

KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH
GESELLSCHAFT MIT BESCHRÄNKTER HAFTUNG
Zentralabteilung Strahlenschutz

**Untersuchungen
zur Ausbreitung von Abluffahnen
in der Atmosphäre**

Ergebnisbericht Juli 1973 - Juni 1974 (Teil 1)

**über das im Rahmen des Vertrages Nr. SC 007/61 PSTD von der
Association EURATOM - C. E. A. geförderte Forschungsvorhaben**

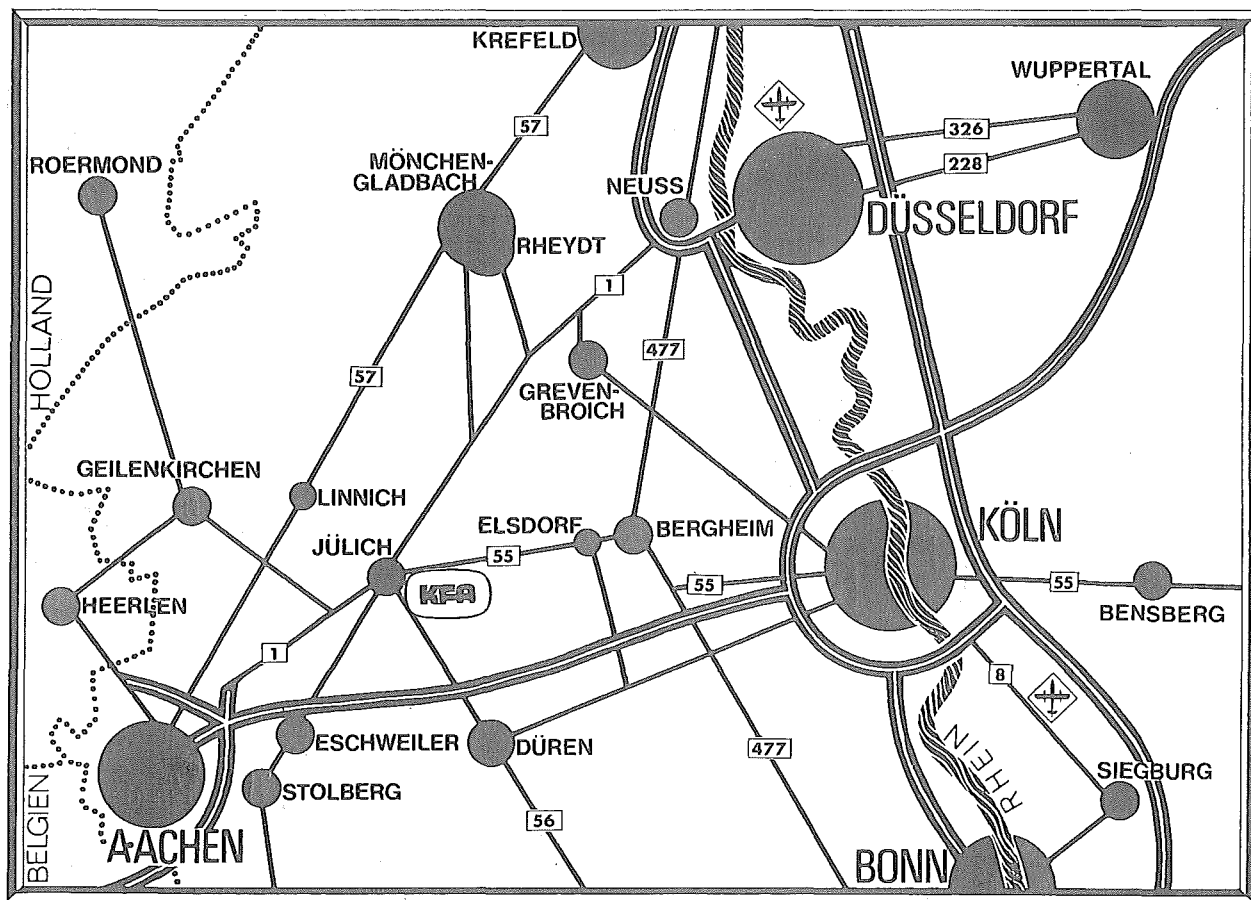
**Ausbreitung von Schadstoffen in der Atmosphäre
und Umweltbelastung**

von

K. J. Vogt, H. Geiß, M. Horbert, H. Nordsieck, G. Polster und F. Rohloff

**Jül - 1143 - ST
September 1974**

Als Manuskript gedruckt



Berichte der Kernforschungsanlage Jülich - Nr. 1143

Zentralabteilung Strahlenschutz Jül - 1143 - ST

Dok.: Exhaust Gas - Atmospheric Diffusion
Atmospheric Diffusion - Exhaust Gas

Im Tausch zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich GmbH,
Jülich, Bundesrepublik Deutschland

Untersuchungen zur Ausbreitung von Abluffahnen in der Atmosphäre

Ergebnisbericht Juli 1973 - Juni 1974 (Teil 1)

**über das im Rahmen des Vertrages Nr. SC 007/61 PSTD von der
Association EURATOM - C. E. A. geförderte Forschungsvorhaben**

**Ausbreitung von Schadstoffen in der Atmosphäre
und Umweltbelastung**

von

K. J. Vogt, H. Geiß, M. Horbert, H. Nordsieck, G. Polster und F. Rohloff

**Zentralabteilung Strahlenschutz
Kernforschungsanlage Jülich**

September 1974

Inhaltsverzeichnis

	Seite
<u>Vorbemerkung</u>	1
<u>1 Experimentelles Konzept</u>	
1.1 Portables Probenamenetz	2
1.2 Bestimmung der vertikalen Konzentrations- verteilung in der Abluftfahne	7
1.3 Simultanversuche	18
<u>2 Ausbreitungsversuche</u>	
2.1 Dokumentation und meteorologische Charakterisierung der Tracerexperimente	29
2.2 Meßergebnisse und Bestimmung der Ausbreitungsparameter	31
2.3 Vergleich verschiedener Auswertemethoden	63
2.4 Bestimmung von Klassenmittelwerten der Ausbreitungsparameter	70
2.5 Statistik der Ergebnisse der Versuche mit 50 m Emissionshöhe	78
2.6 Messung der Zeitabhängigkeit der bodennahen Konzentrationsverteilung einer Abluftfahne bei Windrichtungsänderungen	83
<u>Literatur</u>	
<u>Abbildungsverzeichnis</u>	92
<u>Tabellenverzeichnis</u>	93
<u>Abbildungsverzeichnis</u>	95

VORBEMERKUNG

Das Forschungsvorhaben "Ausbreitung von Schadstoffen in der Atmosphäre und Umweltbelastung" wird im Forschungs- und Entwicklungsprogramm der KFA unter der FE-Nr. 51.100 geführt und ist Teil des Umweltforschungsprogramm, das zum Forschungsschwerpunkt "Leben und Umwelt" gehört.

Das Forschungsvorhaben befaßt sich auf experimentellem Gebiet hauptsächlich mit Ausbreitungs- und Ablagerungsstudien atmosphärischer Schadstoffe. Seit 1970 besteht ein Forschungsvertrag mit EURATOM, der als Teil des Associations-Vertrags zwischen der Europäischen Atomgemeinschaft EURATOM und dem Commissariat à l'Énergie Atomique (C.E.A.) zu verstehen ist. Nach Ablauf des ersten EURATOM-Vertrags wurde zum 1. Juli 1973 ein neuer Vertrag mit zweijähriger Laufzeit abgeschlossen. Über den Stand der Arbeiten sind vertragsgemäß halbjährliche Technische Berichte sowie Jahres- und Abschlußberichte vorzulegen.

Der vorliegende erste Teil des Statusberichtes zum Forschungsvorhaben "Ausbreitung von Schadstoffen in der Atmosphäre und Umweltbelastung" untersucht das Ausbreitungsverhalten von Abluftfahnen mit Tracerexperimenten und setzt damit die Reihe der bisherigen Berichte zum gleichen Vorhaben fort. Insbesondere schließt er an die inzwischen publizierten Vorberichte (Vg 71), (Vg 73,1) sowie den letzten internen Technischen Bericht (Vg 74) an.

1 Experimentelles Konzept

1.1 Portables Probenahmenetz

Zur Ergänzung des stationären Meßnetzes, das um 5 Strahlen nach Norden erweitert wurde (Abb. 1/1) und nun aus insgesamt 16 Strahlen mit einem Strahlenöffnungswinkel von $7,5^\circ$ besteht, können in der zweiten Jahreshälfte 1974 wie vorgesehen 30 tragbare Stationen eingesetzt werden. Durch das kurzfristig vor einem Versuch ermöglichte Aufstellen der Geräte wird eine hohe Anpassungsfähigkeit des Meßnetzes an die jeweiligen Versuchsbedingungen erreicht, die sich in folgenden 3 Punkten beschreiben läßt:

1. Überprüfung des Ausbreitungsverhaltens bei größeren Quelldistanzen, etwa in 20 bis 30 km vom Emissionsort (mit 3 bis 6 Probenahmegeräten).
2. Verdichtung des Meßnetzes bei stärker labilen Wetterlagen in relativer Quellnähe im Bereich des Konzentrationsmaximums.
3. Erhöhung der Anzahl der Meßpunkte bei neutralen bis stärker stabilen Wetterlagen in mittleren bis größeren Quelldistanzen.

Durch Wegfall des Profilauswerteverfahrens, d.h. Beschränkung auf die Simultanauswertung ist es nicht unbedingt notwendig, die axialen Profile der Konzentrationen zu kennen, so daß die portablen Geräte nicht auf Strahlen angeordnet sein müssen, sondern beliebig im Meßnetz aufgestellt werden können.

Die portablen Sammelgeräte verfügen über die gleichen Funktionen wie die ortsfesten Stationen des Meßnetzes. Die Filterung des Aerosols erfolgt über einen Filterkopf mit Autostaubsauger, der von einer Starterbatterie 12 V/60 Ah versorgt wird. Mit einem Funkempfänger wird die Ein- bzw. Abschaltung der Sammlung bewirkt. Der Luftdurchsatz wird mit einem nachgeschalteten Flügelradanemometer gemessen, das durch einen Mikroschalter ein elektri-

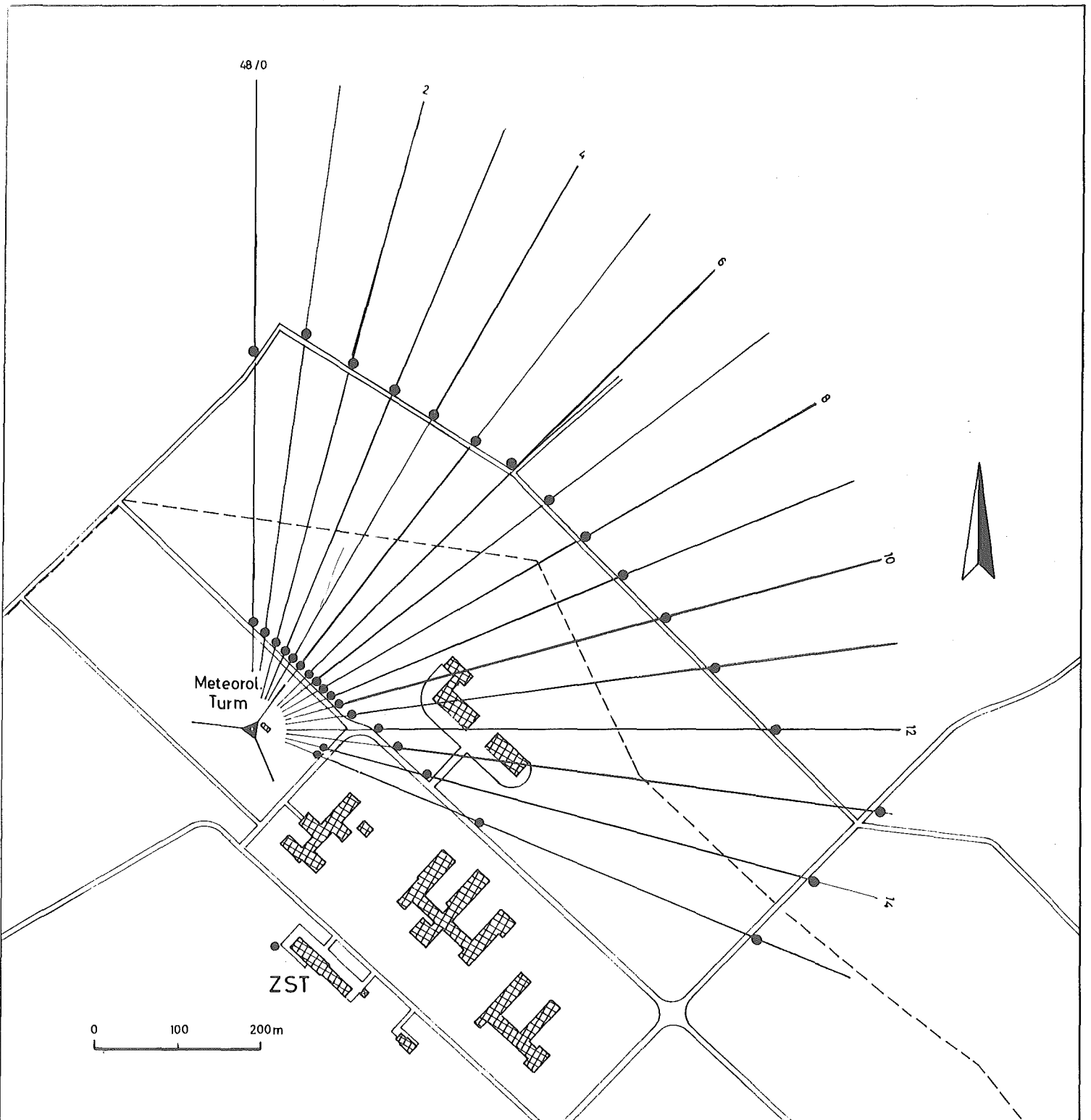


Abb. 1 Netz der Probenahmestationen für die Ausbreitungsversuche (Nahbereich)



Abb. 1 Netz der Probenahmestationen für die Ausbreitungsversuche

sches Zählwerk proportional dem durchgesetzten Luftvolumen betätigt. Ein wesentlicher Schritt vom stationären zum tragbaren Gerät war der Wegfall der Gasuhr zugunsten des Anemometers. Ein optimales Leistungsgewicht bei kleinstmöglichen Gesamtabmessungen (300 x 400 x 440 mm) wurde durch eine Aufteilung in zwei Komponenten erreicht. Die Tragrahmen-Komponente (Abb. 1/2 rechts) nimmt die etwa 22 kg schwere Batterie auf und ist über den Traggriffen mit einem Winkelrahmen abgeschlossen, der das Stapeln der Geräte erlaubt; unten ist der Tragrahmen zur Aufnahme des Gehäuses über die Grundfläche der Batterie hinaus entsprechend verlängert. Die zweite Komponente wird vom Gehäuse und den darin untergebrachten Bauteilen - allen außer dem Akku - gebildet (Abb. 1/2 links). Das Gehäuse selbst besteht aus einem oben geschlossenen Vierkantrohr aus Kunststoff mit seitlichen Aussparungen als Zugängen zu den Handgriffen. Das Zählwerk kann oben abgelesen werden. Ebenfalls oben befinden sich Bereitschafts- und Prüfschalter sowie der Ansaugstutzen für den Filterhalter, der mit einem Verlängerungsrohr eingesteckt werden kann, so daß die Ansaughöhe 1m beträgt. Das Gesamtgewicht eines protablen Probenahmegeräts beläuft sich auf ca. 28 kg, so daß ein Gerät über kürzere Strecken von einer Einzelperson getragen werden kann. Hervorgehoben sei, daß der Akku für Wartungszwecke durch Abheben des Gehäuses leicht zugänglich ist.

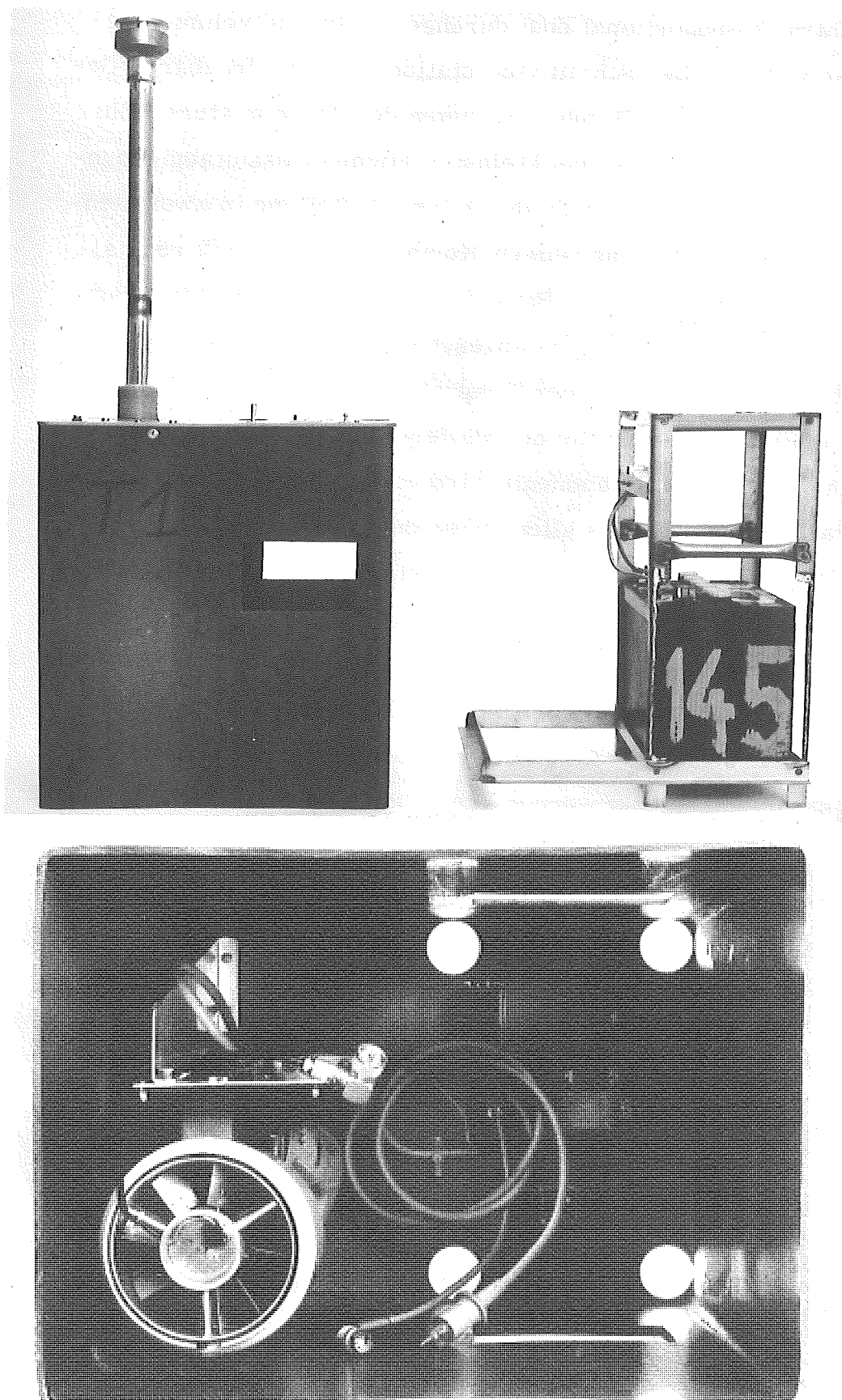


Abb. 2 Aufbau der tragbaren Probenahmestationen

1.2 Bestimmung der vertikalen Konzentrationsverteilung in der Abluftfahne

Zur Ergänzung der mit einem horizontalen Meßfeld durchgeführten Ausbreitungsexperimente ist geplant, an mindestens ein oder zwei Aufpunkten auch die Vertikalverteilung der emittierten Abluftfahne zu erfassen. Die Auswahl dieser Aufpunkte und der für diese Messungen erforderliche Höhenbereich kann aus den theoretisch berechneten Konzentrationsverteilungen in den Abb. 1/3 und 1/4 abgeschätzt werden. Für die Emissionshöhen 50 und 100 m ist die zu erwartende Konzentrationsverteilung für die Diffusionskategorie D über einen Höhenbereich bis zu 600 m für verschiedene Entfernungen x aufgetragen. Es wird ersichtlich, daß bei einer Emissionshöhe von 50 bzw. 100 m bereits bei einer Entfernung von 200 bzw. 500 m die theoretisch zu erwartende Gaußverteilung durch den Einfluß des Erdbodens sehr stark gestört wird. In 2000 m Entfernung verläuft darüber hinaus diese Verteilung bereits so flach, daß eine meßtechnische Auflösung des Gradienten auf sehr große Schwierigkeiten stoßen würde. Um daher in dem vorhandenen Meßsektor je nach Ausbreitungsrichtung und Diffusionskategorie einen optimalen Standort auswählen zu können, wurde als Meßträger ein stationär schwebender Hubschrauber vorgesehen. An einem frei herabhängenden Stahlseil sollen unter Berücksichtigung eines ausreichenden Sicherheitsabstandes zur Verhinderung einer turbulenten Zusatzstörung durch den Rotor (H60) (Ra) mehrere Probennahmestationen in wählbaren Abständen installiert werden. Die bisherigen Ausbreitungsexperimente lassen erwarten, daß etwa 10 Stationen, über eine Höhe von maximal 250 m verteilt, das zu erwartende Vertikalprofil ausreichend beschreiben können.

