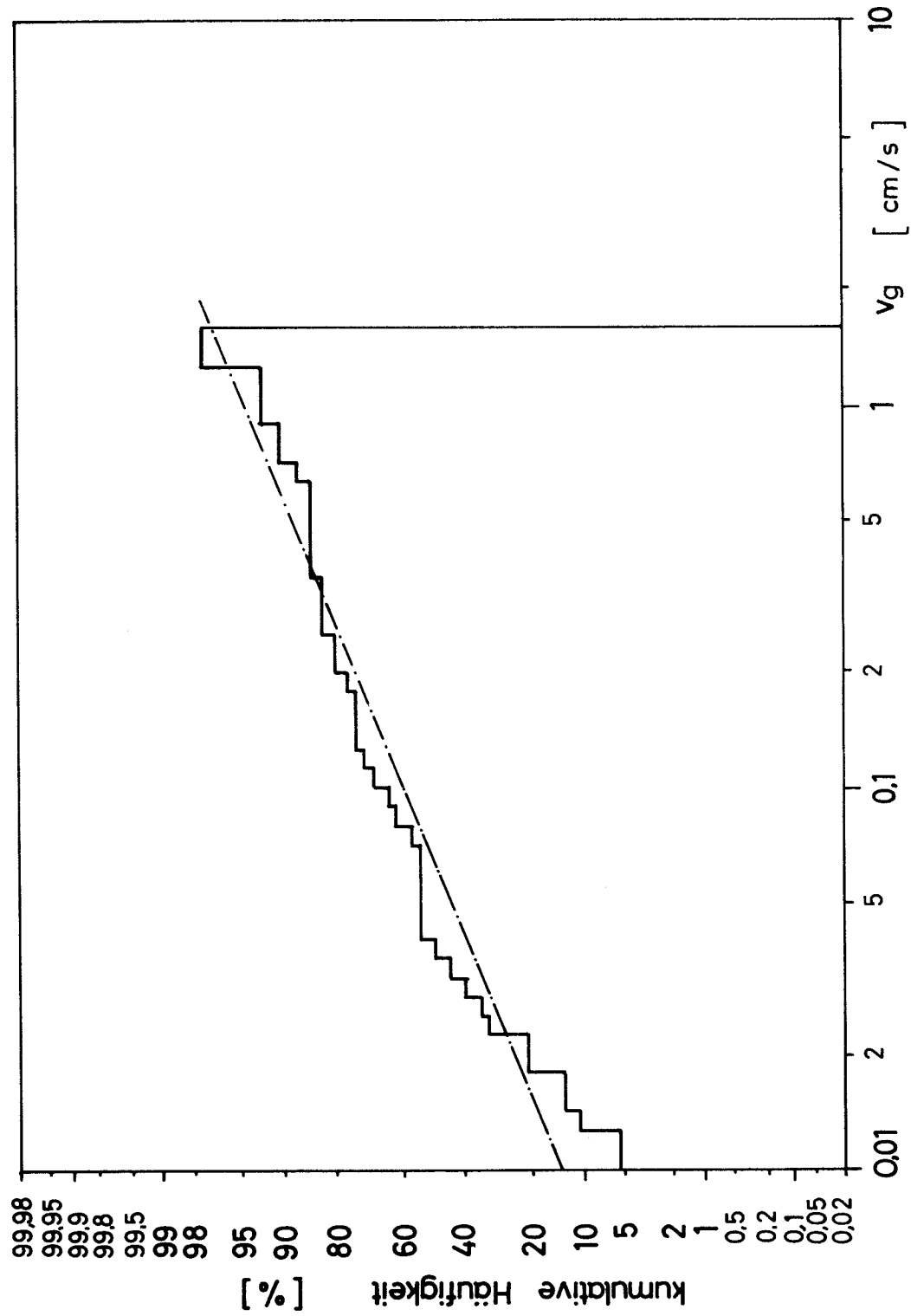


Abb. 15b: Kumulative Verteilung gemessener Ablagerungsgeschwindigkeiten von Aerosolen mit Durchmessern bis zu 3  $\mu\text{m}$  auf Vegetation ((Me 56), (Ch 60), (L 60), (Gi 62), (Ch 66), (Ne 71), (Se 73), (Cl 75), (Li 77), (Wi 77), (Ah 78) und Ergebnisse der Jülicher Freilandmessungen (Ho 76), Jo 81))