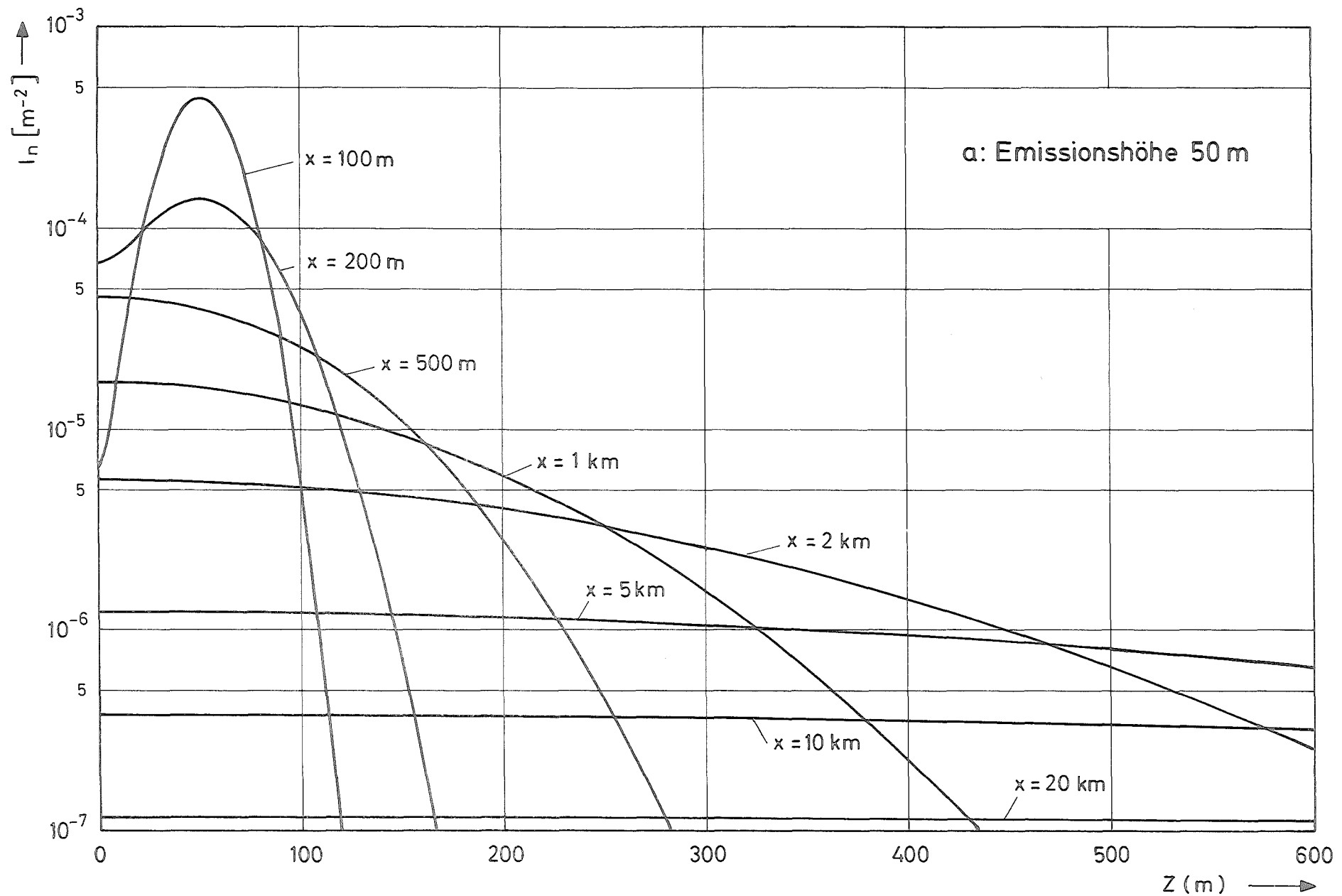


Abb. 3 Höhenabhängigkeit der Konzentrationsverteilung für verschiedene Quelldistanzen für die Diffusionskategorie D und 50 m Emissionshöhe

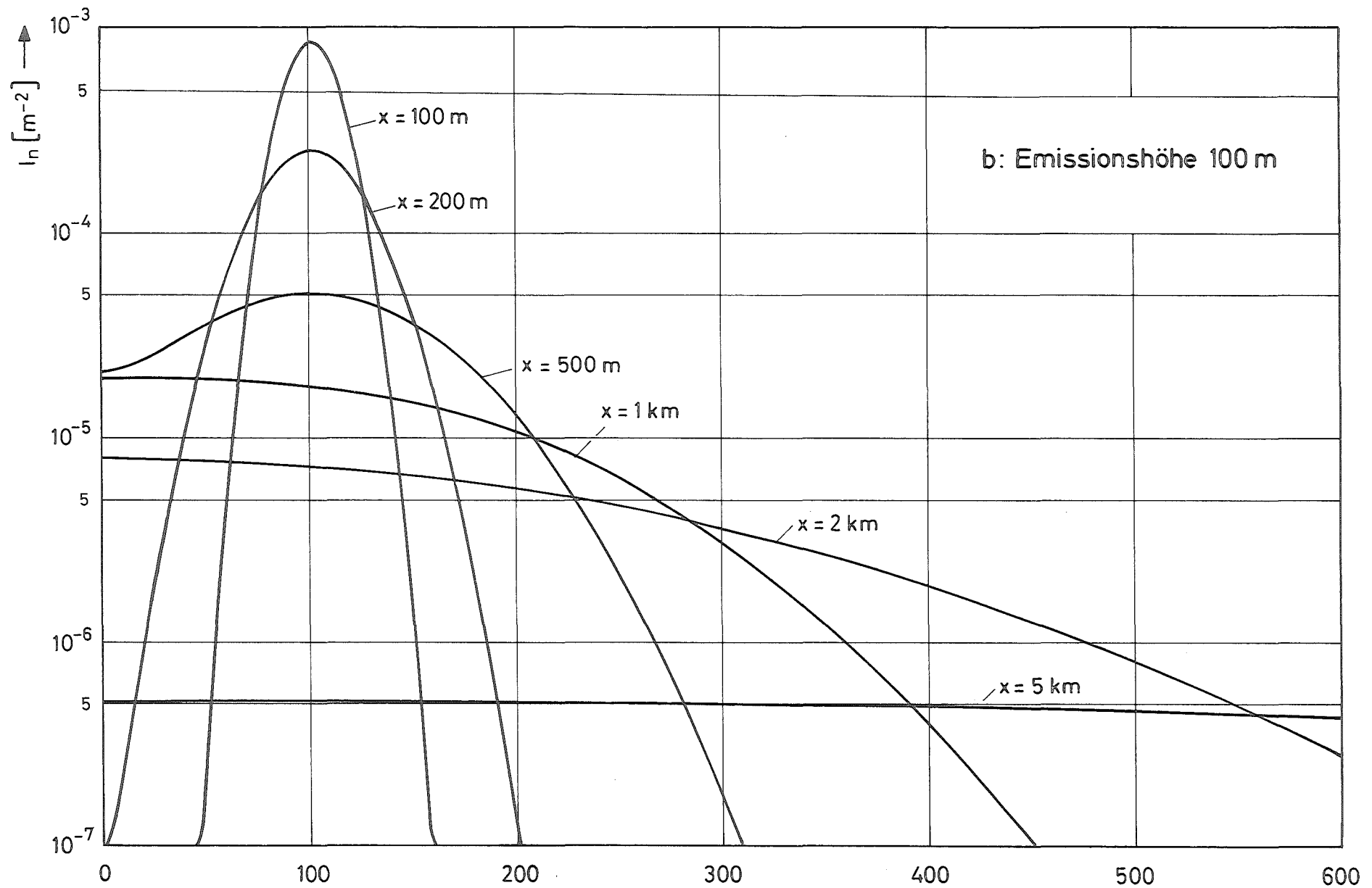


Abb. 4 Höhenabhängigkeit der Konzentrationsverteilung für verschiedene Quelldistanzen Z (m) → für die Diffusionskategorie D und 100 m Emissionshöhe

Da in der Durchführung solcher Experimente bisher noch keinerlei Erfahrung bestand, mußte sowohl das Flugverhalten des Meßträgers als auch die Anforderungen an die Stabilität der Meßstationen in Vorversuchen geklärt werden. Derartige Versuche wurden im September 1973 auf dem Fliegerhorst der Luftwaffe in Ahlhorn mit dem vorgesehenen Hubschraubertyp Bell UH-1-D erfolgreich durchgeführt. Ausgehend von diesen Versuchsergebnissen konnte mit der Entwicklung eines für die Experimente geeigneten Meßsystems begonnen werden. Gewisse Schwierigkeiten bereitete die Auslegung der Probenahmestationen, da insbesondere die Anforderungen an das Gewicht, die äußeren Abmessungen und die Stromversorgung (einschl. der Aussteuerung) gelöst werden mußten. Nach dem Bau einer ersten Teststation ergab sich die in Abb. 1/5 bzw. Abb. 1/6 dargestellte endgültige Ausführung: Das Gehäuse des Probennahmegerätes besteht aus einem Stahlblechzylinder von 26 cm Durchmesser und 63 cm Länge. Auf dem oberen Deckel sind der Lufteinlauf mit dem Filterhalter, die einzelnen Bedienungselemente und der Außenanschluß für die Fernsteuerung befestigt. An der Unterseite dieses Deckels befinden sich die elektrische Schaltanlage, das Gebläse (Autostaubsauger) und daran anschließend ein Flügelradanemometer. Die für die Stromversorgung des Gebläses notwendige Batterie steht stoßgeschützt auf dem Boden des konzentrisch aufgehängten Blechzylinders. Die angesaugte Luft kann die Kammer durch seitliche Entlüftungslöcher verlassen. Filter und Gebläsemotor entsprechen den Probenahmestationen des horizontalen Meßfeldes, während zur Durchsatzmessung aus Gewichts- und Raumgründen ein Flügelradanemometer eingebaut wurde. Dieses Anemometer betätigt über ein geeignetes Untersetzungsgetriebe einen Mikroschalter, der einen elektromechanischen Zähler im Deckel der Apparatur ansteuert. Der Gebläsemotor wird wegen der

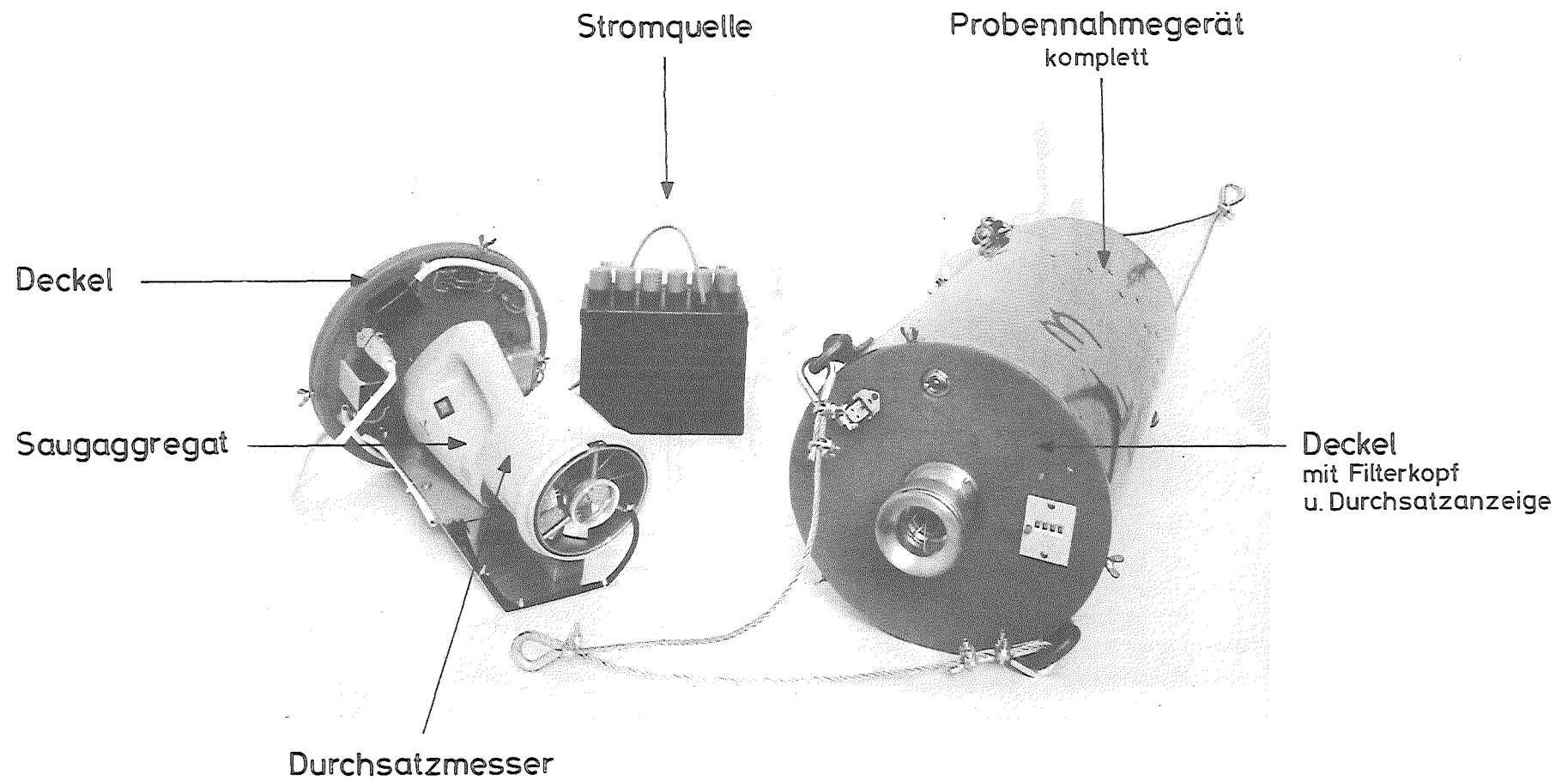


Abb. 5 Probenahmestation zur Bestimmung der Vertikalverteilung

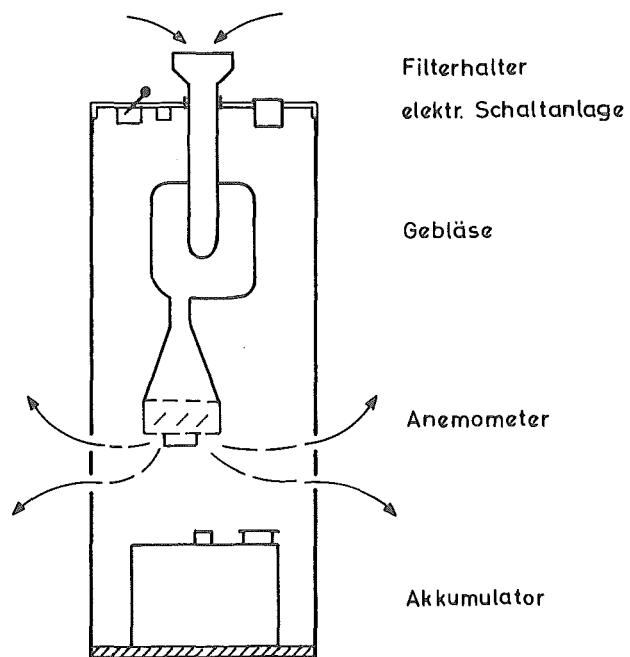


Abb. 6 Skizze einer Probenahmestation zur Messung der Vertikalverteilung

hohen Schaltleistung über ein Relais betrieben, das mit Hilfe eines Umschalters entweder über die Batterie des Gerätes oder durch eine Fremdspannung vom Hubschrauber aus angesteuert werden kann (Abb. 1/7). Zur Stromversorgung dient eine Flugzeugbatterie (Varta: 12 V, 22 Ah), die den erhöhten mechanischen Ansprüchen gerecht wird und eine ununterbrochene Betriebsdauer von ca. 1,5 h gewährleistet. Das Gewicht der gesamten Meßkammer beträgt 19 kg.

Zur genauen Durchsatzbestimmung war eine Aufnahme der Kennlinie des Anemometers notwendig. In Abb. 1/8 sind die gemessenen Zählimpulse über dem durch verschiedene Strömungswiderstände variierten Durchsatz aufgetragen. Die Kennlinie zeigt das für diese Anemometer typische asymptotische Verhalten im unteren und oberen Drehzahlbereich. Der Arbeitspunkt ($25 \text{ m}^3/\text{h}$) liegt bereits im linearen Bereich, so daß kleine Durchsatzänderungen durch Filterdicke, Beaufschlagung oder nicht konstante Motorleistung durch den linearen Eichfaktor hinreichend erfaßt werden. Die Eichung von bisher 10 Kammern ergab eine maximale Abweichung der betreffenden Eichfaktoren untereinander von maximal 8%, die durch die spezifische Strömungscharakteristik der einzelnen Baumuster bedingt ist. Bei Anwendung der betreffenden Eichfaktoren für jede Kammer kann der Durchsatzfehler jedoch auf ca. 1-2% gesenkt werden.

Nach dem derzeitigen Versuchskonzept sollen an einem Seil 10 Stationen befestigt werden. Die Bestückung eines weiteren Seiles zur Messung der Vertikalverteilung an einem zweiten Aufpunkt ist vorgesehen. Alle Stationen können in wählbaren Abständen montiert und über eine gemeinsame Steuerleitung vom Hubschrauber aus geschaltet

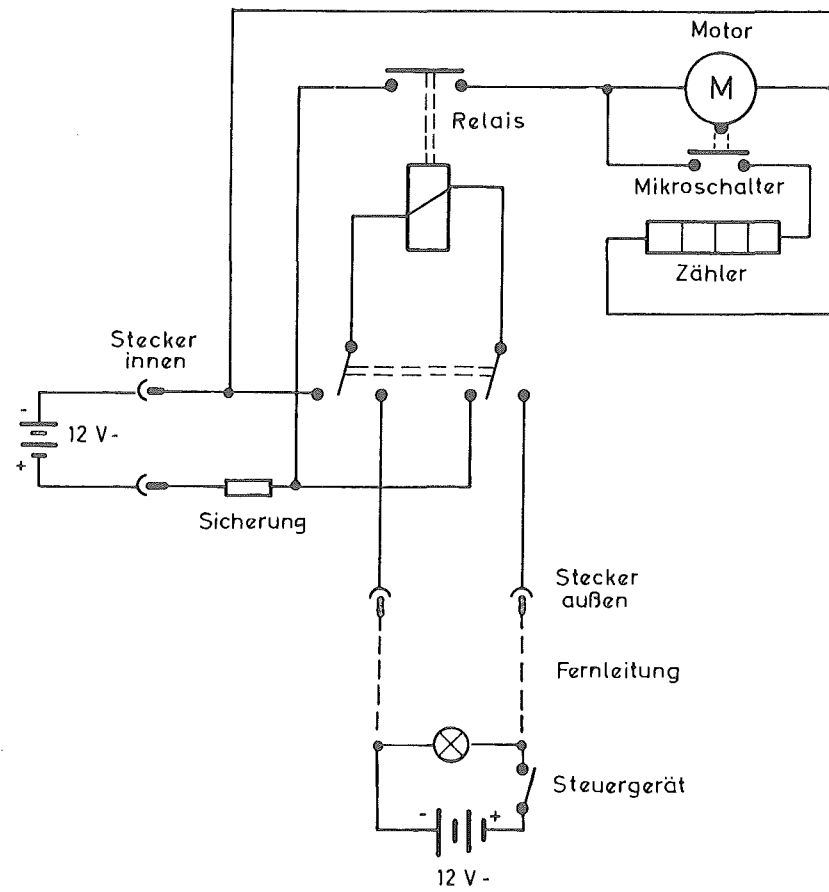


Abb. 7 Elektrische Steuerung der Probenahmestation

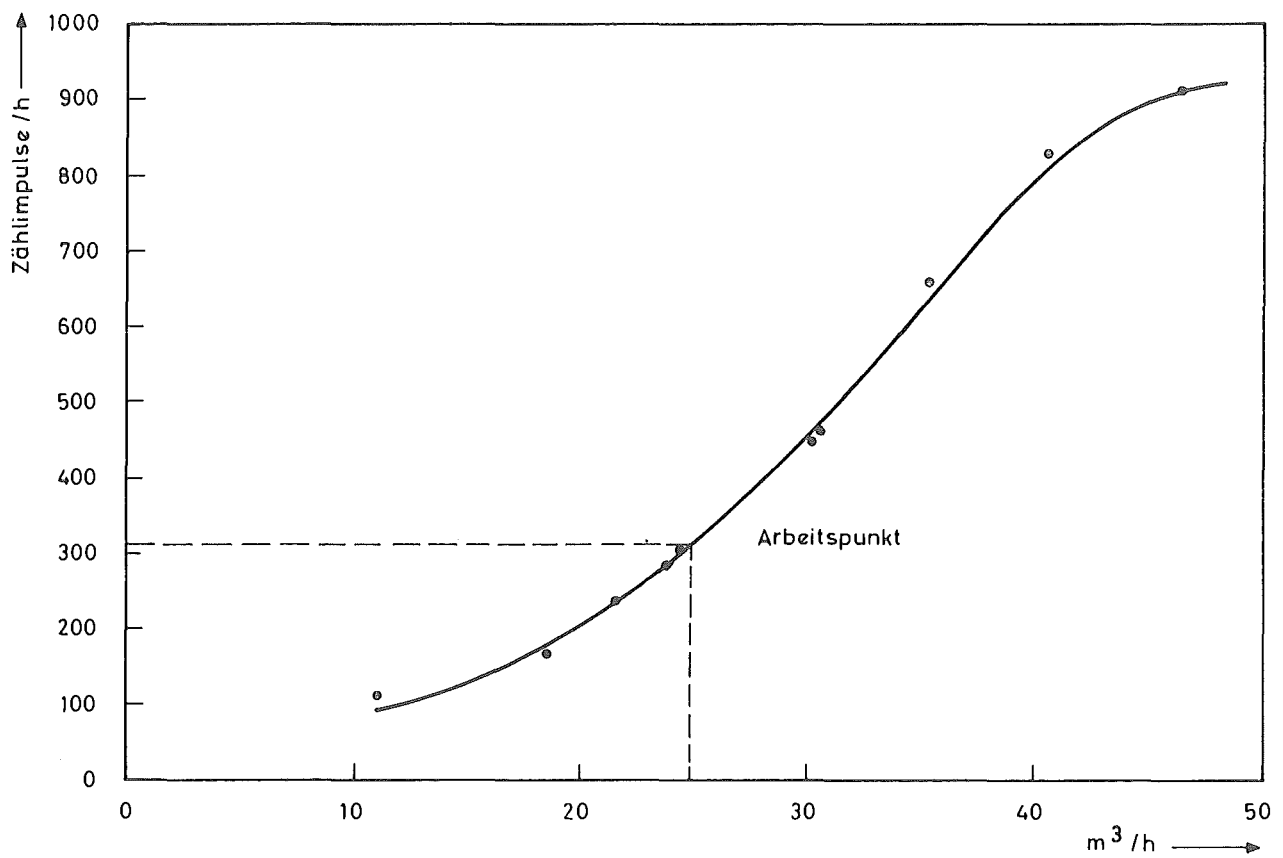


Abb. 8 Kennlinie des Durchsatzmessers einer Probenahme-
station

werden. Das Gesamtgewicht der Meßanlage beträgt ca. 300 kg. Dies führte auch zu der theoretischen Überlegung, inwieweit das Seil durch die Queranströmung des horizontalen Windfeldes ausgelenkt werden kann. Bei einem angenommenen Widerstandsbeiwert der einzelnen Meßzylinder von 0,4 ergibt sich für ein 300 m langes Seil eine Auslenkung von ca. 35 m bei starkem Wind (Log.-Normal-Verteilung) und von ca. 10 m bei schwachen Windlagen. Diese Werte lassen sich ggf. durch Ballastaufnahme der untersten Kammer verbessern.

Die endgültige Konzeption zur Durchführung der Hubschrauberexperimente konnte nach einem ersten einsatzmäßigen Versuch in der Kernforschungsanlage am 9. 7. 1974 wie folgt festgelegt werden:

- 1) Die Aufnahme des Meßträgers erfolgt vom Boden aus und ist unproblematisch, wenn das Seil in der Länge oder aber auch in Schlangenlinien ausgelegt wird, und der Hubschrauber im langsamen Steigflug gegen den Wind starten kann.
- 2) Der Hubschrauber transportiert anschließend das Seil zu dem vorher festgelegten Aufpunkt, der durch einen gut sichtbaren Ballon von mindestens 1,5 m Durchmesser in Bodennähe oder ggf. über Waldgebieten in Wipfelhöhe markiert ist.
- 3) Die für die Experimente erforderliche Einhaltung einer konstanten Flughöhe kann durch den bordeigenen Radarhöhenmesser einigermaßen eingehalten werden. Die Horizontalabweichung wird durch den Bordwart vom Hubschrauber aus kontrolliert. Eine zusätzliche Kontrolle der Position muß über eine Sprechfunkverbindung vom Boden aus erfolgen. Diese Verbindung dient auch zur Festlegung der Ein- bzw. Ausschaltzeiten der Meßanlage.

- 4) Der ununterbrochene Schwebeflug über dem Aufpunkt sollte nicht länger als 20 oder 25 Minuten dauern, da die Anforderungen an Pilot und Co-Pilot bei derartigen Flugmanövern außerordentlich hoch sind. Eine zweite Meßperiode nach etwa 10-15 min. (eventuelle Aufnahme eines anderen Meßträgers) kann jedoch angeschlossen werden.
- 5) Das Ablegen des Seiles erfolgt analog zur Aufnahme. Eine Beschädigung der in Edelstahlgehäusen untergebrachten Meßeinheiten ist bei Grasboden und vorsichtigem Senkflug der Besatzung - wie die verschiedenen Vorversuche gezeigt haben - nicht zu erwarten.

Mit diesen Vorversuchen sind die Vorbereitungen der eigentlichen Vertikalmessungen abgeschlossen, so daß die künftigen Ausbreitungsversuche mit simultanen horizontalen und vertikalen Probennahmen unmittelbar beginnen können.

1.3 Simultanversuche

1.3.1 Meßverfahren

Zur Untersuchung des Einflusses der Emissionshöhen auf das Ausbreitungsverhalten sollen in einer besonderen Versuchsreihe die beiden Tracernuklide Cu 64 und Ho 166 aus verschiedenen Höhen simultan freigesetzt werden. Voraussetzung für diese Simultanversuche ist eine gute meßtechnische Trennung der beiden Aktivitätsanteile auf den Filterproben. Bei der Auswahl des 2. Tracernuklids (Vg 71) war neben anderen wesentlichen Voraussetzungen die Bedingung der guten meßtechnischen Trennbarkeit von ausschlaggebender Bedeutung. Deshalb wurden die Verfahren zur Bestimmung dieser Komponenten, die auf dem Prinzip der Mehrfachmessung ihrer Gesamtaktivitäten beruhen, eingehend überprüft (Vg 73/2). Zur Bestimmung der Aktivitätsanteile Na und Nb bestehen folgende 3 Möglichkeiten:

1. Abklingmethode mit $S_{ik} = 1$
2. Absorptionsmethode mit $S_{ik} = f(i, k)$
3. Kombinierte Abkling-Absorptionsmethode

Welches Verfahren vorzuziehen ist, hängt von der Art des Nulidge-
mischs ab. Bei ausreichend unterschiedlichen Halbwertzeiten wird die Abklingmethode verwendet. Die Absorptionsmethode führt zum Ziel, wenn die Strahlenenergien für die einzelnen Nuklide genügend unterschiedlich sind. Trifft beides zu, wird die kombinierte Methode - vor allem, wenn die Zahl der Messungen größer als die Zahl der zu ermittelnden Nuklide ist - die besten Resultate liefern.

Zur Prüfung, welche der 3 genannten Methoden anzuwenden ist, wird als Gütemerkmal der minimale Meßfehler für 2 Nuklide in

Abhängigkeit von der Abklingzeit mit dem Aktivitätsverhältnis

$$\epsilon = N_a / N_b$$

als Parameter herangezogen. Mit den Grundgleichungen

$$N_1 = a_1 N_a + b_1 N_b \quad (1/1)$$

$$N_2 = a_2 N_a + b_2 N_b \quad (1/2)$$

erhält man die zu ermittelnden Anteile

$$N_a = \frac{b_1 N_2 - b_2 N_1}{a_2 b_1 - a_1 b_2} \quad (1/3)$$

$$N_b = \frac{a_2 N_1 - a_1 N_2}{a_2 b_1 - a_1 b_2} \quad (1/4)$$

die nach dem Fehlerfortpflanzengesetz mit den absoluten statistischen Fehlern

$$\Delta N_a = \pm \frac{\sqrt{b_2^2 N_1 + b_1^2 N_2}}{|a_2 b_1 - a_1 b_2|} \quad (1/5)$$

$$\Delta N_b = \pm \frac{\sqrt{a_2^2 N_1 + a_1^2 N_2}}{|a_2 b_1 - a_1 b_2|} \quad (1/6)$$

behaftet sind. Mit Einführung des Aktivitätsverhältnisses $\epsilon = N_a / N_b$ folgen die dem Fehler ΔN proportionalen Größen

$$\Delta N_a / \sqrt{N_a} = \pm \frac{\sqrt{\frac{1}{\epsilon}(b_1^2 b_2 + b_1 b_2^2) + a_1 b_2^2 + a_2 b_1^2}}{|a_2 b_1 - a_1 b_2|} \quad (1/7)$$

$$\Delta N_b / \sqrt{N_b} = \pm \frac{\sqrt{\epsilon(a_1^2 a_2 + a_1 a_2^2) + a_1^2 b_2 + a_2^2 b_1}}{|a_2 b_1 - a_1 b_2|} \quad (1/8)$$

Die Koeffizienten der Messung i

$$a_i = S_{ia} e^{-\lambda_a t_i} \quad (1/9)$$

$$b_i = S_{ib} e^{-\lambda_b t_i} \quad (1/10)$$

hängen von den Absorptionskoeffizienten S und dem Abklingverhalten der Nuklide ab. Zur Prüfung der Methoden werden 2 Messungen durchgeführt, indem bei der 1. Messung $t_1 = 0$ gesetzt und der Zeitpunkt der 2. Messung $t_2 = t$ freigegeben wird. Der optimale Zeitpunkt der 2. Messung, für den die Fehler minimal werden, läßt sich wegen der Art der Gl. (1/7) (1/8) nicht explizit, sondern nur an Beispielen durch Näherungsverfahren bzw. den Kurvenverlauf darstellen. Allgemein kann festgestellt werden, daß der Nenner möglichst groß sein soll. Dies ist der Fall, wenn die Ausdrücke

$$\frac{S_{1a}}{S_{2a}} e^{\lambda_a t} \neq \frac{S_{1b}}{S_{2b}} e^{\lambda_b t}$$

möglichst verschieden sind.

Die Abb. 1/9 gibt die Verhältnisse für die beiden Nuklide Cu 64 ($T_{1/2} = 12,8\text{h}$, durchgehende Linien) und Ho 166 ($T_{1/2} = 26,7\text{h}$, gestrichelte Linien) wieder. Die Funktionen $\Delta N/\sqrt{N} = f(\epsilon, t)$ zeigen, um das Wievielfache die absoluten Fehler ΔN größer sind als bei der alleinigen Anwesenheit eines Nuklids, bei welcher der Fehler $\Delta N = \pm\sqrt{N}$ bei $t=0$ ist.

Abb. 1/9 stellt den zeitlichen Fehlerverlauf der Abklingmethode, d.h. ohne Absorber, dar. Das Fehlerminimum stellt sich nach raschem Flankenabfall für Cu 64 nach etwa 50 Stunden relativ unabhängig vom Cu 64/Ho 166-Aktivitätsverhältnis für $\epsilon \leq 1$ ein. Bei $\epsilon < 1$ ist zwar eine stärkere Abhängigkeit festzustellen, die Fehler ändern sich jedoch nur geringfügig. Beispielsweise beträgt bei $\epsilon = 10^3$ der Fehlerfaktor 1,8 bei 50 h und 1,3 im Minimum nach 180 h. Eine stärkere ϵ -Abhängigkeit besteht für Ho 166, jedoch sind auch hier die Unterschiede zum Optimum nicht stark ausgeprägt. Da ϵ unbekannt ist, würde man die zweite Messung etwa 50 bis 70 Stunden nach der 1. Messung vornehmen.

Ebenfalls untersucht wurden die Fehlerfunktionen bei der Verwendung eines Absorbers, für den hier eine Aluminiumscheibe mit einem Flächengewicht von 270 mg/cm^2 eingesetzt wurde. Die Voraussetzungen sind wegen der unterschiedlichen Strahlenenergien günstig (Cu 64 : $\beta^- 0,6$; $\beta^+ 0,7\text{ MeV}$; $S = 275^{-1}$, Ho 166 : $\beta^- 1,9\text{ MeV}$; $S = 12^{-1}$). Es besteht die Möglichkeit, daß der Absorber entweder bei der 1. Messung oder der 2. Messung verwendet wird. Die praktischen Konsequenzen der zeitlichen Fehlerverläufe auf die Anwendung der Meßmethoden können wie folgt zusammengefaßt werden:

- Bei der Abklingmethode ohne Absorber liefert das Fehlerminimum etwas kleinere Fehler als die Absorptionsmethode, d.h. die Abklingmethode ist geeigneter als die Absorbermethode.
- Die Absorptionsmethoden liefern die schnellsten Ergebnisse, weil die 2. Messung sofort im Anschluß an die 1. Messung durchgeführt werden kann.
- Die kombinierte Abkling-Absorptionsmethode ist bei höheren Cu 64-Anteilen günstiger, wenn die 2. Messung mit Absorber durchgeführt wird. Es steht mehr Zeit zur Messung der zahlreichen Proben zur Verfügung als wenn die 1. Messung mit Absorber erfolgte.

Da die vorhandenen Meßplätze keine automatisch alternierende Wiederholungsmessung mit und ohne Absorber erlauben, wurde im letzteren Fall vorausgesetzt, daß jeweils ein gesamter Probenumlauf mit oder ohne Absorber erfolgte. Die direkt alternativ folgende Doppelmessung würde im übrigen die späteren Proben wegen zu starken Abklingens erheblich benachteiligen, da z.B. bei 70 Proben nach einem Meßumlauf bei 2 x 10 Minuten Einzelmesszeit über 24 Stunden, d.h. fast zwei Halbwertzeiten des Cu 64 und eine des Ho 166 vergingen.

Die bisherige Betrachtung ging von 2 Messungen je Probe aus, d.h. die Zahl der Messungen entsprach der Anzahl der zu ermittelnden Nuklide, wobei in Abhängigkeit vom Aktivitätsverhältnis sich recht große Fehler ergeben, die durch Vielfachmessungen und optimalisierte Auswerteverfahren herabgesetzt werden müssen. Erschwerend kommt die Anwesenheit von Störnukliden natürlicher Herkunft hinzu (ThB und Folgeprodukte). Die besten

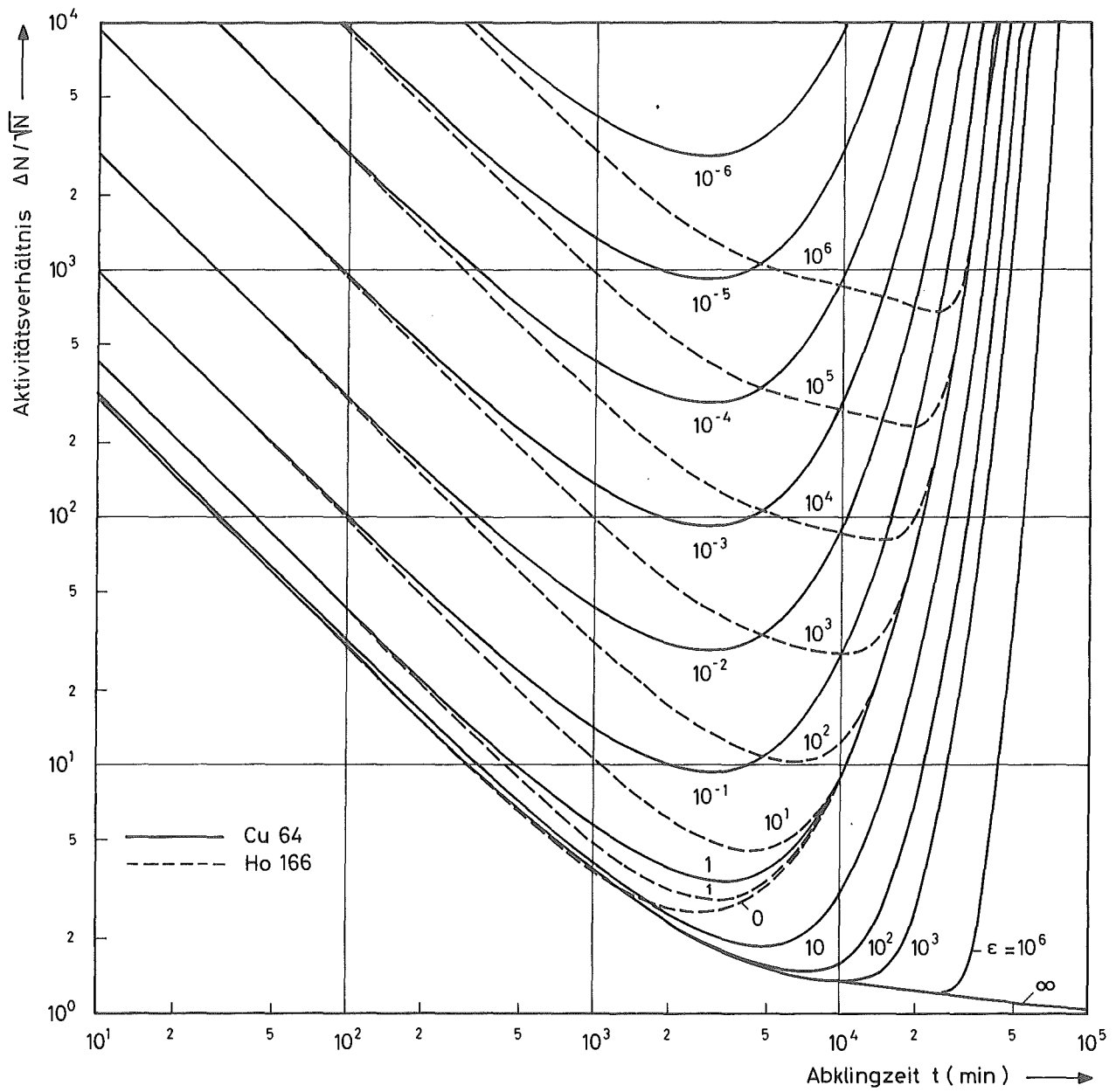


Abb. 9 Relativer Fehler der Nuklide Ho 166 und Cu 64
als Funktion der Abklingzeit mit dem Aktivitäts-
verhältnis ϵ als Parameter

Resultate erhielt man bei der alternierenden Methode ohne/mit Absorber je Durchlauf und möglichst vielen Meßumläufen, da die Meßfehler nach einem oder einigen Durchläufen bei der reinen Abklingmethode (Abb. 1/9), z.B. nach 12, 24, 36 Stunden noch wesentlich größer sind als bei der kombinierten Methode. Da eine entsprechende Meßautomatik nicht vorhanden ist und die Prozeduren von Hand vorzunehmen die periodische Anwesenheit z.B. alle 12 Stunden erfordern würde, kommt letztlich nur die Abklingmethode ohne Absorber bei einer optimalen Anzahl von Meßdurchläufen in Frage.

1.3.2 Auswertemethoden

Nachfolgend wird mit dem Index c das Vorhandensein von ThB und seinen Folgeprodukten berücksichtigt. Zur Bestimmung dieser bei allen Proben als gleich stark angenommenen Anteile wird die Filtermessung einer außerhalb der Abluftfahne gezogenen Probe P_c benutzt und nach Durchsatzkorrektur in Abzug gebracht. Zur Abkürzung sei die Bezeichnung "ThB-Probe" einschließlich der ThB-Folgeprodukte gemeint, die im übrigen wegen ihrer relativen Kurzlebigkeit mit ThB im Gleichgewicht stehen und mit dessen Halbwertszeit zerfallen.

Bei der Messung i setzt sich die gemessene Nettoimpulszahl N_i aus den 3 Anteilen

$$N_i = a_i N_a + b_i N_b + c_i \bar{N}_c \quad (1/11)$$

zusammen, wobei bei der Meßmethode 1

$$\begin{aligned}
 a_i &= e^{-\lambda_a t_i} \\
 b_i &= e^{-\lambda_b t_i} \\
 c_i &= \frac{v_p}{v_c} e^{-\lambda_c t_i}
 \end{aligned}
 \tag{1/12}$$

und

$$\bar{N}_c = \frac{\sum N_c e^{-\lambda_c \tau_i}}{\sum e^{-2\lambda_c \tau_i}}
 \tag{1/13}$$

ist. Dabei ist v_p das Durchsatzvolumen für die Probe P, v_c dasjenige für die ThB-Probe. $\bar{N}_c$ ist die nach der Methode der kleinsten Quadrate ermittelte ThB-Impulszahl aus den D Messungen nach der jeweiligen Abklingzeit τ_i mit den Meßergebnissen $N_c(\tau_i)$.

Die Zeiten t_i bzw. τ_i zur Abklingkorrektur ergeben sich aus

$$t_i = t_o + \Delta t(P-0,5 + Z(D_i-1))
 \tag{1/14}$$

$$\tau_i = t_o + \Delta t(P_c-0,5 + Z(D_i-1)).
 \tag{1/15}$$

Es bedeuten darin t_o die Zeit vom Emissionsbeginn bis Meßbeginn der 1. Probe, Δt die Zeitfolge der einzelnen Messungen (Meß- und Probenwechselzeit), P die Probennummer, D_i die jeweilige Meßumlaufnummer, Z die Gesamtanzahl der Proben im Probenwechsler. Beginnend mit P=1 ist nach jeder Messung D_i um eins zu erhöhen, bis der Enddurchlauf D erreicht ist. Zur Auswertung der nächsten Probe ist P um eins zu erhöhen und D_i wieder eins zu setzen usw. Die ThB-Probennummer P_c ist für einen Versuch konstant.

Grundlage des ersten der beiden nachfolgend beschriebenen Auswerteverfahren ist die Methode der kleinsten Quadrate in Anwendung auf den Meßwerteverlauf.

Die Anteile N_a und N_b , bezogen auf Emissionsbeginn, ergeben sich bei der Anwendung der Methode der kleinsten Quadrate auf die Funktion Gl. (1/11) aus*

$$N_a = \frac{\sum b^2 \sum aN - \sum ab \sum bN - \bar{N}_c (\sum b^2 \sum ac - \sum ab \sum bc)}{\sum a^2 \sum b^2 - (\sum ab)^2} \quad (1/16)$$

$$N_b = \frac{\sum a^2 \sum bN - \sum ab \sum aN - \bar{N}_c (\sum a^2 \sum bc - \sum ab \sum ac)}{\sum a^2 \sum b^2 - (\sum ab)^2} \quad (1/17)$$

Den statistischen Meßfehler ΔN erhält man nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz aus

$$\Delta N_a = \pm \frac{\sqrt{(\sum b^2)^2 \sum a^2 N + (\sum ab)^2 \sum b^2 N + (\Delta \bar{N}_c)^2 (\sum b^2 \sum ac - \sum ab \sum bc)^2}}{\sum a^2 \sum b^2 - (\sum ab)^2} \quad (1/18)$$

$$\Delta N_b = \pm \frac{\sqrt{(\sum a^2)^2 \sum b^2 N + (\sum ab)^2 \sum a^2 N + (\Delta \bar{N}_c)^2 (\sum a^2 \sum bc - \sum ab \sum ac)^2}}{\sum a^2 \sum b^2 - (\sum ab)^2} \quad (1/19)$$

Der statistische Meßfehler der ThB-Messungen läßt sich aus Gl. (1/13) herleiten und beträgt

$$\Delta \bar{N}_c = \pm \frac{1}{\sum e} \cdot \sqrt{\sum N_c e^{-2\lambda_c \tau}} \quad (1/20)$$

* Zur kürzeren Schreibweise wird auf den Index i verzichtet.

Da die Fehlerquadrate gemäß ihrer statistischen Bedeutung in die Ausgleichsrechnung eingehen, ist von einer Wichtung abzu= sehen.

Das zweite Verfahren, die 2-Meßwerte-Kombinationsmethode, nutzt den Umstand aus, daß je Probe mehr als mindestens 2 Meßwerte zur Verfügung stehen und daß sich der statistische Meßfehler berechnen und somit zur Wichtung heranziehen läßt. Der Meßwerte= überschuß wird nicht nur willentlich erzeugt, da er sich aus den Beziehungen zwischen optimaler Abklingzeit, Probenzahl und Meß= zeit je Probe auch zwangsläufig ergibt. Mit Berücksichtigung des ThB-Anteils N_c erhält man

$$N_a = \frac{b_{e i} N_i - b_i N_e - \bar{N}_c (b_{e i} c_i - b_i c_e)}{a_i b_e - a_e b_i} \quad (1/21)$$

$$N_b = \frac{a_i N_e - a_e N_i - \bar{N}_c (a_i c_e - a_e c_i)}{a_i b_e - a_e b_i} \quad (1/22)$$

mit den statistischen Meßfehlern

$$\Delta N_a = \pm \frac{\sqrt{b_{e i}^2 N_i + b_i^2 N_e + (\Delta \bar{N}_c)^2 (b_{e i} c_i - b_i c_e)^2}}{|a_i b_e - a_e b_i|} \quad (1/23)$$

$$\Delta N_b = \pm \frac{\sqrt{a_i^2 N_e + a_e^2 N_i + (\Delta \bar{N}_c)^2 (a_i c_e - a_e c_i)^2}}{|a_i b_e - a_e b_i|} \quad (1/24)$$

Der Index e bedeutet die Meßumlaufnummer der 1. auszuwertenden Messung, i diejenige der 2. auszuwertenden Messung. Durch Kom= bination der Meßumläufe werden zahlreiche Ergebnisse N_a , N_b erzielt.

Der gewichtete Mittelwert aus insgesamt j Meßwertkombinationen beträgt mit p als dem Gewichtungsfaktor

$$\overline{N}_a = \frac{\sum p N_a}{\sum p} \quad (1/25)$$

und ist mit dem mittleren Fehler

$$\Delta \overline{N}_a = \pm \frac{1}{\sum p} \sqrt{\sum p^2 (\Delta N_a)^2} \quad (1/26)$$

behaftet. Setzt man $p = 1/N_a$ ergibt sich

$$\overline{N}_a = \frac{\sum \frac{N_a}{\Delta N_a}}{\sum \frac{1}{\Delta N_a}} \quad (1/27)$$

$$\Delta \overline{N}_a = \pm \frac{\sqrt{j}}{\sum \frac{1}{\Delta N_a}} \quad (1/28)$$

Für das Partnernuklid ist sinngemäß der Index b zu setzen.

Kombiniert man den 1. Meßdurchlauf mit allen nachfolgenden Durchläufen, den 2. Durchlauf mit den nachfolgenden sw. erhält man bei insgesamt D Durchläufen

$$j = \frac{D}{2} \quad (D-1) \quad (1/29)$$

Kombinationen, z.B. 45 Ergebnisse je Nuklid bei 10 Meßdurchläufen. Der statistische Meßfehler wird bei diesem Verfahren sehr klein, d.h. die Aktivitätsanteile der Nuklide werden optimal bestimmt.

2 Ausbreitungsversuche

2.1 Dokumentation und meteorologische Charakterisierung der Tracerexperimente

Im Berichtszeitraum (1973 - Juni 1974) wurden 14 Ausbreitungs-
experimente durchgeführt. Angaben über die Versuchsdaten und
-zeit, Ausbreitungsrichtung, Emissionshöhe und Quellstärke
sind in Tab.1/1a zusammengestellt. Bei den Versuchen 31, 36 und
40 erfolgte die Ausbreitung nach Osten über ein Waldgelände mit extre-
mer Bodenrauhigkeit. Die anderen Versuche wurden über Gelände
mit geringerer Rauigkeit (nur bis zu einer Quelldistanz von 500 m
Bewaldung und Bebauung) nach Nordosten durchgeführt. Neun
Versuche (32-40) erfolgten mit 50 m und fünf (27-31) mit 100 m
Emissionshöhe. Simultanemissionen mit verschiedenen Tracern
(Cu 64 und Ho 166) wurden in den Versuchen 34 und 40 erprobt.
Dabei wurde ein neuer Aerosolgenerator mit Zweistoffdüse erfolg-
reich eingesetzt. Es ergaben sich aber Schwierigkeiten beim Ein-
satz des neuen Tracers Ho sowohl bei der Aerosolerzeugung als
auch bei der Auswertung der Meßergebnisse. Die Emissionszeit
betrug in der Regel eine Stunde.

Durch die Ausdehnung des Meßnetzes nach Norden konnten im Ge-
gensatz zu den früheren Experimentreihen mehr labile bis stark
labile Wetterlagen bei Südwestwind mit den Diffusionskategorien C
und B untersucht werden. Im einzelnen wurden die Versuche bei
folgenden Diffusionskategorien vorgenommen: 28, 32, 33 und 40
bei der Diffusionskategorie B, 29, 30, 34, 35 und 39 bei der Diffu-
sionskategorie C, 27, 36, 37 und 38 bei Diffusionskategorie D.
Ferner gelang ein Nachtversuch (Nr. 31) bei schwacher Inversion
(+ 0,6 Grad/100 m) und sehr niedriger Windgeschwindigkeit.

Tabelle 1/1 a

Dokumentation der Ausbreitungsversuche

Versuch Nr.	Datum	Emissionszeit	Mittlere Wind- richtung	Emissionshöhe (m)	Quellstärke (Ci)	Diffusions- kategorie	Oberflächen- rauigkeit
27	6.4.73	12.30-13.20	249	100	6,44	D	sehr groß
28	13.4.73	12.40-13.40	253	100	7,54	B	sehr groß
29	23.5.73	12.20-13.20	236	100	6,90	C	sehr groß
30	20.7.73	13.00-14.00	227	100	9,95	C	sehr groß
31	24.7.73	22.15-23.05	270	100	3,51	G	extrem
32	3.8.73	12.40-13.40	245	50	5,12	B	sehr groß
33	8.8.73	12.40-13.40	258	50	5,56	B	sehr groß
34	3.9.73	13.30-14.30	247	50	29,97	C	sehr groß
35	22.10.73	13.05-14.00	237	50	7,48	C	sehr groß
36	6.11.73	13.25-14.05	272	50	12,79	D	extrem
37	9.11.73	12.15-13.15	255	50	12,05	D	sehr groß
38	24.1.74	13.10-14.10	247	50	6,08	D	sehr groß
39	14.2.74	12.35-13.35	250	50	9,50	C	sehr groß
40	14.5.74	13.30-14.27	270	50	1,86 Cu 2,76 Ho	B	extrem

Die meteorologischen Bedingungen während der Versuche sind in den Tab. 1/2 bis 1/15 dokumentiert. Aufgezeichnet sind die 10 Minuten-Mittelwerte der Windgeschwindigkeit in 8 Höhen zwischen 2 und 120 m Höhe zur Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit, die 10 Minuten-Mittelwerte der Windrichtung zur Ermittlung der Ausbreitungsrichtung, sowie die maximalen Schwankungen der Windrichtung zur Abschätzung der Breite des kontaminierten Sektors wie in Pasquills Praktischem System angegeben wurde. Außerdem werden die mit den Vektorwindfahnen in 50 und 120 m Höhe gemessenen Standardabweichungen der horizontalen und vertikalen Windfluktuationen aufgeführt, die ein Maß für die horizontale und vertikale Auffächerung der durch die Versuchsemission simulierten Abluftfahne sind. Die weiteren meteorologischen Daten wie Luftdruck, Temperatur und relative Feuchte sind zur Charakterisierung der Wetterbedingungen während der Versuche aufgezeichnet worden, ebenso die Strahlungsbilanz, die Sonnenhöhe, der Temperaturgradient und der Bedeckungsgrad des Himmels mit Wolken. Die letztgenannten Größen sind in Verbindung mit der Windgeschwindigkeit für die Bestimmung der Diffusionskategorie besonders wichtig. Sie wird nach drei alternativen Bestimmungsverfahren aus Temperaturgradient - oder Strahlungsbilanz - und Windmessungen oder aus synoptischen Beobachtungen in Verbindung mit der Windgeschwindigkeit ermittelt (Vg 71), um prüfen zu können, inwieweit die verschiedenen Stadien der turbulenten Diffusion mit einfachen Mitteln, ohne aufwendige Messungen erfaßt werden können.