Partikeldurchmesser  $< 20 \mu\text{m}$  (Abb. 15a) bei  $0,11 \text{ cm/s}$ , womit die in (Bg 79) empfohlene Falloutkonstante um etwa 10 % überschritten wird. Mehr als 50 % der Werte sind somit größer als  $0,1 \text{ cm/s}$ . Infolge der großen Häufigkeit von Überschreitungen dieses Wertes sollte bei der Abschätzung einer Ablagerungsgeschwindigkeit für Einzelfälle, die eine pessimistische Betrachtung erfordern, von einem geeigneten Perzentilwert ausgegangen werden. Hierbei ist zu bemerken, daß die Festlegung eines Perzentils, das als ausreichend konservativ angesehen werden kann, aufgrund der Vorgabe eines Konservativitätsgrades für bestimmte Anwendungen, z.B. in Störfällen, erfolgt. Aus der Abbildung kann man ablesen, daß sich beim 95-Perzentilwert eine Ablagerungsgeschwindigkeit von  $2,5 \text{ cm/s}$  ergibt, beim 80-Perzentilwert eine Ablagerungsgeschwindigkeit von  $0,55 \text{ cm/s}$  und beim 60-Perzentilwert eine Ablagerungsgeschwindigkeit von  $0,18 \text{ cm/s}$ . Das bedeutet, daß diese Werte für Umweltbelastungsberechnungen angesetzt werden können, wenn man sich auf das 60-, 80- und 95-Perzentil festlegt. Unter Hinzunahme von Tabelle 7a kann festgestellt werden, daß durch den 95-Perzentilwert Partikeldurchmesser bis zu  $9 \mu\text{m}$ , durch den 80-Perzentilwert Partikeldurchmesser bis zu  $7 \mu\text{m}$  und durch den Mittelwert der Verteilung Partikeldurchmesser bis zu  $5 \mu\text{m}$  erfaßt werden.

Als Ablagerungsgeschwindigkeit für Langzeitberechnungen im Rahmen des bestimmungsgemäßen Betriebes von Kernkraftwerken (Abb. 15b) kann nach den obigen Ausführungen der Mittelwert der Verteilung als repräsentativ angesehen werden. Dieser liegt mit  $0,07 \text{ cm/s}$  um etwa 30 % unter dem in den Berechnungsgrundlagen empfohlenen Wert.

Die in diesem Kapitel und in Kap. 6 durchgeführten Untersuchungen zeigen, daß die in (Bg 79) mit  $0,1 \text{ cm/s}$  angesetzte Ablagerungsgeschwindigkeit für den bestimmungsgemäßen Betrieb und ggf. für Störfälle mit gefilterter Freisetzung der Abluft ausreichend konservativ ist.

Berücksichtigt man in einer statistischen Verteilung nur die in Jülich für Aerosole mit Durchmessern von  $0,4 \mu\text{m}$  bis  $17 \mu\text{m}$  ermittelten Ablagerungsgeschwindigkeiten (Tabelle 7c, Abb. 15c), so kann aus Abb. 15c abgelesen werden, daß sich beim 50-, 60-, 80- und 95-Perzentilwert Ablagerungsgeschwindigkeiten von  $0,12 \text{ cm/s}$ ,  $0,20 \text{ cm/s}$ ,  $0,63 \text{ cm/s}$  und  $3,2 \text{ cm/s}$  ergeben. Diese Werte unterscheiden sich um höchstens 20 % von denen in Abb. 15a. Dies zeigt, daß eine befriedigende Übereinstimmung zwischen den in Jülich gemessenen Ablagerungs-

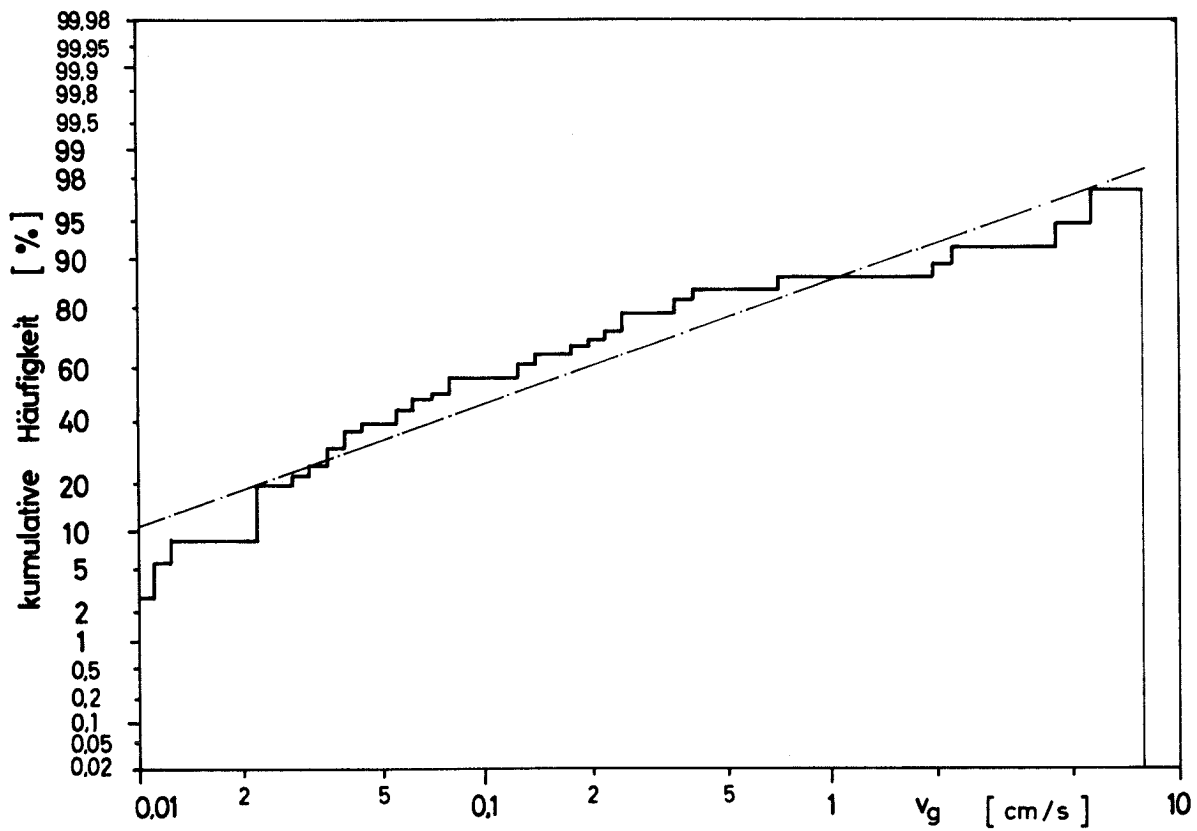


Abb. 15c: Kumulative Verteilung der in Jülich gemessenen Ablagerungsgeschwindigkeiten (Ho 76), (Jo 81)

geschwindigkeiten und Literaturwerten hinsichtlich der kumulativen Verteilungen gegeben ist.

Im Gegensatz zur Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen gelangt bei der Emission von Schadstoffen aus konventionellen Kraftwerken, z.B. Kohlekraftwerken, ein beträchtlicher Anteil von Staubpartikeln größer als einige  $\mu\text{m}$  in die Atmosphäre, da die zur Filterung der Abluft verwendeten Elektrofilter eine größere Durchlässigkeit gegenüber großen Partikeln besitzen als Aerosolfilter bei Kernkraftwerken. 50 % der mit der Abluft aus Steinkohlekraftwerken austretenden Partikel sind nach (Bo 80) größer als 4  $\mu\text{m}$ , davon die Hälfte über 10  $\mu\text{m}$ . Legt man der Berechnung einer Ablagerungsgeschwindigkeit die in (Bo 80) angegebene Partikelgrößenverteilung zugrunde, so ergibt sich für Steinkohlekraftwerke eine mittlere Falloutkonstante von 2,6 cm/s.

## 11 ZUSAMMENFASSUNG

In 52 Freilandversuchen wurde die für Umweltbelastungsberechnungen benötigte Ablagerungsgeschwindigkeit von Aerosolen experimentell bestimmt. Dabei wurde neben der Ablagerungsgeschwindigkeit auf Gras, die für die Beurteilung der Umweltbelastung durch Kernkraftwerke als charakteristische Ablagerungsgröße angesehen werden kann, die Ablagerungsgeschwindigkeit auf Klee, Erdboden und künstlichen Oberflächen (glatte und strukturierte Metalle, Filter) untersucht.

Bei den Experimenten wurden als Aerosolgeneratoren ein Zweistoffdüsengenerator zur Erzeugung polydisperser Aerosole mit einem repräsentativen Durchmesser zwischen  $0,4\text{ }\mu\text{m}$  und  $6,5\text{ }\mu\text{m}$  und ein nach Strahlenschutzaspekten umgebauter Berglund-Liu-Generator für monodisperse Partikel mit einem Aerosoldurchmesser von 4 bis  $17\text{ }\mu\text{m}$  eingesetzt. Das Partikeldurchmesserspektrum wurde mit einem optischen Partikelzählgerät bestimmt. Die Meßergebnisse der Ablagerungsgeschwindigkeiten konnten, soweit ein Vergleich möglich war, durch Literaturwerte bestätigt werden.