2.2 Meßergebnisse und Bestimmung der Ausbreitungsparameter

Die an den Probenahmestellen des Meßnetzes ermittelten Meßwerte der über die Zeit integrierten Aktivitätskonzentration wurden nach dem in (Vg 73) beschriebenen Simultanverfahren mit der EDV-An-

Tabelle 1/2

Emissionszeit: 12³⁰ – 13³⁰ Versuch Nr. 27
 Emissionshöhe: 100 m Datum: 6.4.73

Windgeschwindigkeit:

Höhe (m)	2	10	20	30	50	80	100	120
Bereich (m/s)								
Std. Mittel (m/s)	2,4	4,3	5,8	8,2	10,2	11,8	12,5	13,2
10 Min. Mittel (m/s) (1)	2,4	4,3	6,1	8,3	10,4	12,1	12,8	13,6
(2)	2,0	3,7	5,0	7,0	8,9	10,5	11,1	11,8
(3)	2,5	4,2	5,6	7,9	10,2	11,2	11,6	12,5
(4)	2,5	4,5	6,0	8,2	10,1	12,0	13,0	13,8
(5)	2,5	4,6	6,5	8,9	10,6	12,1	12,8	13,4
(6)	2,5	4,3	6,6	8,9	11,2	12,9	13,8	14,0

Windrichtung:

Höhe (m)		30	50	120
Std. Mittel		253	250	249
10 Min. Mittel (1)		250	250	253
(2)		250	250	250
(3)		253	250	250
(4)		253	250	250
(5)		250	250	248
(6)		253	250	245

Windschwankungen:

Höhe (m)	30	50	120
max	140°	90°	65°
10 min max.	5°	0°	8°
horizontal		14,1°	8,3°
vertikal		10,3°	6,3°

Luftdruck: 753,7 mmHg

Temperatur: +9,8°C

Strahlungsbilanz: +0,27 cal/cm²min

Strahlungsindex: 2

relative Feuchte: 50%

Temperaturgradient (120m - 20m): -1,3°C/100m

Sonnenhöhe: 44°

Bedeckungsgrad: 7/8 Sc,Cu

Diffusionskategorie nach

Temperaturgradient: D

Diffusionskategorie nach

Strahlungsbilanz: D

Diffusionskategorie nach

synoptischen Beobachtungen: D

Tabelle 1/3

Emissionszeit: 12⁴⁰ – 13²⁵ Versuch Nr. 28
 Emissionshöhe: 100 m Datum: 13.4.73

Windgeschwindigkeit:

Höhe (m)	2	10	20	30	50	80	100	120	
Bereich (m/s)									Luftdruck: 758,7 mmHg
Std. Mittel (m/s)	1,2	2,1	2,7	3,2	3,8	3,8	3,7	4,3	Temperatur: + 6,3°C
10 Min. Mittel (m/s) (1)	1,8	1,8	2,1	2,5	3,3	3,4	3,6	4,3	Strahlungsbilanz: +0,51 Cal/cm ² min
(2)	1,2	2,1	2,5	3,3	3,7	3,5	3,3	3,9	Strahlungsindex: 3
(3)	1,2	1,8	2,0	2,6	3,2	3,3	3,5	4,0	relative Feuchte: 77%
(4)	1,4	2,4	3,0	3,7	4,2	4,1	3,9	4,3	Temperaturgradient (120m - 20m): -1,3°C/100m
(5)	1,2	2,3	3,7	4,1	4,5	4,7	4,4	4,8	Sonnenhöhe: 47°
(6)									Bedeckungsgrad: 6/8 Cu,Ci

Windrichtung:

Höhe (m)		30	50	120	
Std. Mittel		251	254	253	Diffusionskategorie nach Temperaturgradient: B
10 Min. Mittel (1)		260	255	260	Diffusionskategorie nach Strahlungsbilanz: B
(2)		255	260	260	Diffusionskategorie nach synoptischen Beobachtungen: C
(3)		255	260	255	
(4)		253	255	253	
(5)		230	240	240	
(6)					

Windschwankungen:

Höhe (m)		30	50	120
max		120°	185°	75°
10 min max.		30°	20°	20°
horizontal			15,0°	10,2°
vertikal			12,2°	9,0°

Tabelle: 1/4

Emissionszeit: 12²⁰ – 13²⁰ Versuch Nr. 29
 Emissionshöhe: 100 m Datum: 23.5.73

Windgeschwindigkeit:

Höhe (m)	2	10	20	30	50	80	100	120	Luftdruck: 755,8 mmHg
Bereich (m/s)									Temperatur: + 19,8°C
Std. Mittel (m/s)	2,0	3,3	4,2	6,6	8,5	9,5	9,9	10,4	Strahlungsbilanz: +0,75 Cal/cm ² min
10 Min. Mittel (m/s) (1)	1,8	2,6	3,2	5,1	6,7	7,5	8,0	8,4	Strahlungsindex: 4
(2)	2,3	3,4	4,6	7,1	8,9	10,0	10,3	10,8	relative Feuchte: 45%
(3)	1,9	3,2	4,0	5,9	7,3	8,6	9,1	9,5	Temperaturgradient (120m - 20m): -1,9°C/100m
(4)	1,9	3,7	4,7	7,3	9,4	10,1	10,3	10,9	Sonnenhöhe: 57°
(5)	2,0	3,5	4,7	7,0	9,0	10,2	10,6	11,1	Beckungsgrad: 3/8 Cu
(6)	2,3	3,6	4,0	7,4	9,8	10,7	11,1	11,5	

Windrichtung:

Höhe (m)		30	50	120	Diffusionskategorie nach Temperaturgradient: C
Std. Mittel		233	238	236	Diffusionskategorie nach Strahlungsbilanz: C
10 Min. Mittel (1)		225	240	238	Diffusionskategorie nach synoptischen Beobachtungen: C
(2)		235	235	235	
(3)		235	240	235	
(4)		230	235	235	
(5)		235	240	240	
(6)		235	240	235	

Windschwankungen:

Höhe (m)		30	50	120
max		155°	110°	80°
10 min max.		10°	5°	5°
horizontal			15,6°	11,7°
vertikal			11,0°	8,5°

Tabelle 1/5

Emissionszeit: 13⁰⁰ – 14⁰⁰ Versuch Nr. 30
 Emissionshöhe: 100 m Datum: 20.7.73

Windgeschwindigkeit:

Höhe (m)	2	10	20	30	50	80	100	120
Bereich (m/s)								
Std. Mittel (m/s)	0,9	1,6	2,2	3,7	4,8	5,9	6,5	7,3
10 Min. Mittel (m/s) (1)	0,8	1,4	1,9	3,5	4,7	6,2	7,4	8,2
(2)	0,8	1,2	1,9	3,5	4,9	5,8	6,3	7,1
(3)	1,0	1,8	2,6	4,1	5,2	5,7	6,0	6,8
(4)	1,0	1,7	2,5	4,2	5,3	6,0	6,7	7,4
(5)	0,9	1,4	2,3	3,9	4,9	6,3	6,9	7,6
(6)	0,9	1,9	1,9	3,1	4,1	5,2	5,8	6,5

Luftdruck: 749,0 mmHg

Temperatur: 18,1°C

Strahlungsbilanz: +0,17 Cal /cm²min

Strahlungsindex: 2

relative Feuchte: 70%

Temperaturgradient (120m - 20m): -1,0°C/100m

Sonnenhöhe: 55°

Bedeckungsgrad: 7/8 Sc, Cu

Windrichtung:

Höhe (m)		30	50	120
Std. Mittel		225	225	227
10 Min. Mittel	(1)	240	240	235
	(2)	230	230	230
	(3)	225	225	230
	(4)	215	220	225
	(5)	220	220	220
	(6)	215	215	220

Diffusionskategorie nach
Temperaturgradient: CDiffusionskategorie nach
Strahlungsbilanz: CDiffusionskategorie nach
synoptischen Beobachtungen: C

Windschwankungen:

Höhe (m)		30	50	120
max		190°	110°	60°
10 min max.		25°	25°	15°
horizontal			14,4°	11,6°
vertikal			11,0°	7,2°

35
1

Tabelle 1/6

Emissionszeit: 22¹⁵ – 23⁰⁵ Versuch Nr. 31
 Emissionshöhe: 100 m Datum: 24.7.73

Windgeschwindigkeit:

Höhe (m)	2	10	20	30	50	80	100	120	Luftdruck: 748,5 mmHg
Bereich (m/s)									Temperatur: 12,6°C
Std. Mittel (m/s)	0,04	0,3	0,4	1,2	2,1	3,2	3,4	3,8	Strahlungsbilanz: - 0,02 cal/cm ² min
10 Min. Mittel (m/s) (1)	0,05	0,2	0,5	1,7	2,9	3,8	3,8	4,2	Strahlungsindex: -1
(2)	0,04	0,2	0,6	1,7	2,9	3,9	3,9	4,2	relative Feuchte: 92%
(3)	0,02	0,1	0,4	1,4	2,5	4,1	4,3	4,6	Temperaturgradient (120m - 20m): +0,6°C/100m
(4)	0,08	0,1	0,3	1,2	2,3	3,6	3,6	3,9	Sonnenhöhe: -17°
(5)	0,04	0,1	0,1	0,7	1,6	2,4	2,6	3,0	Bedeckungsgrad: 7/8 Sc, Ac
(6)	0,03	0,8	0,4	0,5	0,6	1,5	2,1	3,1	

Windrichtung:

Höhe (m)		30	50	120	Diffusionskategorie nach Temperaturgradient: G
Std. Mittel					
10 Min. Mittel (1)		260	265	270	Diffusionskategorie nach Strahlungsbilanz: G
(2)		250	260	270	
(3)		250	255	270	Diffusionskategorie nach synoptischen Beobachtungen: G
(4)		260	260	270	
(5)		260	270	275	
(6)		(240)	(250)	280	

Windschwankungen:

Höhe (m)	30	50	120
max	75°	35°	10°
10 min max.	20°	20°	10°
horizontal		4,5°	6,5°
vertikal		4,0°	2,0°

Tabelle 1/7

Emissionszeit: 12⁴⁰ – 13⁴⁰ Versuch Nr. 32
 Emissionshöhe: 50m Datum: 3.8.73

Windgeschwindigkeit:

Höhe (m)	2	10	20	30	50	80	100	120	Luftdruck: 754,0 mmHg
Bereich (m/s)									Temperatur: 24,7°C
Std. Mittel (m/s)	1,1	2,0	2,6	3,7	4,6	5,3	5,5	5,9	Strahlungsbilanz: +0,55 cal/cm ² min
10 Min. Mittel (m/s) (1)	1,0	1,7	1,9	2,8	3,5	4,1	4,4	5,0	Strahlungsindex: 3
(2)	1,2	2,0	2,8	3,7	4,8	5,2	5,4	5,8	relative Feuchte: 55%
(3)	1,2	1,9	2,5	3,7	4,7	5,3	5,4	5,7	Temperaturgradient (120m - 20m): -1.7°C/100m
(4)	1,0	2,0	2,4	3,2	4,3	4,7	4,9	5,2	Sonnenhöhe: 55°
(5)	1,2	2,3	3,0	4,5	5,7	6,4	6,5	6,8	Bedckungsgrad: 5/8 Cu (Dunst)
(6)	1,1	2,1	3,2	4,1	4,8	5,8	6,2	6,7	

Windrichtung:

Höhe (m)		30	50	120	Diffusionskategorie nach
Std. Mittel		252	245	256	Temperaturgradient: B
10 Min. Mittel (1)		240	240	250	Diffusionskategorie nach
(2)		240	235	250	Strahlungsbilanz: B
(3)		240	240	250	Diffusionskategorie nach
(4)		255	245	260	synoptischen Beobachtungen: B
(5)		270	260	270	
(6)		265	250	260	

Windschwankungen:

Höhe (m)	30	50	120
max	220°	125°	85°
10 min max.	30°	25°	20°
horizontal		15,6°	13,5°
vertikal		12,2°	10,3°

Tabelle 1/8

Emissionszeit: 12⁴⁰– 13⁴⁰ Versuch Nr. 33
 Emissionshöhe: 50m Datum: 8.8.73

Windgeschwindigkeit:

Höhe (m)	2	10	20	30	50	80	100	120	Luftdruck: 762,2 mmHg
Bereich (m/s)									Temperatur: +19,0°C
Std. Mittel (m/s)	1,1	2,9	3,5	4,7	6,2	7,3	7,7	8,2	Strahlungsbilanz: +0,37 cal/cm ² min
10 Min. Mittel (m/s) (1)	0,6	4,2	4,8	5,6	7,0	8,0	8,6	9,0	Strahlungsindex: 3
(2)	1,7	3,1	3,8	5,2	6,7	7,9	8,6	9,0	relative Feuchte: 47%
(3)	1,1	2,4	2,9	4,3	5,9	7,2	7,5	8,1	Temperaturgradient (120m - 20m): -1,4°C/100m
(4)	1,2	2,4	3,1	4,5	6,2	7,1	7,3	7,8	Sonnenhöhe: 51°
(5)	1,2	3,1	3,8	4,7	6,1	7,1	7,5	8,1	Bedeckungsgrad: 7/8 Cu
(6)	0,9	2,0	2,4	3,9	5,4	6,4	6,7	7,4	

Windrichtung:

Höhe (m)		30	50	120	Diffusionskategorie nach
Std. Mittel		269	258	272	Temperaturgradient: B
10 Min. Mittel (1)		265	260	270	Diffusionskategorie nach
(2)		265	255	265	Strahlungsbilanz: B
(3)		270	260	270	Diffusionskategorie nach
(4)		265	250	270	synoptischen Beobachtungen: B
(5)		265	255	275	
(6)		285	265	280	

Windschwankungen:

Höhe (m)	30	50	120
max	150°	105°	65°
10 min max.	20°	15°	15°
horizontal		14,3°	12,2°
vertikal		11,5°	9,2°

Tabelle 1/9

Emissionszeit: 13³⁰ – 14³⁰ Versuch Nr. 34
 Emissionshöhe: 50 m Datum: 3.9.73

Windgeschwindigkeit:

Höhe (m)	2	10	20	30	50	80	100	120
Bereich (m/s)								
Std. Mittel (m/s)	1,7	2,7	3,6	5,1	6,5	7,5	7,9	8,4
10 Min. Mittel (m/s) (1)	1,2	1,7	2,4	4,0	5,3	6,1	6,6	7,2
(2)	1,7	2,8	3,4	4,3	5,1	6,0	6,5	7,1
(3)	1,9	3,3	4,2	5,4	7,4	8,9	9,2	9,6
(4)	2,2	3,2	4,4	5,6	7,3	8,4	8,7	8,9
(5)	2,1	3,1	4,2	6,3	7,5	7,9	8,4	9,1
(6)	1,1	2,1	3,2	5,0	6,2	7,6	8,2	8,7

Windrichtung:

Höhe (m)		30	50	120
Std. Mittel		251	247	255
10 Min. Mittel (1)		250	240	260
(2)		255	250	260
(3)		250	250	250
(4)		250	250	250
(5)		255	255	260
(6)		245	240	250

Windschwankungen:

Höhe (m)	30	50	120
max	150°	100°	90°
10 min max.	10°	15°	10°
horizontal		15,0°	12,7°
vertikal		11,7°	10,0°

Luftdruck: 757,6 mmHg

Temperatur: 26,1°C

Strahlungsbilanz: +0,51 Cal/cm²min

Strahlungsindex: 3

relative Feuchte: 43%

Temperaturgradient (120m - 20m): -1,9°C/100 m

Sonnenhöhe: 40°

Bedeckungsgrad: 3/8 Cu, Ci

Diffusionskategorie nach
Temperaturgradient: CDiffusionskategorie nach
Strahlungsbilanz: CDiffusionskategorie nach
synoptischen Beobachtungen: C30
1

Tabelle 1/10

Emissionszeit: 13¹⁵ – 14⁰⁰ Versuch Nr. 35
 Emissionshöhe: 50 m Datum: 22.10.73

Windgeschwindigkeit:

Höhe (m)	2	10	20	30	50	80	100	120	
Bereich (m/s)									Luftdruck: 762,2 mmHg
Std. Mittel (m/s)	1,0	1,7	2,5	3,8	4,6	5,5	5,0	5,6	Temperatur: 11,1°C
10 Min. Mittel (m/s) (1)	1,4	2,3	4,3	5,6	5,8	7,9	6,4	7,1	Strahlungsbilanz: +0,25 cal/cm ² min
(2)	1,0	1,6	2,4	3,9	5,5	6,4	6,2	6,5	Strahlungsindex: 2
(3)	1,1	1,4	1,9	2,7	3,3	3,8	3,6	4,4	relative Feuchte: 55%
(4)	0,5	1,6	2,0	3,3	4,1	4,2	4,0	4,6	Temperaturgradient (120m - 20m): -1,2°C/100 m
(5)	0,8	1,4	2,1	3,3	4,2	5,0	4,9	5,4	

Windrichtung:

Höhe (m)		30	50	120	
Std. Mittel		233	237	238	Diffusionskategorie nach Temperaturgradient: B
10 Min. Mittel (1)		240	240	240	Diffusionskategorie nach Strahlungsbilanz: C
(2)		240	245	245	
(3)		235	235	235	Diffusionskategorie nach synoptischen Beobachtungen: C
(4)		210	225	230	
(5)		240	240	240	
(6)					

Windschwankungen:

Höhe (m)		30	50	120
max		155°	115°	95°
10 min max.		30°	20°	15°
horizontal			14,4°	9,6°
vertikal			11,2°	7,8°

Tabelle 1/11

Emissionszeit: 13²⁵ – 14⁰⁵
 Emissionshöhe: 50m

Versuch Nr. 36

Datum: 6.11.73

Schauer: 14⁰⁷ – 14⁴⁰

Windgeschwindigkeit:

Höhe (m)	2	10	20	30	50	80	100	120
Bereich (m/s)								
Std. Mittel (m/s)	1,9	3,5	4,8	6,7	8,8	10,4	11,0	11,7
10 Min. Mittel (m/s) (1)	1,6	2,7	4,0	6,3	8,8	10,0	10,9	11,9
(2)	2,1	3,4	4,6	6,7	8,8	10,8	11,3	11,9
(3)	1,9	3,7	5,3	6,6	9,1	11,1	12,1	12,6
(4)	1,8	3,4	4,5	6,2	7,9	9,4	9,6	10,5
(5)	2,2	4,1	5,5	7,8	9,6	10,7	11,1	11,8
(6)								

Luftdruck: 754,7 mmHg

Temperatur: 13,6°C

Strahlungsbilanz: +0,26 Cal/cm²min

Strahlungsindex: 2

relative Feuchte: 70%

Temperaturgradient (120m - 20m): -1,3°C/100 m

Sonnenhöhe: 21°

Bedeckungsgrad: 4/8 Cu, Sc

Windrichtung:

Höhe (m)		30	50	120
Std. Mittel		262	272	272
10 Min. Mittel (1)		260	270	270
(2)		260	270	270
(3)		260	270	270
(4)		260	270	270
(5)		270	280	280
(6)				

Diffusionskategorie nach
Temperaturgradient: CDiffusionskategorie nach
Strahlungsbilanz: DDiffusionskategorie nach
synoptischen Beobachtungen: D

Windschwankungen:

Höhe (m)		30	50	120
max		180°	90°	65°
10 min max.		10°	10°	10°
horizontal			15,0°	7,5°
vertikal			10,4°	6,8°

Tabelle 1/12

Emissionszeit: 12 15 – 13 15

Versuch Nr. 37

Emissionshöhe: 50 m

Datum: 9.11.73

Windgeschwindigkeit:

Höhe (m)	2	10	20	30	50	80	100	120
Bereich (m/s)								
Std. Mittel (m/s)	1,6	3,1	4,3	6,4	8,3	10,0	10,6	11,8
10 Min. Mittel (m/s) (1)	1,7	3,4	5,3	7,0	8,8	10,5	11,1	12,0
(2)	1,6	2,3	3,1	5,3	7,3	8,9	9,2	10,2
(3)	1,7	3,3	4,3	6,2	8,3	10,3	11,2	12,1
(4)	1,5	2,8	3,9	5,9	8,3	9,9	10,9	12,0
(5)	1,6	3,0	4,3	6,6	8,7	10,3	10,9	12,0
(6)	1,6	3,5	5,1	7,1	8,5	10,1	10,1	12,3

Luftdruck: 762,0 mmHg

Temperatur: 10,9°C

Strahlungsbilanz: + 0,05 cal / cm²min

Strahlungsindex: 0

relative Feuchte: 82%

Temperaturgradient (120m - 20m): -0,8°C/100m

Sonnenhöhe: 22°

Windrichtung:

Beleuchtungsgrad: 8/8 SC

Höhe (m)		30	50	120
Std. Mittel		246	255	255
10 Min. Mittel (1)		245	255	255
(2)		245	255	255
(3)		245	255	255
(4)		245	255	255
(5)		245	255	255
(6)		250	255	255

Diffusionskategorie nach
Temperaturgradient: DDiffusionskategorie nach
Strahlungsbilanz: DDiffusionskategorie nach
synoptischen Beobachtungen: D

Windschwankungen:

Höhe (m)		30	50	120
max		140°	75°	60°
10 min max.		50°	0°	0°
horizontal			14,2°	7,2°
vertikal			10,0°	6,8°

Tabelle 1/13

Emissionszeit: 13.10 - 14.10
Emissionshöhe: 50m

Versuch Nr. 38
Datum: 24.1.74

Windgeschwindigkeit:

Höhe (m)	2	10	20	30	50	80	100	120	Luftdruck: 756,2 mm Hg
Bereich (m/s)									Temperatur: 8,5° C
Std. Mittel (m/s)	1,6	2,6	3,9	5,3	6,7	8,1	8,5	9,3	Strahlungsbilanz: + 0,15 cal/cm ² min
10 Min. Mittel (m/s) (1)	1,7	3,0	5,1	6,5	7,2	8,8	9,3	10,2	Strahlungsindex: 1
(2)	1,8	2,0	3,1	4,5	6,3	8,2	8,5	9,3	relative Feuchte: 81 %
(3)	1,4	2,8	3,7	5,0	6,6	8,4	8,9	9,6	Temperaturgradient (120m - 20m): -1,0° C/100m
(4)	1,4	2,4	3,7	5,1	6,6	8,0	8,4	9,2	Sonnenhöhe: 17°
(5)	1,7	2,7	3,9	5,3	6,7	7,7	7,9	8,6	Bedeckungsgrad: 7/8 SC, AC
(6)	1,6	2,7	4,0	5,4	6,9	7,7	8,1	8,9	Diffusionskategorie nach Temperaturgradient: D

Windrichtung:

Höhe (m)		30	50	120	
Std. Mittel		245	247	248	
10 Min. Mittel (1)		245	245	245	Diffusionskategorie nach Temperaturgradient: D
(2)		245	245	245	
(3)		240	245	245	Diffusionskategorie nach Strahlungsbilanz: D
(4)		245	248	250	
(5)		245	250	250	Diffusionskategorie nach synoptischen Beobachtungen: D
(6)		250	250	250	

Windschwankungen:

Höhe (m)	30	50	120
max	115°	110°	55°
10 Min max	10°	5°	5°
horizontal		14,5°	6,8°
vertikal		10,5°	6,2°

Tabelle 1/14

Emissionszeit: 12.35 - 13.35

Emissionshöhe: 50 m

Versuch Nr. 39

Datum: 14.2.74

Windgeschwindigkeit:

Höhe (m)	2	10	20	30	50	80	100	120	Luftdruck: 749,2 mm Hg
Bereich (m/s)									Temperatur: 11,9° C
Std. Mittel (m/s)	1,4	2,2	3,3	4,6	5,7	6,7	6,7	7,4	Strahlungsbilanz: + 0,17 cal/cm ² min
10 Min. Mittel(m/s) (1)	1,9	3,0	4,1	6,6	7,5	9,1	9,0	9,3	Strahlungsindex: 1
(2)	1,4	2,2	3,4	4,5	6,0	7,5	7,8	8,9	relative Feuchte: 65 %
(3)	1,4	2,0	3,3	4,4	5,6	6,5	6,6	7,3	Temperaturgradient(120 m - 20m) : - 1,0° C/100m
(4)	1,2	2,2	3,2	3,8	4,5	5,4	5,6	6,5	Sonnenhöhe: 26°
(5)	1,5	1,9	2,9	3,8	4,9	5,6	5,4	6,3	Bedeckungsgrad: 7/8 SC,CU
(6)	1,1	2,0	3,1	4,1	5,2	5,9	5,5	6,0	Diffusionskategorie nach
(7)	1,5	2,4	3,3	4,8	6,3	7,0	7,1	7,6	Temperaturgradient: C

Windrichtung:

Höhe (m)		30	50	120	Diffusionskategorie nach
Std. Mittel		245	250	250	Temperaturgradient: C
10 Min. Mittel (1)		235	245	250	Diffusionskategorie nach
(2)		250	255	255	Strahlungsbilanz: C
(3)		250	255	255	Diffusionskategorie nach
(4)		250	255	250	synoptischen Beobachtungen: D
(5)		240	245	245	
(6)		240	245	245	
(7)		248	250	250	

Windschwankungen:

Höhe (m)	30	50	120
max	95°	70°	95°
10min max	15°	10°	10°
horizontal		15,9°	7,7°
vertikal		9,0°	7,3°

Tabelle 1/15

Emissionszeit: 13.30-14.27

Versuch Nr. 40

Emissionshöhe: 50m

Datum: 14.5.1974

Windgeschwindigkeit:

Höhe (m)	2	10	20	30	50	80	100	120	Luftdruck: 758,7 mm Hg
Bereich (m/s)									Temperatur: 15,3° C
Std. Mittel (m/s)	2,0	3,4	4,6	6,5	8,7	10,3	11,1	11,8	Strahlungsbilanz: +0,40 cal/cm min ²
10 Min. Mittel (m/s) (1)	2,0	3,4	4,9	6,6	9,0	10,3	10,8	11,5	Strahlungsindex: 3
(2)	2,1	3,6	5,1	6,8	9,6	11,5	12,7	13,6	relative Feuchte: 58 %
(3)	2,1	3,5	4,7	7,1	9,0	11,0	12,0	12,6	Temperaturgradient (120m - 20m): -1,6°C/100 m
(4)	1,8	3,0	3,9	5,3	7,3	9,4	10,1	10,7	Sonnenhöhe: 51°
(5)	1,7	3,2	4,6	6,9	8,6	9,7	10,1	10,9	Bedeckungsgrad: 6/8 Cu
(6)	2,1	3,6	4,6	6,3	8,4	10,0	10,6	11,2	

Windrichtung:

Höhe (m)		30	50	120	Diffusionskategorie nach Temperaturgradient: B
Std. Mittel		264	270	272	
10 Min. Mittel (1)		265	275	280	Diffusionskategorie nach Strahlungsbilanz: B
(2)		270	275	275	
(3)		265	270	270	Diffusionskategorie nach synoptischen Beobachtungen: B
(4)		260	265	265	
(5)		255	260	265	
(6)		270	275	275	

Windschwankungen:

Höhe (m)	30	50	120
max	170°	120°	60°
10 min max.	15°	15°	15°
horizontal		15°	6,5°
vertikal		11°	5,8°

lage ausgewertet. Das Profilverfahren wurde nicht mehr angewandt, weil es nicht bei allen Versuchen durchführbar war und deshalb zu unvollständigen Ergebnissen führte. Beim Simultanverfahren wurde weiterhin der lineare Ansatz und der Potenzansatz für die Abhängigkeit der σ_y und σ_z von der Quelldistanz x verfolgt, d. h.

$$\sigma_i(x) = \sigma_{i0} \cdot x \quad \text{bzw.} \quad \sigma_i(x) = p_i \cdot x^{q_i} \quad (i = y, z)$$

Die resultierenden Parameter für die Bestimmung der $\sigma_y(x)$ und $\sigma_z(x)$ sind in Tab.1/1b für die Versuche 27-39 zusammengestellt. Zur Veranschaulichung der Ergebnisse sind in den Abb. 1/10 bis 1/23 die Verteilungskurven der normierten zeitintegrierten bodennahen Konzentration unter der Ausbreitungsachse als Funktion der Quelldistanz sowie die zugehörigen $\sigma_y(x)$ und $\sigma_z(x)$ dargestellt und zwar jeweils für den linearen Ansatz und den Potenzansatz des Simultanverfahrens. Zum Vergleich ist in jeder Abbildung die nach Pasquill berechnete Verteilungsfunktion mit den von Pasquill vorgeschlagenen Ausbreitungsparametern entsprechend der beim Versuch ermittelten Diffusionskategorie ebenfalls abgebildet. Aus den Abbildungen und den in Tab.1/1c wiedergegebenen Einzelwerten der Quelldistanz des Maximums und der maximalen bodennahen Konzentration $(I_u/Q)_{\max}$ lassen sich die schon in (Vg 73) gezogenen Schlußfolgerungen wieder bestätigen: Die Maxima rücken im Vergleich mit den Kurven nach Pasquill erheblich näher an die Quelle heran und haben zum Teil höhere Konzentrationswerte. Dieser Effekt ist auf die größere Turbulenz über dem bei uns vorliegenden Gelände mit sehr großer Bodenrauigkeit zurückzuführen. Er tritt sowohl in den aus den Experimentergebnissen berechneten Verteilungen und einer Vergrößerung der zugehörigen Ausbreitungsparameter als auch in den nach Vektorwindfahnenmessungen bestimmten Standardabweichungen deutlich hervor, denn diese sind viel größer als die von Pasquill verwendeten.

Tabelle 1/1b

Ausbreitungsparameter nach der Simultanauswertung

Versuch Nr.	linearer Ansatz $\sigma(x) = \sigma_{i0} \cdot x$		Potenzansatz $\sigma(x) = p_i \cdot x^{q_i}$			
	σ_{y0}	σ_{z0}	p_y	q_y	p_z	q_z
27	0,09	0,10	0,10	0,98	0,10	1,00
28	0,12	0,14	0,12	1,00	0,07	1,12
29	0,11	0,10	0,28	0,87	0,02	1,28
30	0,19	0,07	0,40	0,88	0,09	0,97
31	1,98	0,02	1,22	1,06	0,04	0,85
32	0,29	0,23	0,94	0,81	0,32	0,92
33	0,16	0,19	0,98	0,74	0,22	0,96
34	0,27	0,24	0,92	0,75	0,22	1,00
35	0,16	0,15	0,66	0,78	0,18	0,96
36	0,14	0,15	0,58	0,76	0,33	0,81
37	0,10	0,16	0,55	0,75	0,17	0,97
38	0,12	0,14	0,65	0,75	0,14	0,98
39	0,18	0,14	1,45	0,69	0,55	0,72

Tabelle 1/1c

Quelldistanz (m) des Maximums und Maximum der bodennahen normierten zeitintegrierten Konzentration I_u / Q (m^{-2}) (Simultanauswertung).

Versuch Nr.	Emissionshöhe (m)	Diffusions- kategorie	Quelldistanz (m)		Maximum(I_u / Q) max	
			linearer Ansatz	Potenzansatz	linearer Ansatz	Potenzansatz
27	100	D	708	684	$2,6 \cdot 10^{-5}$	$2,7 \cdot 10^{-5}$
28	100	B	493	455	$2,9 \cdot 10^{-5}$	$3,1 \cdot 10^{-5}$
29	100	C	690	722	$2,2 \cdot 10^{-5}$	$2,1 \cdot 10^{-5}$
30	100	C	954	1038	$9,2 \cdot 10^{-6}$	$9,3 \cdot 10^{-6}$
31	100	G	3936	5602	$3,0 \cdot 10^{-7}$	$1,3 \cdot 10^{-7}$
32	50	B	156	176	$7,3 \cdot 10^{-5}$	$5,5 \cdot 10^{-5}$
33	50	B	184	209	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$6,7 \cdot 10^{-5}$
34	50	C	145	168	$8,6 \cdot 10^{-5}$	$8,1 \cdot 10^{-5}$
35	50	C	231	262	$8,9 \cdot 10^{-5}$	$6,8 \cdot 10^{-5}$
36	50	D	241	330	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$6,9 \cdot 10^{-5}$
37	50	D	217	264	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$9,9 \cdot 10^{-5}$
38	50	D	248	293	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$7,7 \cdot 10^{-5}$
39	50	C	313	335	$7,3 \cdot 10^{-5}$	$4,3 \cdot 10^{-5}$

Tabelle 1/ 1d

Die mit Vektorwindfahnen ermittelten sigmawerte der Ausbreitungsversuche und Ausbreitungsparameter

Versuch Nr.	50m		120m		Emissionshöhe (m)	$\sigma_i(x) = \sigma_{i0} \cdot x$		Diffusionskategorie
	σ_A	σ_E	σ_A	σ_E		σ_{y0}	σ_{z0}	
27	14,1°	10,3°	8,3°	6,3°	100	0,12	0,09	D
28	15,0°	12,2°	10,2°	9,0°	100	0,14	0,13	B
29	15,6°	11,0°	11,7°	8,5°	100	0,16	0,12	C
30	14,4°	11,0°	11,6°	7,2°	100	0,16	0,10	C
31	4,5°	4,0°	6,5°	2,0°	100	0,09	0,03	G
32	15,6°	12,2°	13,5°	10,3°	50	0,22	0,17	B
33	14,3°	11,5°	12,2°	9,2°	50	0,20	0,16	B
34	15,0°	11,7°	12,7°	10,0°	50	0,21	0,16	C
35	14,4°	11,2°	9,6°	7,8°	50	0,20	0,16	C
36	15,0°	10,4°	7,5°	6,8°	50	0,21	0,15	D
37	14,2°	10,0°	7,2°	6,8°	50	0,20	0,14	D
38	14,5°	10,5°	6,8°	6,2°	50	0,20	0,15	D
39	15,9°	9,0°	7,7°	7,3°	50	0,22	0,13	C
40	15,0°	11,0°	6,5°	5,8°	50	0,21	0,15	B

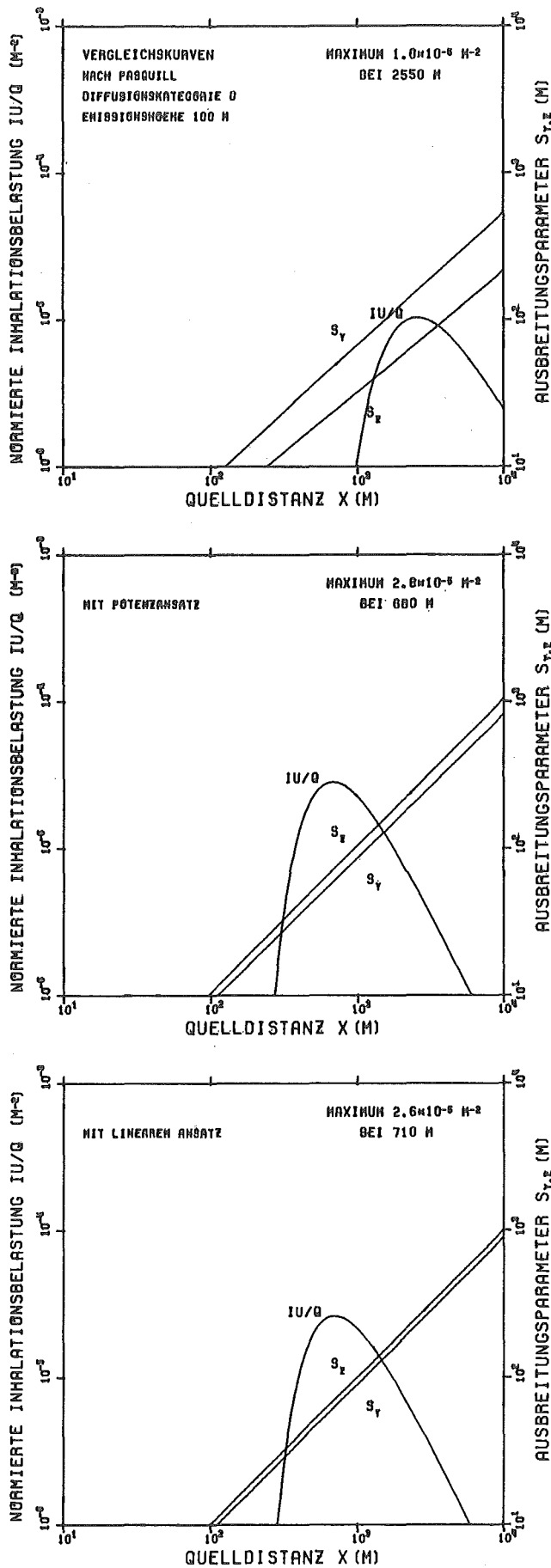


Abb. 10 Normierte Konzentrationsverteilungen und Ausbreitungsparameter nach dem Simultanauswerteverfahren (zum Vergleich die Kurven nach dem System von Pasquill) Versuch 27

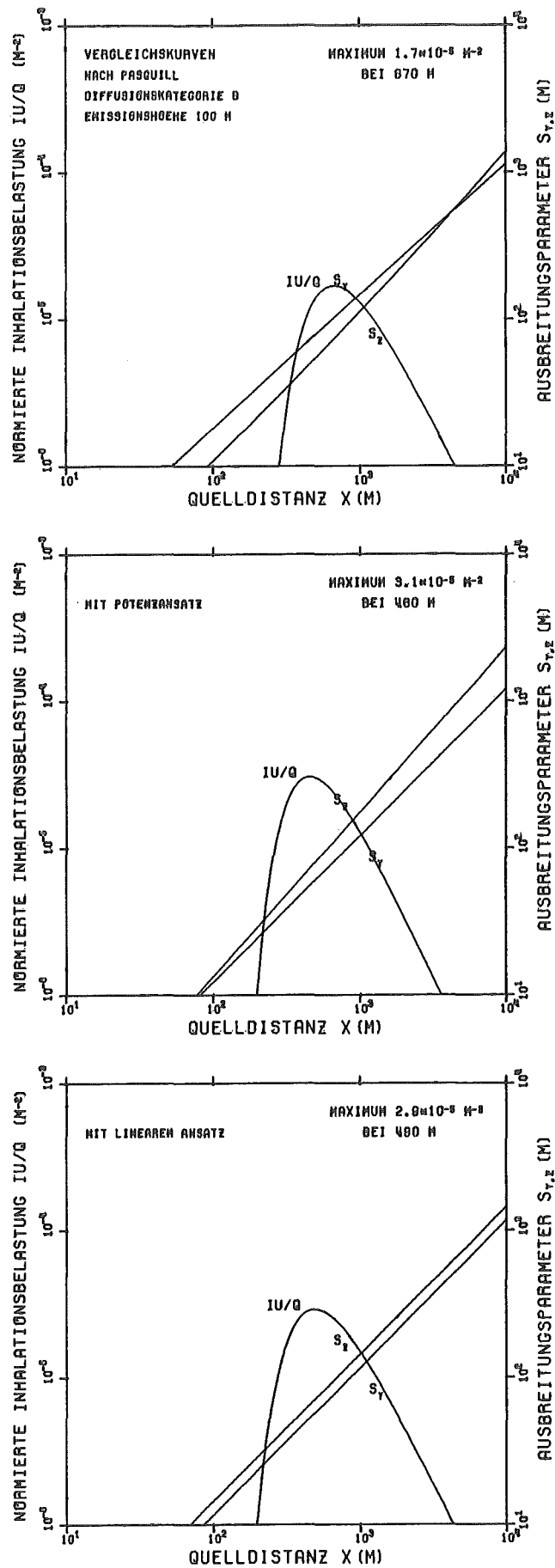


Abb. 11 Normierte Konzentrationsverteilungen und Ausbreitungsparameter nach dem Simultanauswerteverfahren (zum Vergleich die Kurven nach dem System von Pasquill) Versuch 28

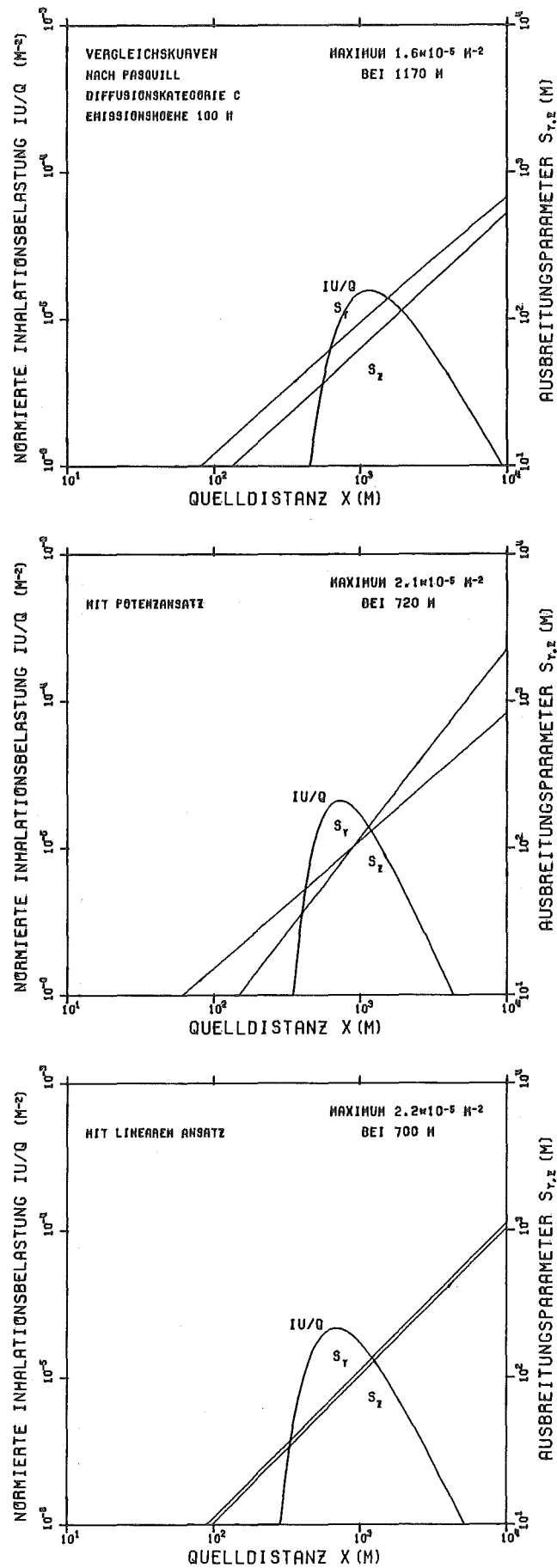


Abb. 12 Normierte Konzentrationsverteilungen und Ausbreitungsparameter nach dem Simultanauswerteverfahren (zum Vergleich die Kurven nach dem System von Pasquill) Versuch 29

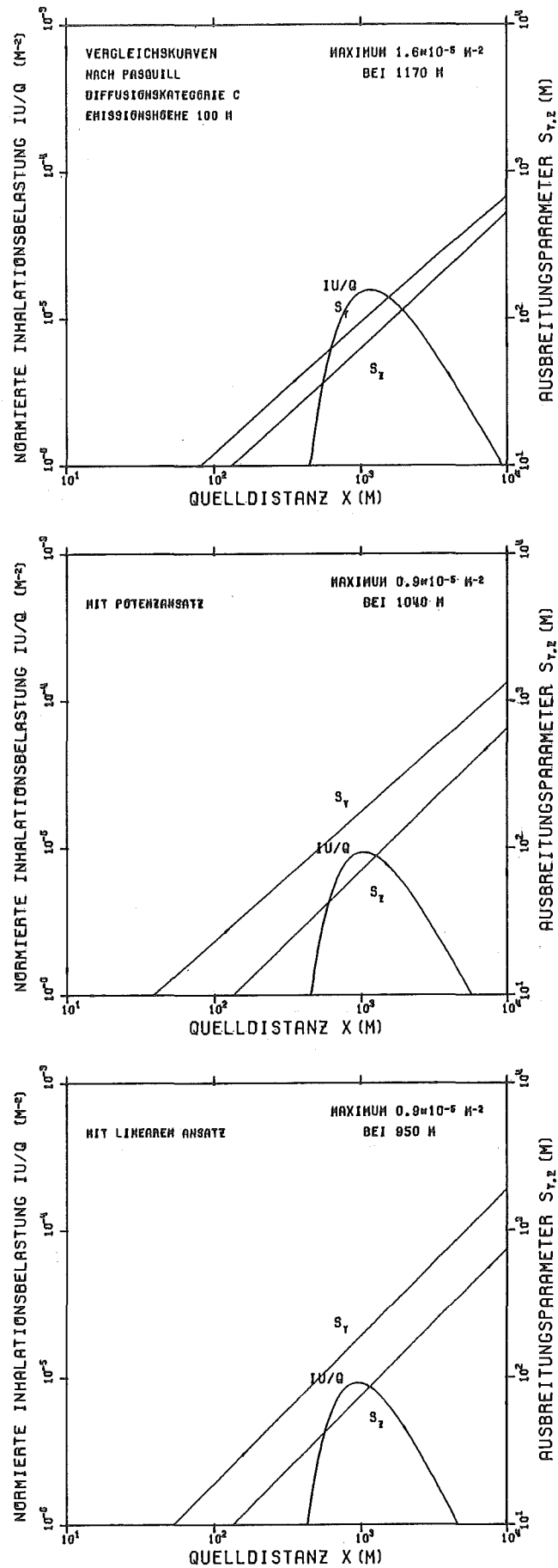


Abb. 13 Normierte Konzentrationsverteilungen und Ausbrei-
tungsparameter nach dem Simultanauswerteverfahren
(zum Vergleich die Kurven nach dem System von
Pasquill) Versuch 30