Als Resultat der Ablagerungsexperimente auf Gras konnte eine mathematische Beziehung über den Zusammenhang der Ablagerungsgeschwindigkeit mit der Vegetationstrockenmasse, der Schubspannungsgeschwindigkeit, die die Turbulenz in der bodennahen Atmosphäre charakterisiert, und dem Partikeldurchmesser aufgestellt werden.

Demnach war die Ablagerungsgeschwindigkeit proportional zur Schubspannungsgeschwindigkeit  $v_g \sim u_*$ .

Die in bezug auf die Grasdichte unterproportionale Ablagerungsgeschwindigkeit  $v_g \sim D^{0,8}$  bedeutet, daß Abschattungseffekte zu einem reduzierten Durchgriff (Sättigungseffekt) führen.

Der funktionale Zusammenhang zwischen Ablagerungsgeschwindigkeit und Partikeldurchmesser ist kompliziert. Die Ablagerungsgeschwindigkeit konnte als Umkehrfunktion eines Polynoms 3. Grades in Abhängigkeit vom Partikeldurchmesser dargestellt werden. Dabei ergibt sich, daß die Ablagerungsgeschwindigkeit in dem durch Turbulenzablagerung gekennzeichneten Durchmesserbereich zwischen 4 und  $6\text{ }\mu\text{m}$  besonders stark (etwa um einen Faktor 10) zunimmt, wäh-

rend für große Partikel, bei denen die Sedimentation zu einem signifikanten Abscheidemechanismus wird, der Anstieg der Ablagerungsgeschwindigkeit nachläßt. Legt man der Angabe von Ablagerungsgeschwindigkeiten eine im Jahresmittel zu erwartende Schubspannungsgeschwindigkeit von 27 cm/s (Ho 76) und eine für die Hauptwachstumsperiode repräsentative Trockenmasse des Grases von  $0,017 \text{ g/cm}^2$  (Hf 73) zugrunde, so ergeben sich z.B. für Partikeldurchmesser von 4, 6, 10 und 15  $\mu\text{m}$  Ablagerungsgeschwindigkeiten von 0,13 cm/s, 1,1 cm/s, 4,6 cm/s und 8,7 cm/s (Gleichung (27), Kap. 5).

Ein Minimum der Ablagerungsgeschwindigkeit, das nach der Literatur aufgrund von wenig wirksamen Diffusions-, Interzeptions- und Trägheitseffekten im Durchmesserbereich zwischen 0,1 und 1  $\mu\text{m}$  zu erwarten ist, konnte nicht festgestellt werden, da die bei den Experimenten vorkommenden Partikel (Durchmesserbereich 0,4 bis 17,1  $\mu\text{m}$ ) zu groß waren.

Die in Jülich durchgeführten Freilandversuche zeigen, daß die Ablagerungsgeschwindigkeit von Aerosolen weitgehend unabhängig von der Feuchtigkeit der Vegetationsoberfläche ist. Die Ablagerungsgeschwindigkeit auf trockenem Klee war etwa um den Faktor 2 höher, die Ablagerungsgeschwindigkeit auf künstlichen Grenzflächen (strukturierten und glatten Metallen, Filter) und Erdboden etwa um einen Faktor 3 bzw. 2 niedriger als auf Gras.

Bei der Ermittlung von Werten für die Ablagerungsgeschwindigkeit im Normalbetrieb von Kernkraftwerken und bei Störfällen kann davon ausgegangen werden, daß

- 1) im bestimmungsgemäßen Betrieb und bei Störfällen, wenn die Freisetzung über Filter erfolgt, ein Partikeldurchmesser von 3  $\mu\text{m}$  nicht überschritten wird,
- 2) bei Störfällen, bei denen radioaktive Stoffe nicht gefiltert über den Kamin freigesetzt werden, auch größere Partikel in die Atmosphäre gelangen können,
- 3) sich Unterschiede in der Aerosolgrößenverteilung, Schubspannungsgeschwindigkeit und Trockenmasse im Mittel aufheben und daher für den Langzeitbetrieb von Kernkraftwerken ohne Bedeutung sind.

Für eine im Jahresmittel auf 27 cm/s geschätzte Schubspannungsgeschwindigkeit und eine für die Hauptwachstumsperiode repräsentative Trockenmasse des

Weidegrases von  $0,017 \text{ g/cm}^2$  ergibt sich bei einem Partikeldurchmesser von  $1 \text{ }\mu\text{m}$  eine Ablagerungsgeschwindigkeit von  $0,01 \text{ cm/s}$ ; bei Partikeldurchmessern von  $2 \text{ }\mu\text{m}$ ,  $3 \text{ }\mu\text{m}$ ,  $4 \text{ }\mu\text{m}$ ,  $5 \text{ }\mu\text{m}$  und  $10 \text{ }\mu\text{m}$  erhält man Ablagerungsgeschwindigkeiten von  $0,02 \text{ cm/s}$ ,  $0,05 \text{ cm/s}$ ,  $0,13 \text{ cm/s}$ ,  $0,42 \text{ cm/s}$  und  $4,6 \text{ cm/s}$ , woraus folgt, daß der in der "Allgemeinen Berechnungsgrundlage" (Bg 79) mit  $0,1 \text{ cm/s}$  empfohlene Referenzwert für den bestimmungsgemäßen Betrieb und die meisten Störfälle als ausreichend konservativ angesehen werden kann.

Die Konservativität der in der "Allgemeinen Berechnungsgrundlage" mit  $0,1 \text{ cm/s}$  angesetzten Falloutkonstante konnte für den bestimmungsgemäßen Betrieb und die meisten Störfälle auch durch die kumulative Verteilung gemessener Ablagerungsgeschwindigkeiten von Aerosolen auf Vegetation belegt werden. Dabei wurden die Jülicher Meßwerte und die in Windkanal- und Freilandversuchen bestimmten Literaturwerte in 2 Statistiken aufgenommen, die einerseits Ablagerungsgeschwindigkeiten von Partikeln mit Durchmessern bis zu  $3 \text{ }\mu\text{m}$ , andererseits Ablagerungsgeschwindigkeiten mit Durchmessern bis zu  $20 \text{ }\mu\text{m}$  enthielten.

Der Mittelwert der Statistik mit Durchmessern bis zu  $3 \text{ }\mu\text{m}$  lag bei  $0,07 \text{ cm/s}$ . Der 95-Perzentilwert der Häufigkeitsverteilung von Ablagerungsgeschwindigkeiten mit Durchmessern bis zu  $20 \text{ }\mu\text{m}$  betrug  $2,5 \text{ cm/s}$ . Durch den 95 Perzentilwert dieser Statistik konnten Partikel mit Durchmessern bis zu  $9 \text{ }\mu\text{m}$  erfaßt werden.

Für die Emission von Partikeln aus Kohlekraftwerken muß ein höherer Wert der Ablagerungsgeschwindigkeit als für den bestimmungsgemäßen Betrieb von Kernkraftwerken angesetzt werden. Legt man der Bestimmung einer Ablagerungsgeschwindigkeit die für Steinkohlekraftwerke repräsentative Partikelgrößenverteilung nach (Bo 80) zugrunde, bei der 50 % der Partikel größer als  $4 \text{ }\mu\text{m}$  sind, so ergibt sich ein Mittelwert von  $2,6 \text{ cm/s}$ .