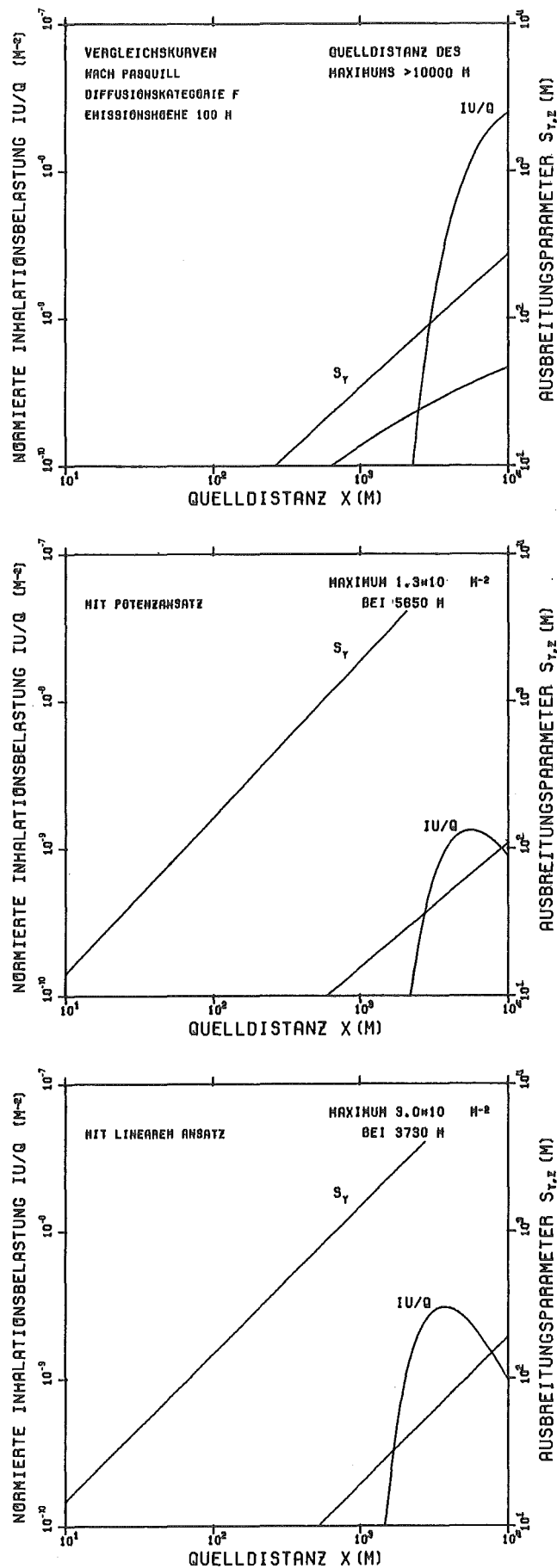


Abb. 14 Normierte Konzentrationsverteilungen und Ausbreitungsparameter nach dem Simultanauswerteverfahren (zum Vergleich die Kurven nach dem System von Pasquill) Versuch 31

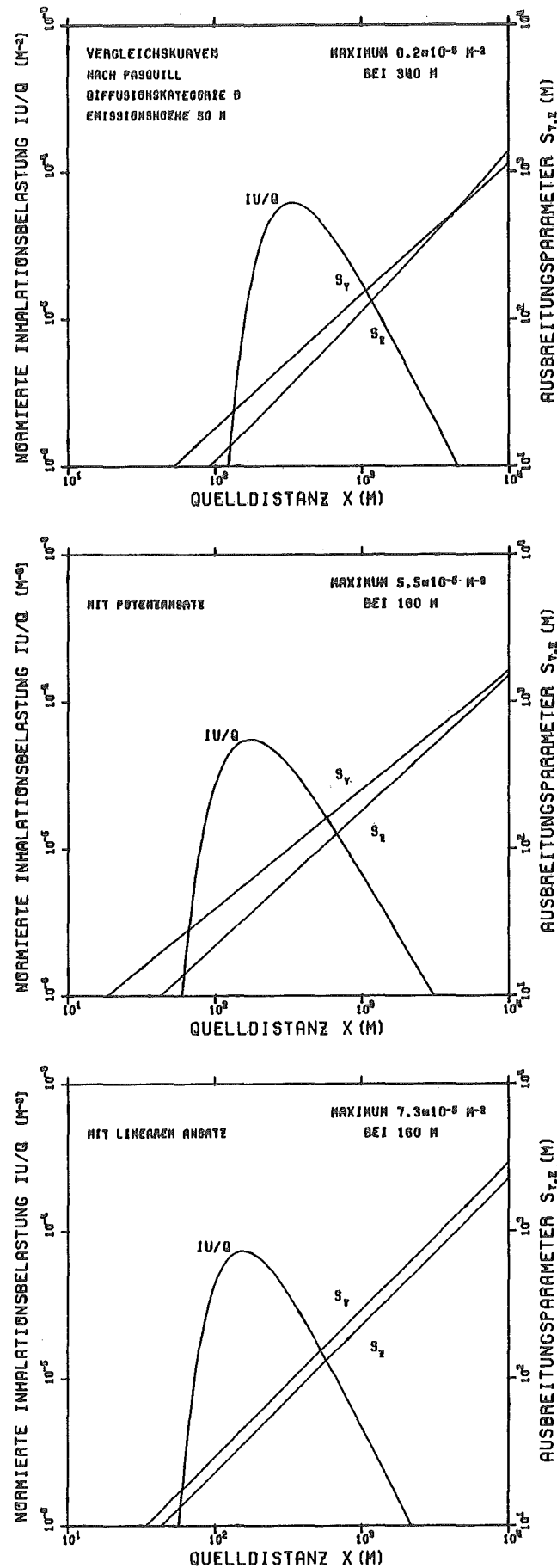


Abb. 15 Normierte Konzentrationsverteilungen und Ausbreitungsparameter nach dem Simultanauswerteverfahren (zum Vergleich die Kurven nach dem System von Pasquill) Versuch 32

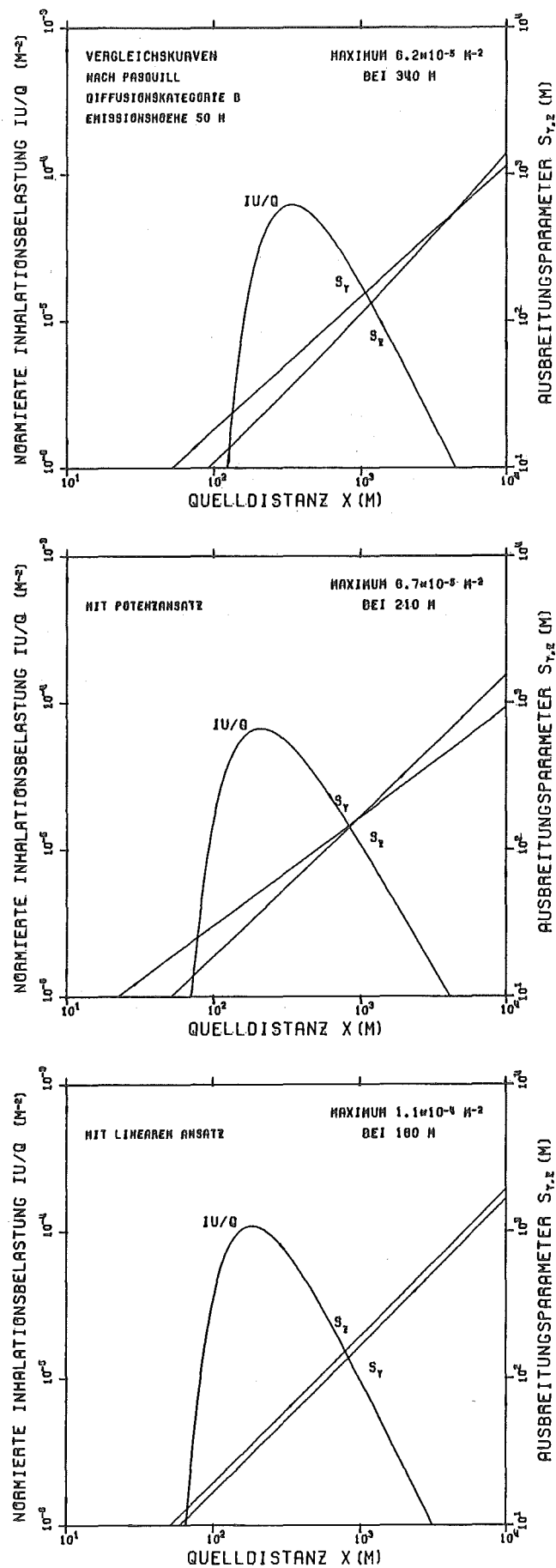


Abb. 16 Normierte Konzentrationsverteilungen und Ausbreitungsparameter nach dem Simultanauswerteverfahren (zum Vergleich die Kurven nach dem System von Pasquill) Versuch 33

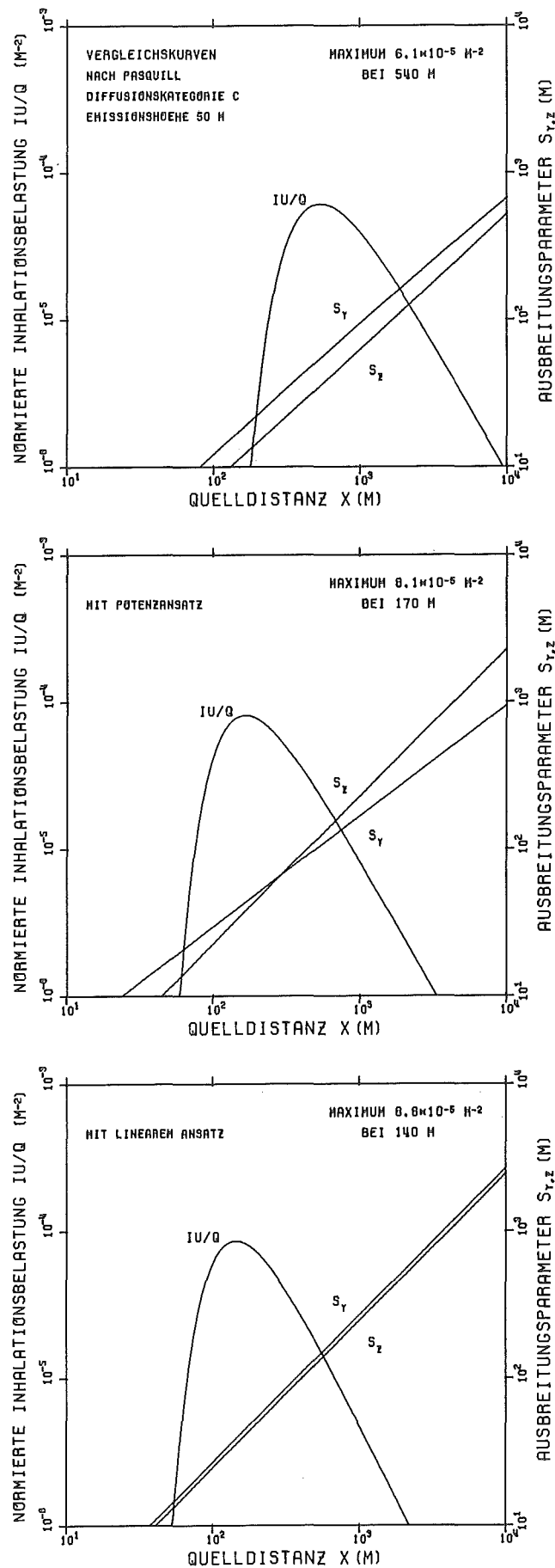


Abb. 17 Normierte Konzentrationsverteilungen und Ausbreitungsparameter nach dem Simultanauswerteverfahren (zum Vergleich die Kurven nach dem System von Pasquill) Versuch 34

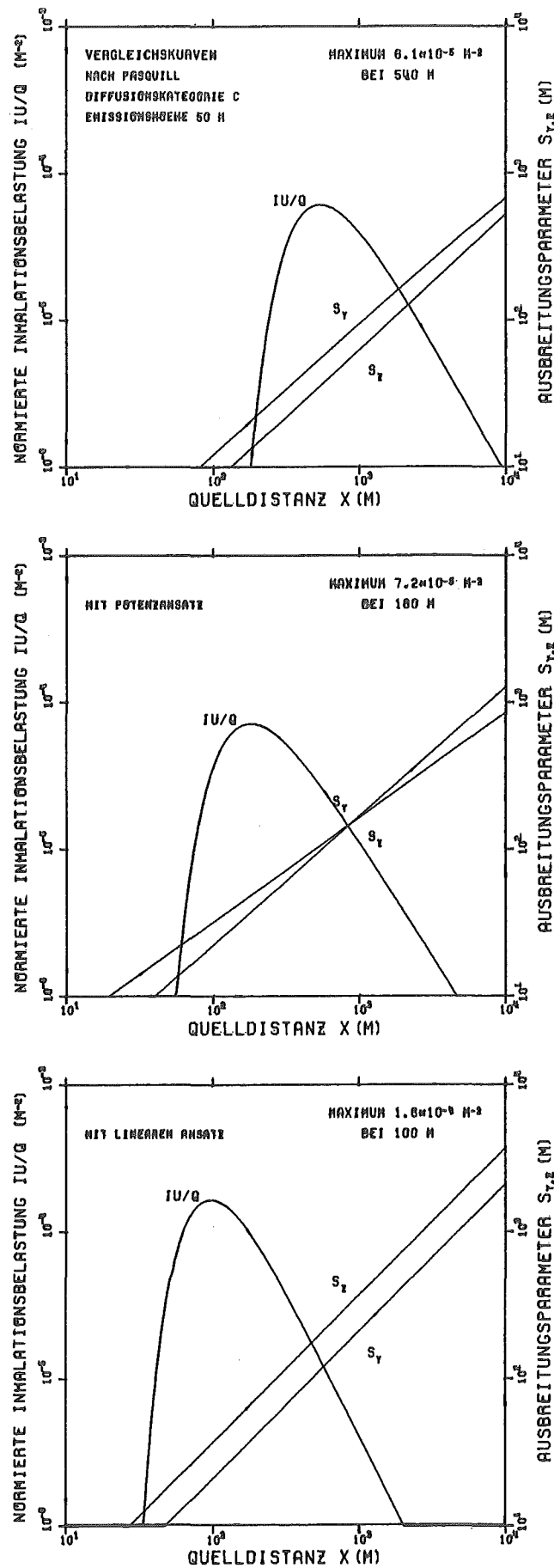


Abb. 18 Normierte Konzentrationsverteilungen und Ausbreitungsparameter nach dem Simultanauswerteverfahren (zum Vergleich die Kurven nach dem System von Pasquill) Versuch 34

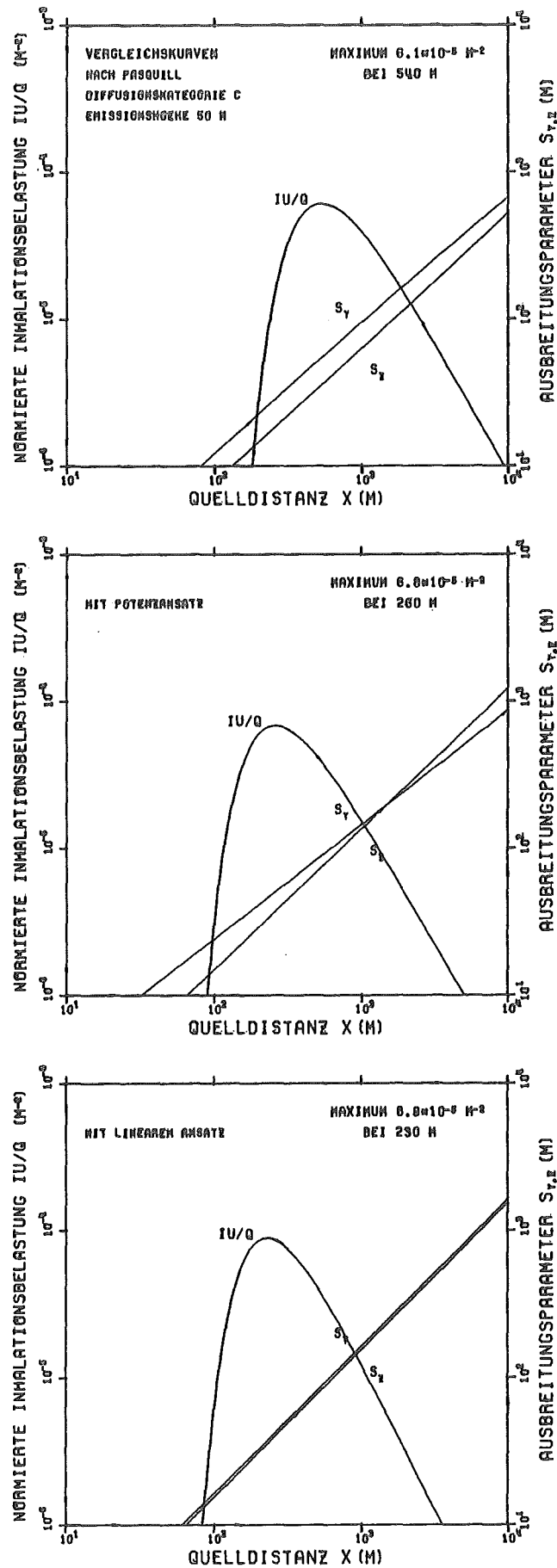


Abb. 19 Normierte Konzentrationsverteilungen und Ausbreitungsparameter nach dem Simultanauswerteverfahren (zum Vergleich die Kurven nach dem System von Pasquill) Versuch 35

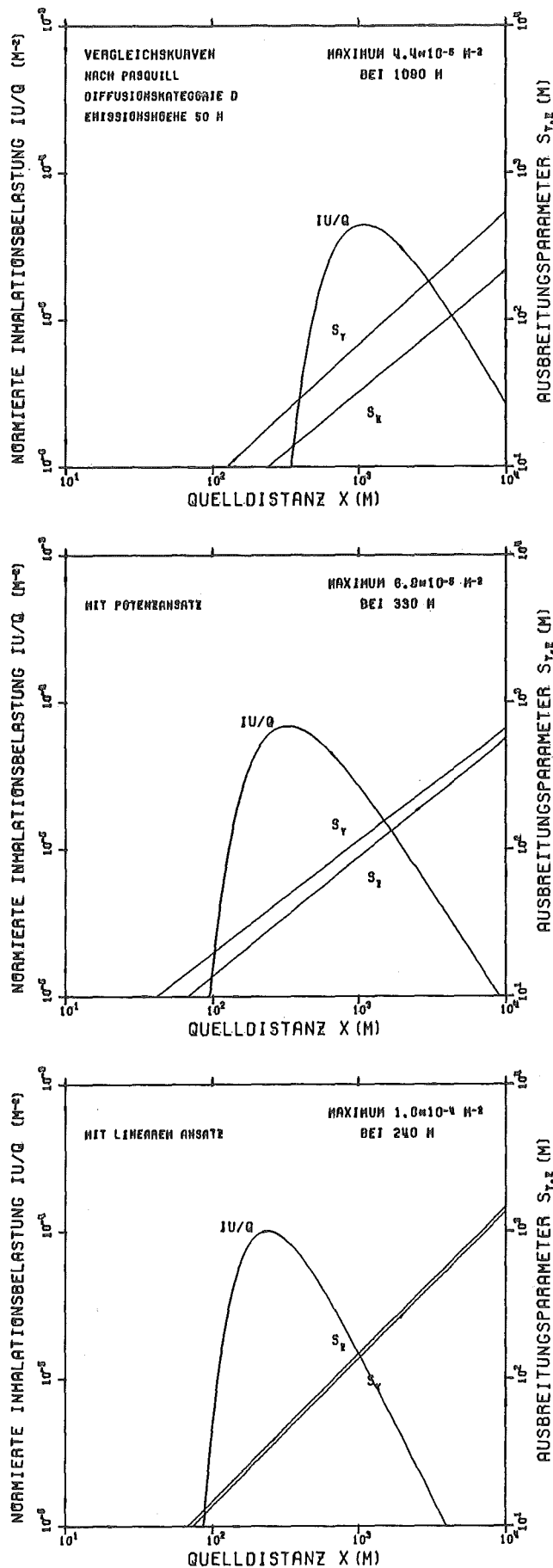


Abb. 20 Normierte Konzentrationsverteilungen und Ausbreitungsparameter nach dem Simultanauswerteverfahren (zum Vergleich die Kurven nach dem System von Pasquill) Versuch 36

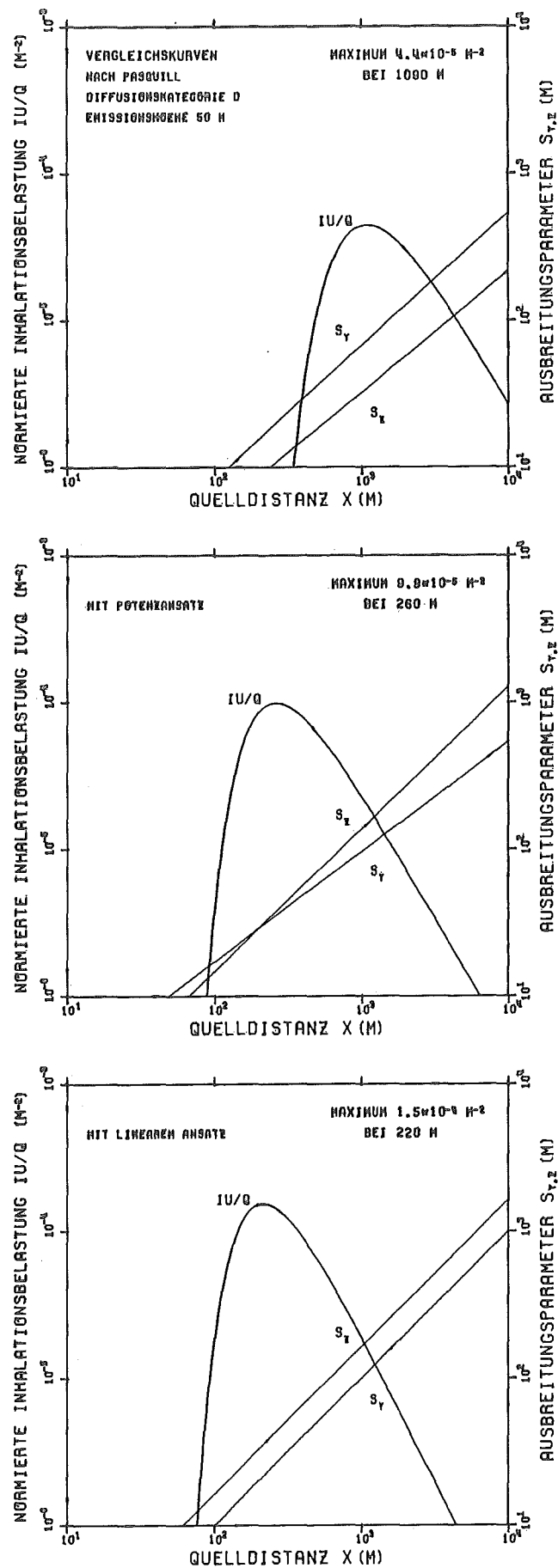


Abb. 21 Normierte Konzentrationsverteilungen und Ausbreitungsparameter nach dem Simultanauswerteverfahren (zum Vergleich die Kurven nach dem System von Pasquill) Versuch 37

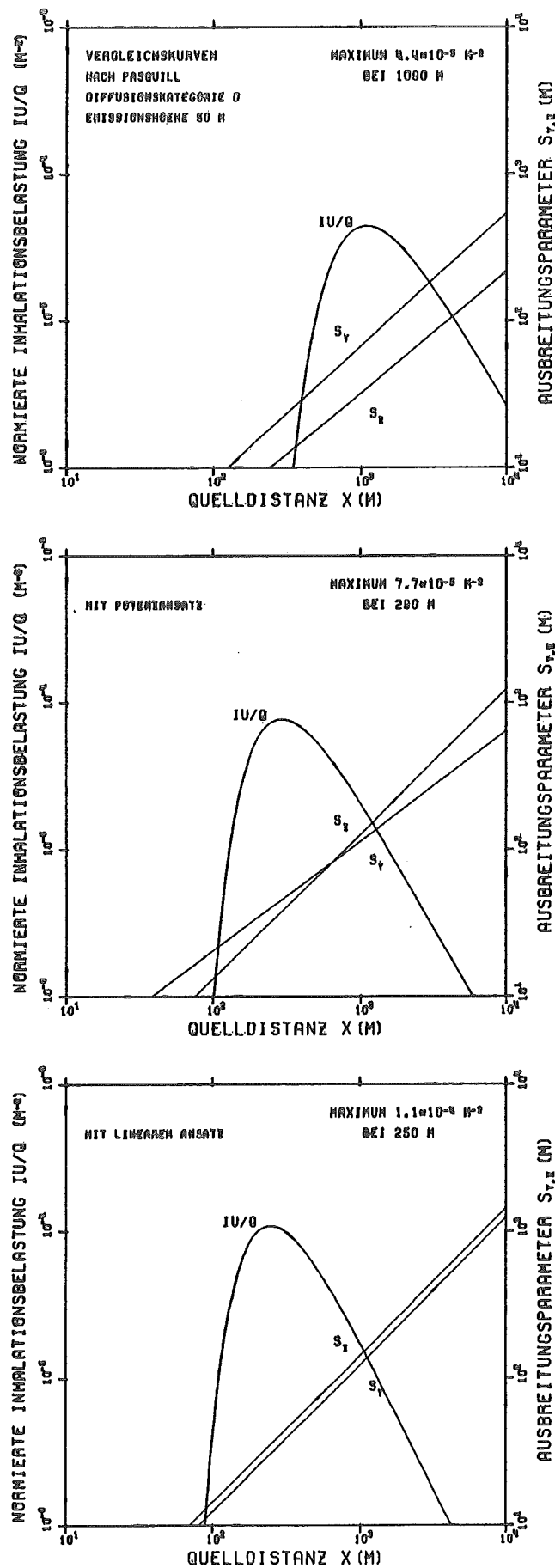


Abb. 22 Normierte Konzentrationsverteilungen und Ausbreitungsparameter nach dem Simultanauswerteverfahren (zum Vergleich die Kurven nach dem System von Pasquill) Versuch 38

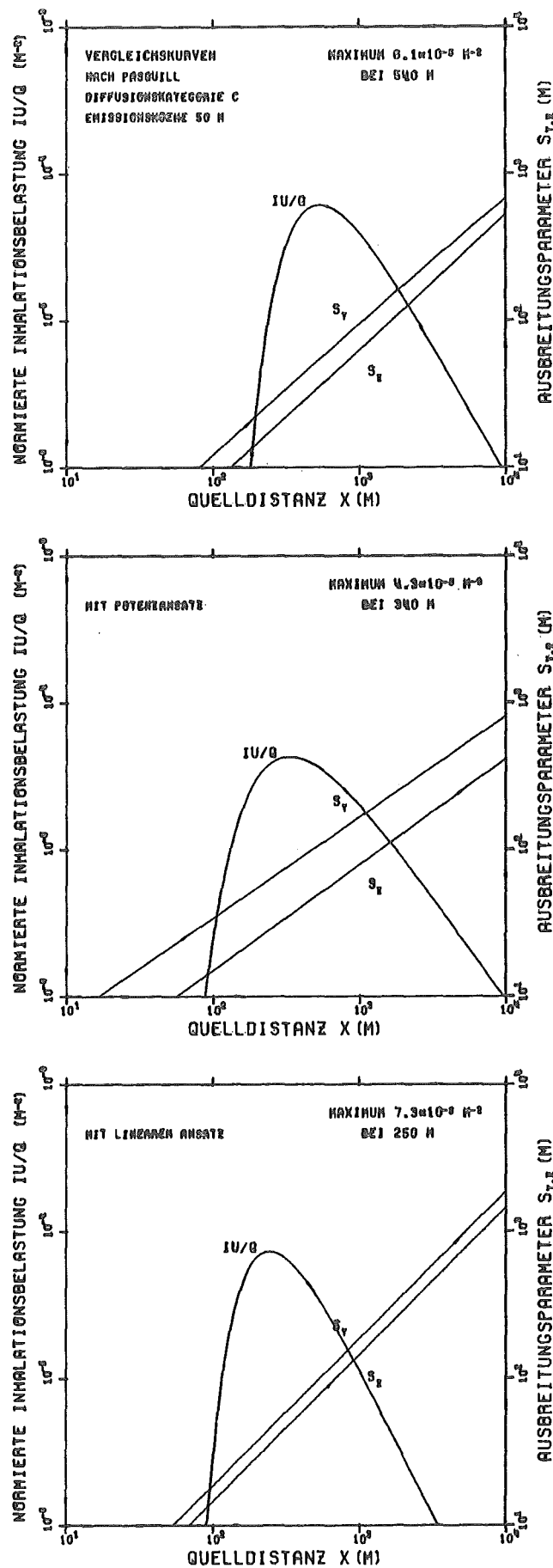


Abb. 23 Normierte Konzentrationsverteilungen und Ausbreitungsparameter nach dem Simultanauswerteverfahren (zum Vergleich die Kurven nach dem System von Pasquill) Versuch 39

Der Versuch 31, der bei stabiler Luftschichtung durchgeführt wurde, lieferte wiederum nicht die erwarteten Ergebnisse. Ähnlich wie bei Versuch 15 traten auch hier Windscherungen auf, und die Inversion war vertikal ungleichmäßig ausgebildet, so daß die horizontale Ausbreitung sehr viel größer als erwartet war. Entsprechend groß ist dabei das $\sigma_y(x)$, es ist um ein Vielfaches größer als die Erwartungswerte bei stabiler Luftschichtung. Dagegen liegt aber die vertikale Standardabweichung $\sigma_z(x)$ durchaus im Rahmen der Erwartungswerte für stabile Ausbreitungsbedingungen.

Bei den Versuchen wurden wie früher Messungen mit Vektorwindfahnen durchgeführt und ausgewertet. In Betrieb sind zwei Meßanlagen dieser Art, eine in 50 m Höhe und eine in 120 m Höhe. Stundenmittel dieser Messungen für die Versuchszeiten sind in Tab. 1/1d zusammengefaßt. Darin sind die horizontalen (σ_A) und vertikalen (σ_E) Standardabweichungen der Vektorwindfahnenmessungen in 50 m und 120 m Höhe aufgeführt, und die daraus nach dem Ansatz von Islitzer (Is 61) bestimmten Ausbreitungsparameter für den linearen Ansatz. Die neuen Daten bestätigen die früher (Vg 73) schon abgeleiteten Korrelationen zwischen den nach Vektorwindfahnenmessungen ermittelten Standardabweichungen und denen der Ausbreitungsversuche (vgl. Tab. 1/1b linearer Ansatz).

2.3 Vergleich verschiedener Auswertemethoden

Die bodennahe Konzentrationsverteilung von Abluftfahnen wird häufig durch das statistische Modell einer dreidimensionalen Gaußverteilung mit den Ausbreitungsparametern $\sigma_y(x)$ und $\sigma_z(x)$ beschrieben. Die Ermittlung dieser Parameter im Rahmen unserer Tracerexperimente erfolgte durch zwei Verfahren (Simul-

tanverfahren, Profilverfahren), die in vorangegangenen Berichten (Vg 71) (Vg 73/2) beschrieben wurden. Jedes dieser Verfahren benutzte zwei Ansätze (Linear- und Potenzansatz) zur Beschreibung der Quelldistanzabhängigkeit der Parameter σ_y und σ_z , die einerseits untereinander, andererseits mit Vektorwindfahnenmessungen und Literaturwerten verglichen wurden (Vg 73/2). Über die Güte und Genauigkeit einer Auswertemethode konnte bisher auf Grund des zu geringen statistischen Materials keine Aussage gemacht werden.

Bei der Beschreibung des Simultanverfahrens (Vg 73/2) wurde der relative quadratische Fehler Q_i eines Meßwertes I_{Ei} bezüglich des berechneten Wertes I_{Ti} definiert:

$$Q_i = \left(\frac{I_{Ei} - I_{Ti}}{I_{Ei} + I_{Ti}} \right)^2 = \left(\frac{V_i - 1}{V_i + 1} \right)^2 \quad (1/30)$$

mit

$$V_i = \frac{I_{Ei}}{I_{Ti}} \quad (1/31)$$

Der berechnete Wert ergibt sich durch Anpassung der Funktion

$$I_{Ti} = \frac{Q}{u} \frac{1}{\sigma_y \sigma_z} e^{-\frac{y^2}{2 \sigma_y^2} - \frac{H^2}{2 \sigma_z^2}} \quad (1/32)$$

an die Meßwerte I_{Ei} . Für die Entfernungsabhängigkeit der Parameter σ_y und σ_z wurden folgende Ansätze gemacht:

$$\sigma_y = p_y X^{q_y} \quad \text{bzw.} \quad \sigma_z = p_z X^{q_z} \quad (1/33a)$$

$$\sigma_y = p_y X \qquad \sigma_z = p_z X \qquad (1/33b)$$

Im Gegensatz dazu wird beim Profilverfahren kein analytischer Ansatz benötigt. (Einzelheiten in (Vg 71)). Im linearen Fall lassen sich durch Messungen der Windfluktuation mit Vektorwindfahnen die Konstanten p_y und p_z aus den horizontalen und vertikalen Standardabweichungen σ_A und σ_E bestimmen. Als Proportionalitätsfaktor wurde ein Wert von Islitzer übernommen (Is 61) :

$$p_y = 0.014 \cdot \sigma_A \qquad (1/34a)$$

$$p_z = 0.014 \cdot \sigma_E \qquad (1/34b)$$

Bei der Bestimmung der Konzentrationsverteilung geht der der azimutale Abstand y eines Meßpunktes von der mittleren Ausbreitungsrichtung δ_o sehr stark ein (siehe auch Kap. 1.2.6). Daher ist es notwendig, die Ausbreitungsrichtung δ_o genau zu kennen. Da die am Turm gemessene mittlere Windrichtung jedoch nicht notwendig mit der mittleren Ausbreitungsrichtung δ_o übereinstimmt, wurde δ_o bei den Fluktuationsmessungen durch Minimalisierung des mittleren relativen quadratischen Fehlers

$$QG = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{V_i - 1}{V_i + 1} \right)^2 \qquad (1/35)$$

unter Annahme der Verteilung (1/32) errechnet. N ist die Gesamtzahl der Meßpunkte eines Versuchs.

Vergleicht man gemessene Windrichtung und Ausbreitungsrichtung, so ist letztere im Mittel um 7 Grad gegenüber der Windrichtung verschoben (Tabelle 1/16). Diese Änderung liegt außerhalb des Meßfehlers von ± 5 Grad. Bei den folgenden Überlegungen ist also zu beachten, daß die Werte Q , u , σ_A , σ_E gemessen und mit diesen und den gemessenen Konzentrationsverteilungen dann δ_o bestimmt wurde.

Tabelle 1/16

Mittlere gemessene Windrichtung und mittlere berechnete Ausbreitungsrichtung bei Vektorwindfahnenmessungen (auf Norden bezogen).

	1	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Aus- br.R.	-	70	60	77	60	71	88	78	82	65	88	78	71	60	64	50	71	71
Wind- R.	65	75	70	80	80	80	94	75	75	75	80	88	79	68	74	70	83	79
Diff.	-	5	10	3	20	9	6	-3	-7	10	-8	10	8	8	10	20	8	8

Als Maß für die Güte der Anpassung ist der mittlere quadratische Fehler

$$Q = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_i \quad (1/36)$$

geeignet, worin N die Gesamtzahl der verwendbaren Meßwerte eines Versuchs ist. Unter "verwendbar" verstehen wir alle Meßwerte oberhalb einer Meßgrenze MG . Diese Grenze wurde für die folgenden Untersuchungen einheitlich auf $1 \cdot 10^{-8} \text{ Ci sec/m}^3$ festgelegt. In Tabelle 1/17 sind die so berechneten Fehler der einzelnen Versuche mit 50 m Emissionshöhe (ausgenommen die Versuche 1, 3, 4 und 6) für verschiedene Auswerteverfahren aufgeführt.

Tabelle 1/17

Mittlere quadratische Fehler der Ausbreitungsversuche für Vektorwind-
fahnenmessungen, Linearansatz sowie Potenzansatz im Simultanverfahren

Vers.		VV	Simultan- Linear- Ansatz	Simultan- Potenz- Ansatz	Simultan- Potenz- Ansatz (Mittel)
5	30	0.2202E 00	0.9526E-01	0.1019E 00	0.1346E 00
7	20	0.1482E 00	0.1596E 00	0.1255E 00	0.1937E 00
8	26	0.2164E 00	0.2091E 00	0.1468E 00	0.2831E 00
10	21	0.1653E 00	0.1343E 00	0.6655E-01	0.1047E 00
11	27	0.2415E 00	0.1475E 00	0.5178E-01	0.8013E-01
12	18	0.2558E 00	0.3090E 00	0.1339E 00	0.2207E 00
13	28	0.7891E-01	0.5455E-01	0.5540E-01	0.9246E-01
14	37	0.2429E 00	0.1960E 00	0.1997E 00	0.3746E 00
15	39	0.7712E 00	0.3896E 00	0.3604E 00	0.5510E 00
16	24	0.2227E 00	0.1995E 00	0.4510E-01	0.8865E-01
17	26	0.2710E 00	0.2553E 00	0.2142E 00	0.2153E 00
18	14	0.3615E 00	0.3538E 00	0.8955E-01	0.3904E 00
19	25	0.3597E 00	0.2463E 00	0.1641E 00	0.2171E 00
20	22	0.5014E 00	0.4247E 00	0.4082E 00	0.4334E 00
21	24	0.3434E 00	0.1586E 00	0.1096E 00	0.1780E 00
32	61	0.4589E 00	0.1833E 00	0.2597E 00	0.2979E 00
33	39	0.4016E 00	0.2021E 00	0.7742E-01	0.1462E 00
34	66	0.5544E 00	0.3090E 00	0.3110E 00	0.3928E 00
35	39	0.2147E 00	0.1903E 00	0.8728E-01	0.1672E 00
36	28	0.3790E 00	0.1809E 00	0.6360E-01	0.1409E 00
37	26	0.2955E 00	0.2468E 00	0.8933E-01	0.2776E 00
38	27	0.2713E 00	0.2237E 00	0.1124E 00	0.1941E 00
39	30	0.2268E 00	0.1899E 00	0.1112E 00	0.2486E 00

Der Versuch 13 wird durch alle Verfahren gut beschrieben, die Versuche 15 und 20 liefern dagegen sehr ungenaue Approximationen. Es konnte bei diesen beiden bei stabilen Schichtungen durchgeführten Versuchen nicht geklärt werden, warum das statistische Modell nicht in der Lage ist, die Verteilungen richtig zu beschreiben. Möglicherweise hat die aufgetretene Windscherung von etwa 30° zwischen 30 und 50 m bei Versuch 15 die Normalverteilung zerstört. Hierauf können nur weitere ausführliche Untersuchungen eine Antwort bringen.

Insgesamt beschreibt das Simultanverfahren mit Potenzansatz die Meßergebnisse am besten. Im Mittel über 23 Versuche weichen die berechneten Werte um einen Faktor 2.36 vom Meßwert ab. Die Güte der anderen Verfahren ist demgegenüber geringer mit folgenden mittleren Werten von F:

Simultan-linear	:	F = 2.77
Profil-potenz	:	F = 2.88
Profil-linear	:	F = 4.18
Vektorwindfahnen	:	F = 3.81

Beim Vergleich ist zu betonen, daß zur Berechnung der Konzentrationsverteilung aus den Fluktuationmessungen alle Parameter, mit Ausnahme der mittleren Ausbreitungsrichtung δ_0 , experimentell ermittelt wurden.

Die im Vergleich zu den Simultanverfahren größeren Fehler der Profilverfahren können mit dem subjektiven Moment bei der Konstruktion der Längsverteilung aus den Meßpunkten erklärt werden (Vg 71). Das Verfahren hat allerdings bei bestimmten Wetterlagen auch Vorzüge bei der Interpretation der Meßwerte. So lassen sich Winddrehungen am Auftreten von mehreren statt einem Konzentrationsmaximum feststellen.

Die Verwendung der gemessenen Quellstärke Q (auf etwa 30% genau) sowie der mittleren Windgeschwindigkeit in Emissionshöhe als Ausbreitungsgeschwindigkeit u führt zu einem zusätzlichen Fehler, der bis zu einem Faktor zwei bei der Berechnung von I_T beitragen kann. So läßt sich durch Variation von Q/u im Rechnerprogramm der mittlere quadratische Fehler bei einzelnen Versuchen erheblich drücken.

Die Zahl F allein reicht zur Beurteilung der Güte eines Versuches im allgemeinen nicht aus. So ist von Interesse, wieviele Meßwerte etwa um einen Faktor 4 bis 5 vom berechneten Wert abweichen, allgemeiner, wieviel Werte von F im Intervall $K \leq F < K+1$ ($K=1, 4$) liegen und wieviel Werte um mehr als einen Faktor fünf abweichen (Tabelle 1/18).

Tabelle 1/18

Relative Anzahl der Meßwerte die um einen Faktor F vom berechneten Wert abweichen

Verfahren	Gesamt	1-2	2-3	3-4	4-5	5
VV	697	34,00	19,94	8,32	4,73	33,00
SIL	697	52,52	18,22	8,32	3,87	17,36
SIP	697	65,71	15,78	4,02	2,01	12,48

Nach Tabelle 1/18 weichen beim Stimultanverfahren (Potenzansatz) 82% der Messungen um weniger als einen Faktor drei vom berechneten Wert ab, beim Linearansatz sind es 71%, bei den meteorologischen Messungen 53%, bei den Profilverfahren 65% bzw. 56%. Auffallend bei allen Verfahren ist die geringe Zahl der Werte im Intervall $3 \leq F < 5$, die kleiner ist als die Gesamtzahl mit $F > 5$. Eine Erklärung hierfür konnte bisher nicht gefunden werden.

Untersucht man das Intervall mit $F > 5$, so liefern die weitaus meisten Meßpunkte auch $F > 10$. Da man zunächst annehmen muß, daß diese Fehler von Auswerteverfahren bzw. vom Ansatz abhängig sind, müssen diese Werte für alle Verfahren verglichen werden. Danach ist bei etwa der Hälfte aller Meßpunkte, die im Potenzansatz des Simultanverfahrens $F > 10$ liefern, auch bei allen anderen Verfahren $F > 10$. Diese Messungen sind daher womöglich als echte Fehlmessungen zu betrachten und bei der Rechnung wegzulassen. Andererseits können die großen Abweichungen auch standortabhängig sein, diese Frage konnte jedoch auf Grund des zu geringen statistischen Materials noch nicht geklärt werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß aus mathematischer Sicht das Simultanverfahren eindeutig die besten Werte liefert. Ob eine Korrelation der errechneten Ausbreitungsparameter mit Stabilitätsparametern wie Temperaturgradient, Richardsonzahl o. ä. besteht und wie gut sie ist, muß noch geklärt werden.

2.4 Bestimmung von Klassenmittelwerten der Ausbreitungsparameter

Die bisher in Jülich durchgeführten Ausbreitungsversuche mit 50 m Emissionshöhe lassen die Berechnung von Mittelwerten der Ausbreitungsparameter σ_y und σ_z für die Diffusionskategorien B, C und D nach Pasquill zu. Bei dieser Berechnung wurde davon ausgegangen, daß für Wetterlagen, die gleichen Ausbreitungstypen zuzuordnen sind, jeweils identische Ausbreitungsparameter vorzusetzen sind. Der Erwartungswert eines Parameters $\sigma(x_i)$ an der Stelle x_i ergibt sich als arithmetisches Mittel der N Einzelwerte in der Form

$$\overline{\sigma}(x_i) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \sigma_n(x_i) \quad (1/37)$$

mit dem mittleren Gaußschen Fehler:

$$\Delta \overline{\sigma}(x_i) = \pm \sqrt{\frac{Q(x_i)}{N-1}} \quad (1/38)$$

worin $Q(x_i)$ die Quadratfehlersumme

$$Q(x_i) = \sum_{n=1}^N (\overline{\sigma}(x_i) - \sigma_n(x_i))^2 \quad (1/39)$$

an der Stelle x_i ist. Der relative Fehler $\Delta \overline{\sigma}(x_i) / \overline{\sigma}(x_i)$ sollte keine Funktion der Quelldistanz x_i mehr sein. Die Berechnung des Mittelwertes $\overline{\sigma}(x_i)$ ist zunächst an keine bestimmte analytische Form der Quelldistanzabhängigkeit gebunden. In Anlehnung an die üblichen Ansätze setzen wir jedoch

$$\overline{\sigma}(x_i) = \overline{p} x_i^{\overline{q}} \quad (1/40)$$

mit den mittleren Parametern $\overline{p}$ und $\overline{q}$.

Diese werden durch eine Ausgleichsrechnung nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate ermittelt. Setzt man generell $q = 1$, so erhält man p einfach als arithmetisches Mittel der p_n der Einzelversuche. Tabelle 1/19a und 1/19b zeigen die Mittelwerte für $\sigma_y(x)$ und $\sigma_z(x)$ nach dem Linear- bzw. Potenzansatz des Simultanverfahrens:

Tabelle 1/19a

Mittelwerte der Parameter p_y und p_z im Linearansatz des Simultanverfahrens für verschiedene Diffusionskategorien

Diff.-Kat.	p_y	p_z	p_z/p_y
B	0.2571	0.1992	0.7748
C	0.1957	0.1622	0.8288
D	0.1530	0.1466	0.9582
E	0.1799	0.0655	0.3641
F	0.2815	0.0364	0.1293

Tabelle 1/19b

Mittelwerte der Parameter p_y , q_y , p_z , q_z im Potenz ansatz des Simultanverfahrens für verschiedene Diffusionskategorien

Diff.-Kat.	p_y	q_y	p_z	q_z
B	0.8685	0.8097	0.2222	0.9680
C	0.7184	0.7837	0.2149	0.9438
D	0.6248	0.7672	0.2048	0.9358
E,F	3.0577	0.5906	0.2298	0.7320

Im Vergleich dazu Mittelwerte der Vektorwindfahnenmessungen während der Versuche (Tabelle 1/20a) sowie langjährige Stundenmittel der Fluktuationsmessungen für die Diffusionskategorien B-F (Tabelle 1/20b)

Tabelle 1/20a

Diff.-Kat	p_y	p_z	p_z/p_y
B	0.2044	0.1582	0.7740
C	0.2090	0.1568	0.7502
D	0.1951	0.1474	0.7555
E	0.1176	0.0840	0.7143
F	0.0630	0.0560	0.8889

Tabelle 1/20b

Diff.-Kat	p_y	p_z	p_z/p_y
B	0.2076	0.1796	0.8651
C	0.1776	0.1520	0.8559
D	0.1528	0.1295	0.8475
E	0.0835	0.0656	0.7856
F	0.0634	0.0447	0.7050

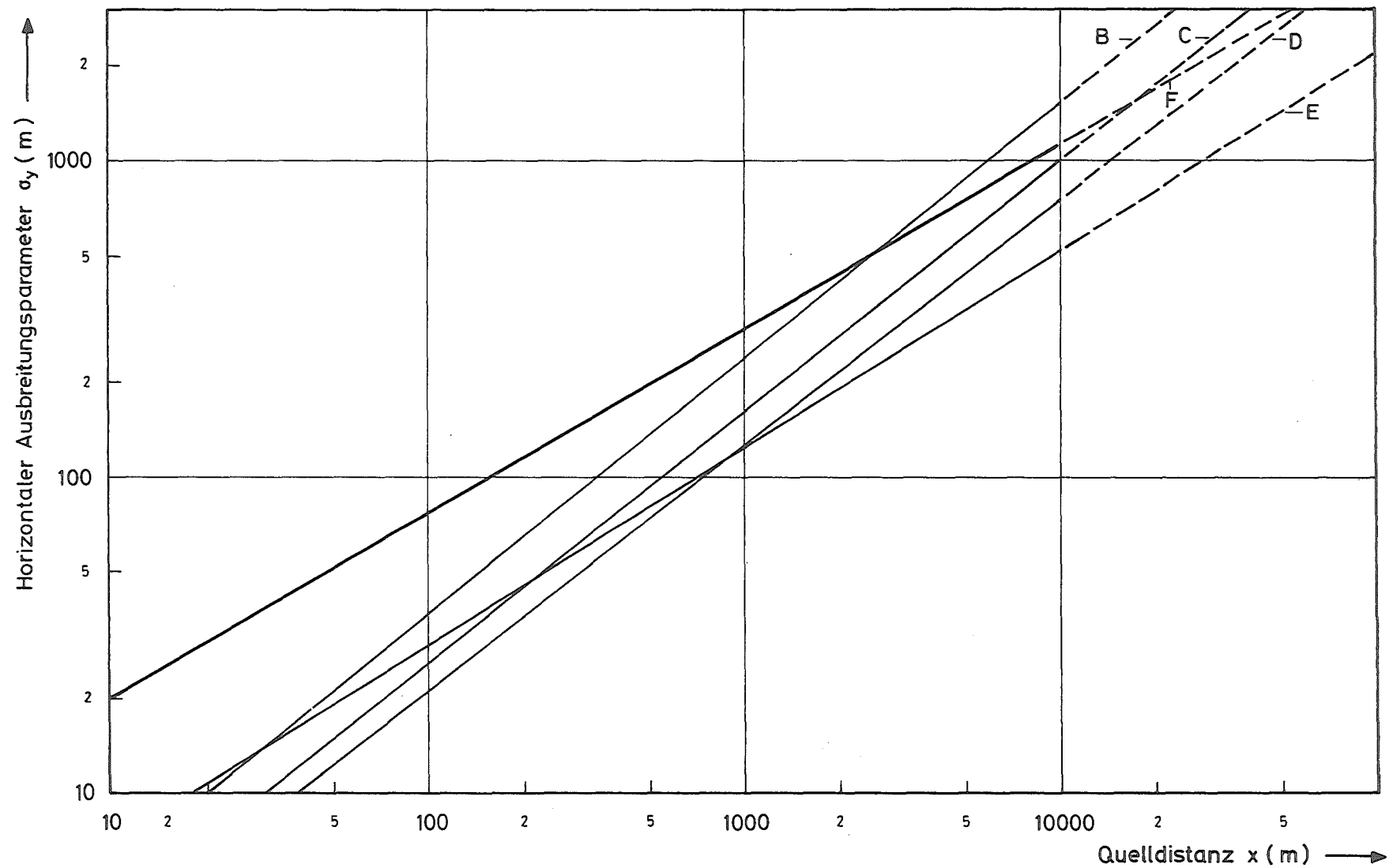


Abb. 24 Entfernungabhängigkeit des horizontalen Ausbreitungsparameters für verschiedene Diffusionskategorien