## 12 LITERATURVERZEICHNIS

- Ah 78 A. Ahmed, J. Porstendörfer, G. Röbig:  
Dry deposition of monodisperse particles on simulated grass surfaces.  
Atmospheric pollution 1978. Proceedings of the 13th International Colloquium, Paris, France, April 25-28. M.M. Benario (Ed.) Studies in Environmental Science, Vol. 1, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, printed in the Netherlands, 279-283 (1978)
- Ah 79 A. Ahmed:  
Untersuchungen zur Aerosoldeposition an Oberflächen.  
Dissertation an der Universität Gießen, 1979
- Ba 53 F. Bauer:  
Linkes Meteorologisches Taschenbuch  
Akademische Verlagsgesellschaft Leipzig Geest und Portig, K.G. 1953
- Be 76 P. Bergner, H.J. Fißan, C. Helsper:  
Erzeugung monodisperser Aerosole in einem Größenbereich zwischen 1 und 10  $\mu\text{m}$  mit dem Berglund-Liu-Generator  
Auszüge aus der Ingenieursexamensarbeit von P. Bergner, Gesamthochschule Duisburg, 1976
- Bg 79 Allgemeine Berechnungsgrundlage für die Strahlenexposition durch radioaktive Ableitungen mit der Abluft oder in Oberflächengewässer (Richtlinie zu § 45 StrlSchV) GMBI 1979, 21, 371-435 (1979)
- Bo 80 H. Bonka:  
Fallout- und Washoutfaktor für Aerosole und Jod für einen Vergleich der Strahlenexposition durch radioaktive Emissionen aus Kernkraft- und Kohlekraftwerken. Vortrag im Seminar Radioökologie und Strahlenschutz, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes Berlin, 1981
- Ch 53 A.C. Chamberlain:  
Aspects of travel and deposition of aerosols and vaopour clouds.  
British Report A.E.R.E., HP/R1261 (1953)
- Ch 60 A.C. Chamberlain:  
Aspects of the deposition of radioactive and other gases and particles.  
Auszug aus "Aerodynamic Capture of Particles", edited by E.G. Richardson, Pergamon Press New York 63-88 (1960)
- Ch 66 A.C. Chamberlain:  
Transport of lycopodium spores and other small particles to rough surfaces.  
Proc. Roy. Soc. A, 296, 45 - 70 (1966)
- Cl 73 W.S. Clough:  
Transport of particles to surfaces.  
J. Aerosol Science 2, 227-234 (1973)
- Cl 75 W.S. Clough:  
The deposition of particles on moss and grass surfaces.  
Atmos. Env. 9, 1113-1119 (1975)

- Da 71 M.T. Dana:  
Washout of soluble dry particles.  
Pacific Northwest Laboratory Annual Report for 1970 to the USAEC Division of Biology and Medicine, Vol. II, Physical Sciences, Part 1, Atmospheric Sciences, BNWL 1551-1, 63-67, Batelle-Northwest, Richland, Washington (1971)
- Fu 64 N.A. Fuchs:  
The Mechanics of Aerosols, translated by C.N. Davies.  
Oxford Pergamon Press, 1964
- Gi 62 F.A. Gifford and D.H. Pack:  
Surface deposition of airborne material.  
Nuclear Safety 3, 4 (Juni 1962)
- Hf 73 F.O. Hoffman:  
Environmental variables involved with the estimation of the amount of <sup>131</sup>I in milk and the subsequent dose to the thyroid.  
JRSW-6 (Juni 1973)
- Hn 76 K. Heinemann, K.J. Vogt, L. Angeletti:  
Untersuchungen zur Ablagerung und Desorption von Jod auf Vegetation.  
Jül-1287 (1976)
- Hn 80 K. Heinemann and K.J. Vogt:  
Measurements of the deposition of iodine onto vegetation and of the biological half-life of iodine onto vegetation.  
Health Physics 39, 463-474
- Ho 76 M. Horbert, K.J. Vogt, L. Angeletti:  
Untersuchungen zur Ablagerung von Aerosolen auf Vegetation und anderen Grenzflächen.  
Jül-1288 (1976)
- Hr 81 C. Helsper:  
mündliche Mitteilung, Gesamthochschule Duisburg (1981)
- Jo 78 R. Jonas:  
Zur Problematik der Bestimmung der Ablagerungsgeschwindigkeit von Aerosolen auf Vegetation und anderen Grenzflächen - eine Literaturstudie -  
ZST-Bericht Nr. 272 (Juni 1978)
- Jo 79 R. Jonas:  
Laborversuche mit dem Berglund-Liu-Generator.  
Laborbericht Nr. U 4/79 (Abteilung Strahlenschutz der KFA), 1979
- Jo 81 R. Jonas, K.J. Vogt:  
Freilandversuche zur Messung der Ablagerungsgeschwindigkeit von Aerosolen auf Vegetation und anderen Probenahmeflächen  
- Dokumentation der Ergebnisse -  
JÜL-Spez-126 (1981)
- L 60 S.E. Lifton et al:  
Fission product field release test II  
Report NARF 60-10T, 1960 - USA Air Force, Nuclear Aircraft Research Facility, operated by Convair, a division of General Dynamics Corporation

- Li 77 P. Little:  
Deposition of 2,75, 5 and 8,5  $\mu$ m particles to plant and soil surfaces.  
Env. Poll. 12, 293-305 (1977)
- Me 56 W.J. Megaw and R.C. Chadwick:  
Some field experiments on the release and deposition of fission products and theoria.  
AERE-HPIM 114 (1956)
- Ne 71 D.N. McNellis, S.C. Black et al:  
Radioiodine field studies with synthetic aerosols. Radiological Research Program, Southwestern Laboratory Environmental Projection Agency, 1971
- Ow 74 M.J. Owers and A.W. Powell:  
Deposition velocity of sulfure dioxide on land and water surfaces using a  $^{35}\text{S}$  tracer method.  
Atmos. Env. 8, 63-67 (1974)
- Pq 74 F. Pasquill:  
Atmospheric Diffusion.  
Haltstet Press, New York, London, Sydney, Toronto 1974
- Ra 70 G.S. Raynor et al:  
Experimental data on dispersion and deposition of timothy and corn pollen from known sources.  
Brookhaven Laboratory Upton, New York, BNL 50266 (1970)
- Rn 70 G.S. Raynor:  
Experimental data on ragweed pollen dispersion and deposition from point and area sources.  
Brookhaven Laboratory Upton, New York BNL 50244 (1970)
- Se 71 G.A. Sehmel:  
Particle diffusivities and deposition velocities over a horizontal smooth surface.  
J. Colloid and Interface Sc. 37, 891-906 (1971)
- Se 73 G.A. Sehmel:  
Particle eddy diffusivities and deposition velocities for isothermal flow and smooth surfaces.  
Aerosol Science 4, 125-128 (1973)
- Se 73 G.A. Sehmel, S.L. Sutter, and M.T. Dana:  
Dry deposition processes  
Pacific Northwest Laboratory. Annual report for 1972 to the USAEC, Division of Biology and Medicine, Vol. II : Physical Sciences Part 1, Atmospheric Sciences BNWL 1751-1, Batelle Richland WA, 43-50 (April 1973)
- Sl 77 W.G.N. Slinn:  
Some approximations for the wet and dry removal of particles and gases from the atomosphere.  
Water, Air and Soil Pollution 7, 513-543 (1977)
- Sn 64 Schneider and Hendricks:  
Rev. Sci. Instrum. 35 (10), 1349-50 (1964)

- Vg 71 K.J. Vogt, K. Heinemann, H. Nordsieck, G. Polster, F. Rohloff und L. Angeletti:  
Jahresbericht 1970-1971, Ausbreitung und Ablagerung.  
Jül-807 (1971)
- Vg 73 K.J. Vogt, H. Geiß, H. Nordsieck, G. Polster und F. Rohloff:  
Untersuchungen zur Ausbreitung von Abluftfahnen in der Atmosphäre.  
Jül-998-ST (1973)
- Wi 77 P. Little and R.D. Wiffen:  
Emission and deposition of petrol engine exhaust-I. Deposition of exhaust Pb to plant and soil surfaces.  
Atmos. Env. 11, 437-447 (1977)
- Zi 68 J.D. Zimbrick and P.G. Voillequé (Ed):  
Controlled environmental radioiodine tests at the national reactor testing station.  
Progress Report Nr. 4, IDO 12065 (1968)

## 13 SYMBOLVERZEICHNIS

|                 |                                                                     |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------|
| $a$             | pro Zeiteinheit abgeschiedene Teilchenmenge                         |
| $a_0, a_1, a_2$ | Koeffizienten in den Gleichungen (27) und (31)                      |
| $a_3$           |                                                                     |
| $c$             | Cunninghamsche Konstante                                            |
| $c_0$           | = 1/cm (Normierungsfaktor in Gl. (28))                              |
| $d$             | Partikeldurchmesser                                                 |
| $d_{ae}$        | aerodynamischer Durchmesser                                         |
| $d_j$           | Düsendurchmesser                                                    |
| $d_T$           | Durchmesser eines Tropfens                                          |
| $d_Z$           | Durchmesser eines Zylinders (Gl. (6))                               |
| $f$             | Frequenz                                                            |
| $f_1, f_2, f_3$ | von der Reynoldsschen Zahl abhängige Funktionen in Gl. (6)          |
| $j$             | Kanalnummer                                                         |
| $k$             | v. Karman-Konstante                                                 |
| $l$             | mittlere freie Weglänge von Luftmolekülen                           |
| $n_j$           | Anzahl der Teilchen pro Kanal $j$                                   |
| $r$             | Partikelradius                                                      |
| $u(z)$          | Windgeschwindigkeit in der Höhe $z$                                 |
| $u_0$           | Windgeschwindigkeit im ungestörten Zustand                          |
| $u_*$           | Schubspannungsgeschwindigkeit                                       |
| $v_g$           | (mittlere) Ablagerungsgeschwindigkeit                               |
| $v_{gG}$        | mittlere Ablagerungsgeschwindigkeit auf Gras                        |
| $v_{gKl}$       | mittlere Ablagerungsgeschwindigkeit auf Klee                        |
| $v_s$           | Sinkgeschwindigkeit                                                 |
| $v_D$           | mittlere, auf die Trockenmasse normierte Ablagerungsgeschwindigkeit |
| $z$             | Höhe                                                                |
| $z_0$           | Rauhigkeitslänge                                                    |
| $A$             | Faktor in Gl. (15) und in Gl. (18) liegt zwischen 3,5 und 7         |
| $B$             | Biologischer Qualitätsfaktor                                        |
| $C$             | Konzentration einer Kupfersulfatlösung in g pro 100 ml $H_2O$       |
| $C_0$           | Partikelkonzentration in 1 cm über dem Boden                        |
| $C_p$           | Partikelkonzentration                                               |
| $D$             | (mittlere) Trockenmasse der Vegetation                              |
| $D_G$           | mittlere Trockenmasse des Grases                                    |
| $D_{Kl}$        | mittlere Trockenmasse des Klees                                     |

|                                          |                                                                                                                    |
|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $E$                                      | Abscheidegrad                                                                                                      |
| $E_{Di}$                                 | Abscheidegrad durch molekulare Diffusion                                                                           |
| $E_{Int}$                                | Abscheidegrad durch Interzeption                                                                                   |
| $E_T$                                    | Abscheidegrad durch Trägheitseffekte                                                                               |
| $F$                                      | relative Feuchte                                                                                                   |
| $H_i$                                    | Anteil eines kumulativen Volumens am Gesamtvolumen                                                                 |
| $I$                                      | zeitintegrierte Luftkonzentration                                                                                  |
| $K_m$                                    | molekularer Diffusionskoeffizient                                                                                  |
| $K_t$                                    | turbulenter Diffusionskoeffizient                                                                                  |
| $K_o$                                    | Kontamination einer Probenahmefläche pro $m^2$                                                                     |
| $L$                                      | Loschmidt'sche Zahl                                                                                                |
| $M$                                      | Mischungsverhältnis                                                                                                |
| $N$                                      | Schadstofffluß                                                                                                     |
| $Pe$                                     | Péclet-Zahl                                                                                                        |
| $Q$                                      | Volumenstrom des Berglund-Liu-Generators                                                                           |
| $R$                                      | Gaskonstante                                                                                                       |
| $Re$                                     | Reynoldssche Zahl                                                                                                  |
| $T$                                      | Temperatur                                                                                                         |
| $V$                                      | Gesamtvolumen aller Teilchen                                                                                       |
| $V_f$                                    | spezifisches Volumen der gelösten Substanz                                                                         |
| $V_{fl}$                                 | spezifisches Volumen des Lösungsmittels                                                                            |
| $V_j$                                    | Volumen von $n_j$ Teilchen in Kanal $j$                                                                            |
| $V_T$                                    | Volumen eines Tropfens                                                                                             |
| $Y$                                      | Zylinderprojektionsfläche                                                                                          |
| $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ | Koeffizienten in Gl. (26)                                                                                          |
| $\eta$                                   | dynamische Viskosität der Luft                                                                                     |
| $v$                                      | im Zusammenhang mit der Proportionalität der Ablagerungsgeschwindigkeit von der Trockenmasse auftretender Exponent |
| $\nu_L$                                  | kinematische Viskosität der Luft                                                                                   |
| $\rho_p$                                 | Partikeldichte                                                                                                     |
| $\rho_o$                                 | $= 1 \text{ g/cm}^3$ (Normierungsfaktor in Gl. (28))                                                               |
| $x(z)$                                   | Schadstoffkonzentration in der Höhe $z$                                                                            |
| $\psi$                                   | Stokes'sche Zahl                                                                                                   |
| $\mathcal{D}$                            | Aerosoldurchmesser für einen bestimmten Kanal                                                                      |

Allen Mitarbeitern der ASS (vorher ZST), die durch Anregungen und Unterstützung zu dieser Arbeit beigetragen haben, danken wir herzlich.

Wir möchten in diesem Zusammenhang auch nicht die Herren Professor Dr.-Ing. H.J. FISSAN und Dipl.-Ing. C. HELSPER (Gesamthochschule Duisburg) unerwähnt lassen, die uns bereitwillig ihre Erfahrung mit dem Berglund-Liu-Generator mitteilten.