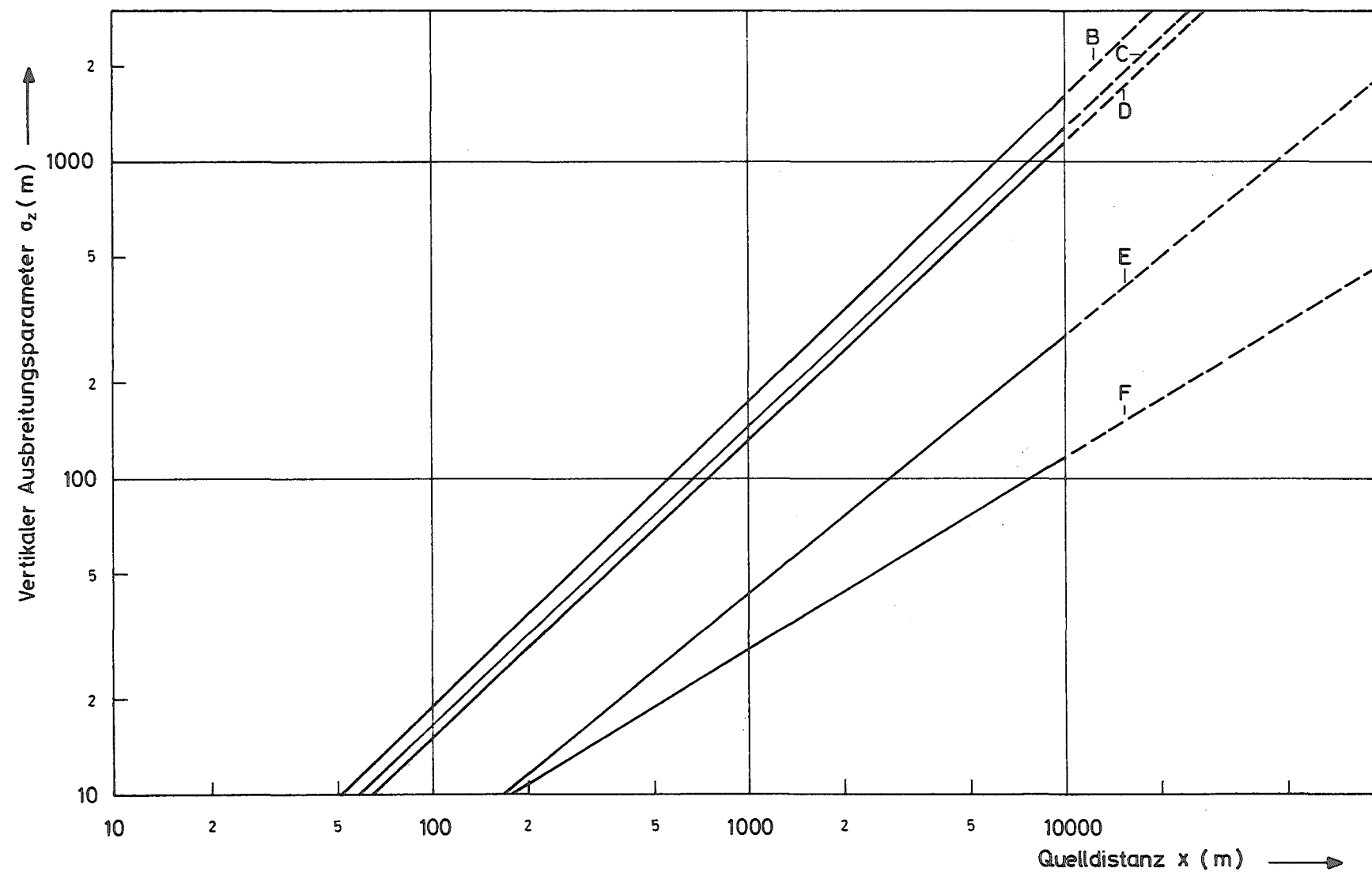


Abb. 25 Entfernungabhängigkeit des vertikalen Ausbreitungsparameters für verschiedene Diffusionskategorien

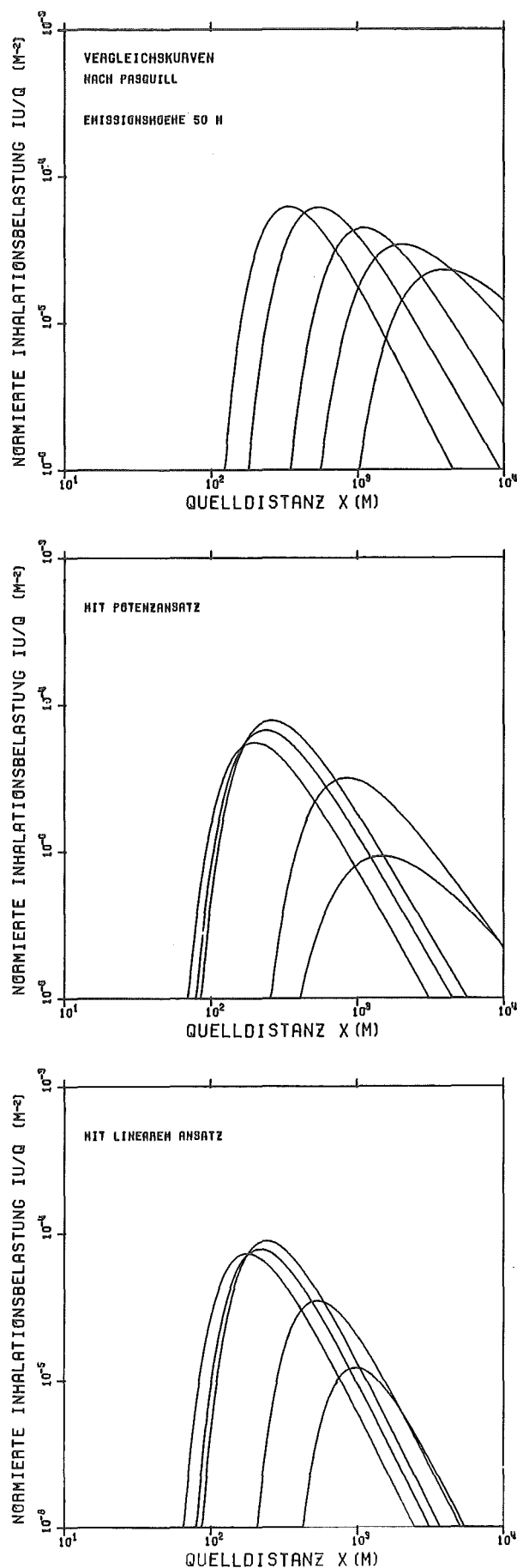


Abb. 26 Gemittelte normierte Konzentrationsverteilungen nach dem Simultanauswerteverfahren für verschiedene Diffusionskategorien (zum Vergleich die Kurven nach dem System von Pasquill)

Die Abbildungen 1/24 und 1/25 zeigen die Entfernungsabhängigkeit der σ_y und σ_z im Potenzansatz. Bei den Diffusionskategorien E und F ist zu beachten, daß nur jeweils ein Versuch vorliegt. Die Stabilitätsabhängigkeit der σ -Parameter ist deutlich erkennbar, jedoch sind die Schwankungsbreiten innerhalb der Diffusionskategorien so groß, daß z. B. durch die Parameter für die Kategorie D auch die Kategorien B und C abgedeckt werden. Im Rahmen der weiteren Untersuchung scheint es notwendig, Klassifizierungssysteme zu finden, die eine weitergehende Trennung im labilen Bereich zulassen. Abbildung 1/26 zeigt die Längsverteilung der normierten zeitintegrierten Konzentration für die verschiedenen Ansätze im Simultanverfahren für verschiedene Diffusionskategorien im Vergleich zu Pasquill. Auffallend ist die Zunahme der Maximalkonzentration von Diffusionskategorie B nach D. Die Maximalkonzentration für den Linearansatz hängt vom Verhältnis p_z/p_y linear ab, deshalb wächst sie nach Tabelle 1/19a zunächst bis zur Diffusionskategorie D und fällt dann stark, im Gegensatz zu den Vektorwindfahnenmessungen, wo sie stetig abnimmt (Tabelle 1/20b).

Gegenüber den Pasquillschen Werten ist eine starke Verschiebung der Maxima zur Quelle hin zu beobachten (Tab. 1/21). Sie beträgt einen Faktor fünf bei der Diffusionskategorie D.

Bei den übrigen Diffusionskategorien liegen die Faktoren niedriger (vgl. Tab. 1/21). Außerdem liegen die Maximalkonzentrationen höher als bei Pasquill (Tab. 1/22).

Das kann darauf zurückgeführt werden, daß bei der Bestimmung der Diffusionskategorie nach dem System von Pasquill die größere Bodenrauhigkeit (wie in der Umgebung von Jülich) besonders bei Wetterlagen mit hoher Windgeschwindigkeit und dementsprechend starker mechanischer Turbulenzkomponente nicht berücksichtigt wird. Es muß daher das Ziel künftiger Un-

Tabelle 1/21

Quelldistanz der Maxima der zeitintegrierten Aktivitätskonzentration (50 m Emissionshöhe)

Diff.-Kat.	$x_{\max}$ (m)		Verhältnis
	Jülich	Pasquill	
B	180	340	0,53
C	210	540	0,39
D	230	1090	0,21
E	710	2030	0,35
F	1390	3860	0,36

Tabelle 1/22

Maximale normierte zeitintegrierte Aktivitätskonzentration (50 m Emissionshöhe)

Diff.-Kat.	$I_{\max}/Q$ (m ⁻²)		Verhältnis
	Jülich	Pasquill	
B	$1,127 \cdot 10^{-4}$	$6,2 \cdot 10^{-5}$	1,82
C	$1,355 \cdot 10^{-4}$	$6,1 \cdot 10^{-5}$	2,22
D	$1,521 \cdot 10^{-4}$	$4,4 \cdot 10^{-5}$	3,46
E	$4,933 \cdot 10^{-5}$	$3,4 \cdot 10^{-5}$	1,45
F	$3,233 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$	1,41

tersuchungen sein, an Stelle der Pasquillschen Diffusionskategorien, die die Bodenrauhigkeit nicht berücksichtigen, neue Ausbreitungstypen einzuführen, oder die Pasquillschen Diffusionskategorien durch eine Rauigkeitskorrektur den jeweiligen Standortbedingungen anzupassen.

1.2.5 Statistik der Ergebnisse der Versuche mit 50 m Emissionshöhe

Bei allen bisherigen Ausbreitungsuntersuchungen standen die aus den Konzentrationsmessungen ermittelten Standardabweichungen σ_y und σ_z im Mittelpunkt des Interesses. Einordnung in Systeme von Diffusionskategorien und Vergleich mit Literaturwerten standen im Vordergrund jeder Analyse. Die unterschiedlichen Resultate der einzelnen Auswerteverfahren sowie deren Vergleich untereinander (s. Kap. 1.2.3) führen jetzt zu einer statistischen Analyse der Versuchsergebnisse.

Bezeichnet man mit
$$V = \frac{I_E}{I_T}$$

das Verhältnis vom experimentellen zum theoretischen Wert, so sind im Mittel über viele Meßwerte und Versuche gleichgroße Zahlen mit $V > 1$ und $V < 1$ zu erwarten. Andernfalls muß angenommen werden, daß das verwendete Modell nicht in der Lage ist, die experimentellen Verteilungen richtig zu beschreiben. Zwei Zahlen N_1 und N_2 ($N_1 < N_2$) sollen als statistisch signifikant verschieden bezeichnet werden, wenn $N_1 + \sqrt{N_1 - 1}$
 $N_2 - \sqrt{N_2 - 1}$ ist.

Aus Tab. 1/23 ist ersichtlich, daß lediglich der Ansatz mit Vektorwindfahnenmessungen die erwartete Gleichverteilung liefert. Die Anzahl der zu niedrig bestimmten Werte ($V < 1$) ist bei den Ansätzen im Simultanverfahren signifikant größer als die Anzahl der zu hoch bestimmten Werte. Diese Tendenz ist auch bei den Einzelversuchen ausgeprägt, dabei beim Linearansatz stärker als beim Potenzansatz. Auch durch Bildung von Klassenmittelwerten (s. o.) der Ausbreitungsparameter ergeben sich keine wesentlichen Änderungen.

Tabelle 1/23

Absolute und relative Häufigkeiten der Werte V für die Einzelversuche

	Gesamt	N_1	$\sqrt{N_1-1}$	N_2	$\sqrt{N_2-1}$	$V < 1$ (%)	$V > 1$ (%)
VV	697	345	18.6	352	18.8	49.5	50.5
SIL	697	402	20.0	295	17.2	57.68	42.32
SIP	697	388	19.7	309	17.6	55.67	44.33
SIPm	697	380	19.4	317	17.8	54.52	45.48

Die Tabelle 1/24 zeigt die Genauigkeit der Anpassung für drei Verfahren sowie die Klassenmittelwerte im Potenzansatz des Simultanverfahrens innerhalb eines Entfernungsbereiches. Angegeben ist die Zahl der Werte F , die in einem Intervall $K \leq F < K+1$ ($K=1, 4$) und im Bereich $B_K^{1)}$ liegen (in %). Die

-
- 1) Das gesamte Meßnetz wurde in vier Entfernungsbereiche von der Quelle aufgeteilt: B_1 : 0-500 m; B_2 = 500 - 2000 m; B_3 = 2000-5000 m; B_4 < 5000 m.

Tabelle: 1/24

Verteilung der F-Werte in Abhängigkeit von Größe und Qelldistanz (in % innerhalb eines Entfernungsbereiches)

Linearansatz im Simultanverfahren.

	B1	B2	B3	B4
1 =V 2	51.30	66.93	51.49	40.63
2 =V 3	19.16	14.17	23.13	14.84
3 =V 4	7.14	5.51	5.97	16.41
4 =V 5	3.25	0.79	6.72	5.47
5 =V 10	5.19	4.72	3.73	13.28
V =10	13.96	7.87	8.96	9.38

Potenzansatz im Simultanverfahren

	B1	B2	B3	B4
1 =V 2	62.99	78.74	64.93	60.16
2 =V 3	19.16	11.02	10.45	17.97
3 =V 4	5.19	1.57	3.73	3.91
4 =V 5	2.27	0.79	2.24	2.34
5 =V 10	5.19	2.36	1.49	3.13
V =10	5.19	5.51	17.16	12.50

Mittelwerte

	B1	B2	B3	B4
1 =V 2	48.38	62.20	53.73	42.19
2 =V 3	17.21	13.39	13.43	20.31
3 =V 4	10.71	6.30	5.97	10.94
4 =V 5	3.25	2.36	0.75	7.03
5 =V 10	10.06	5.51	6.72	1.56
V =10	10.39	10.24	19.40	17.97

Vektorwindfahnenmessungen

	B1	B2	B3	B4
1 =V 2	38.31	34.65	27.61	29.69
2 =V 3	17.53	22.83	22.39	20.31
3 =V 4	8.77	4.72	8.21	10.94
4 =V 5	4.22	1.57	7.46	6.25
5 =V 10	8.44	7.87	10.45	21.88
V =10	22.73	28.35	23.88	10.94

Anpassung gelingt beim Simultanverfahren im Entfernungsbereich B_2 (mit 500-2000 m Quelldistanz) am schlechtesten, und zwar sowohl für den Potenzansatz als auch für den Linearansatz. Dementsprechend läßt sich die Verteilung mit den Klassenmitteln im Bereich B_2 ebenfalls gut beschreiben.

Etwas anders liegen die Verhältnisse bei den Vektorwindfahnenmessungen. Hier werden die Meßwerte in direkter Umgebung der Quelle am genauesten beschrieben (so nimmt die Anzahl der Messungen mit $F > 4$ mit größerer Entfernung zur Quelle stark zu). Im Bereich B_2 fällt die große Zahl von Werten mit $F > 10$ auf.

Zur Beurteilung der Ursache der Abweichungen betrachten wir ferner die Verteilung der Werte V auf beiden Seiten der mittleren Ausbreitungsrichtung δ_0 in verschiedenen Entfernungsbereichen (Tabelle 1/25).

Hier zeigt sich bei allen Auswerteverfahren und Ansätzen eine auffallende Asymmetrie bezüglich der Ausbreitungsrichtung δ_0 im Entfernungsbereich B_2 (500-2000 m Quelldistanz). Für den Bereich I nördlich der Ausbreitungsrichtung δ_0 (s. Abb. 1/26) ist die Anzahl der Werte mit $V < 1$ fast doppelt so hoch wie die der mit $V > 1$, andererseits finden wir im Bereich II ($> \delta_0$) im selben Entfernungsbereich B_2 signifikant weniger Werte mit $V < 1$ als mit $V > 1$ (eine Ausnahme bilden hier für den Bereich II die Vektorwindfahnenmessungen). Für beide Bereiche I und II gibt es bei den Simultanverfahren im Bereich B_1 und B_4 signifikant mehr Werte mit $v > 1$ als mit $V < 1$, während der Bereich B_3 (2000 m - 5000 m) unterschiedliche Ergebnisse liefert.

Tabelle: 1/25

Linearansatz im Simultanverfahren

		B1	B2	B3	B4
< DEL	V 1	63.79	39.62	48.94	61.90
	V 1	36.21	60.38	51.06	38.10
> DEL	V 1	55.21	62.16	50.57	75.38
	V 1	44.79	37.84	49.43	24.82

Potenzansatz im Simultanverfahren

		B1	B2	B3	B4
< DEL <	V>1	61.98	32.76	62.75	62.32
	V<1	38.02	67.24	37.25	37.68
> DEL >	V>1	47.59	56.52	62.65	66.10
	V<1	52.41	43.48	37.55	73.90

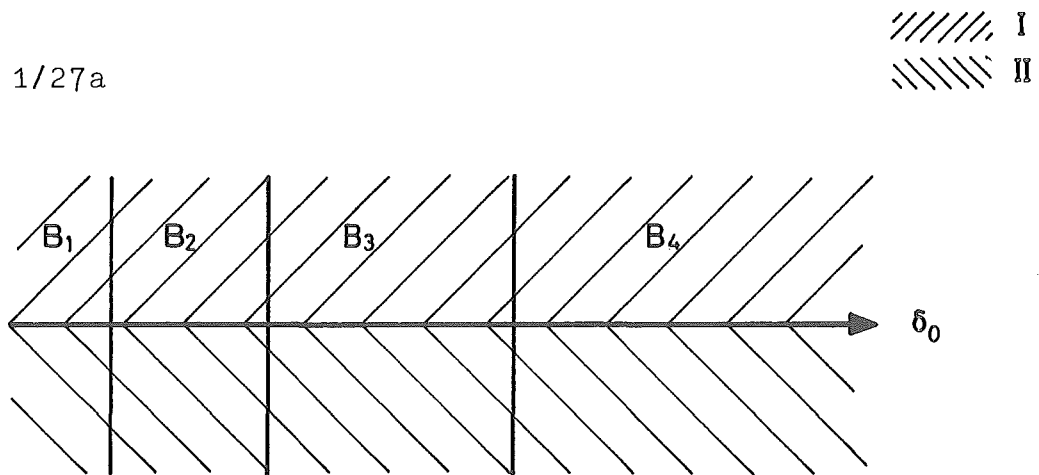
Mittelwerte

		B1	B2	B3	B4
< DEL <	V>1	57.02	31.03	49.02	63.77
	V<1	42.98	68.97	50.98	36.23
> DEL >	V>1	50.27	57.97	62.65	67.80
	V<1	49.73	42.03	37.35	32.20

Vektorwindfahnenmessungen

		B1	B2	B3	B4
< DEL	V>1	46.36	26.42	44.63	52.54
	V<1	53.64	73.58	55.32	47.46
> DEL	V>1	48.99	50.00	57.47	63.77
	V<1	51.01	50.00	42.53	36.23

Abb. 1/27a



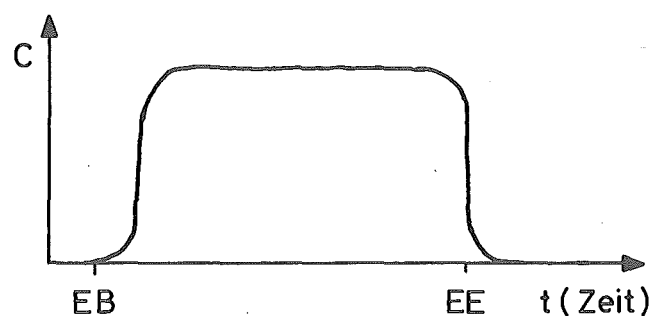
Diese Asymmetrien lassen sich mit der Annahme erklären, daß die gemessene Konzentrationsverteilung asymmetrisch ist, d. h. die bodennahe Verteilung keine Gaußverteilung mehr ist oder aber die Annahme einer quelldistanzunabhängigen mittleren Ausbreitungsrichtung falsch ist. Für die Änderung der Ausbreitungsrichtung mit der Quelldistanz können orografische Bedingungen, z. B. Querströmungen in Bodennähe auf Grund geänderten Bewuchses und der Geländestruktur verantwortlich gemacht werden. Wie weit andere Effekte, wie Filterung durch Wald o. ä. einen Einfluß haben, muß noch geklärt werden.

2.6 Messung der Zeitabhängigkeit der bodennahen Konzentrationsverteilung einer Abluftfahne bei Windrichtungsänderungen

Bei der Untersuchung von Ausbreitungsvorgängen und deren mathematischer Beschreibung ist die Stationarität der meteorologischen Bedingungen eine wesentliche Voraussetzung zur Herleitung der Form der Verteilung. Im allgemeinen muß man jedoch mit kurzzeitigen, nichtstatistischen Schwankungen sowohl

der Ausbreitungsrichtung als auch der Stabilitätsparameter rechnen. Um die Auswirkungen dieser Schwankungen auf die Konzentrationsverteilung beurteilen zu können, wurde in Jülich an verschiedenen Stellen des Meßnetzes der zeitliche Verlauf der Konzentration während der Emission untersucht. In Intervallen, die kurz gegenüber der Emissionsdauer sind, wurde mit Hilfe von transportablen Probenahmegeräten (Beschreibung der Stationen s. Kap. 1. 1) die zeitintegrierte Luftaktivitätskonzentration gemessen. Bei einer Emissionsdauer von einer Stunde hat sich ein Probenahmezeitraum von fünf Minuten als günstig erwiesen, da hiermit auch kleine Schwankungen in der Konzentration erfaßt werden können. Abb. 1/28 zeigt den zeitlichen Verlauf der Konzentration an drei Meßstellen, die im Abstand von 500 m, 4800 m und 5500 m von der Quelle aufgestellt waren. Nach Einstellung des stationären Zustandes erwartet man nach der Theorie einen zeitlichen Verlauf der Konzentration wie in Abb. 1/27 schematisch dargestellt, wobei EB den Beginn, EE das Ende der Emission bezeichnet.

Abb. 1/27b



Dieser Idealverlauf wurde an keiner der drei Meßstellen während der gesamten Emissionszeit gemessen. An der Station 93 in 570 m Quelldistanz (Abb. 1/29) stellte sich kurz nach Emissionsbeginn für etwa 25 Minuten ein nahezu stationärer Zustand mit einem

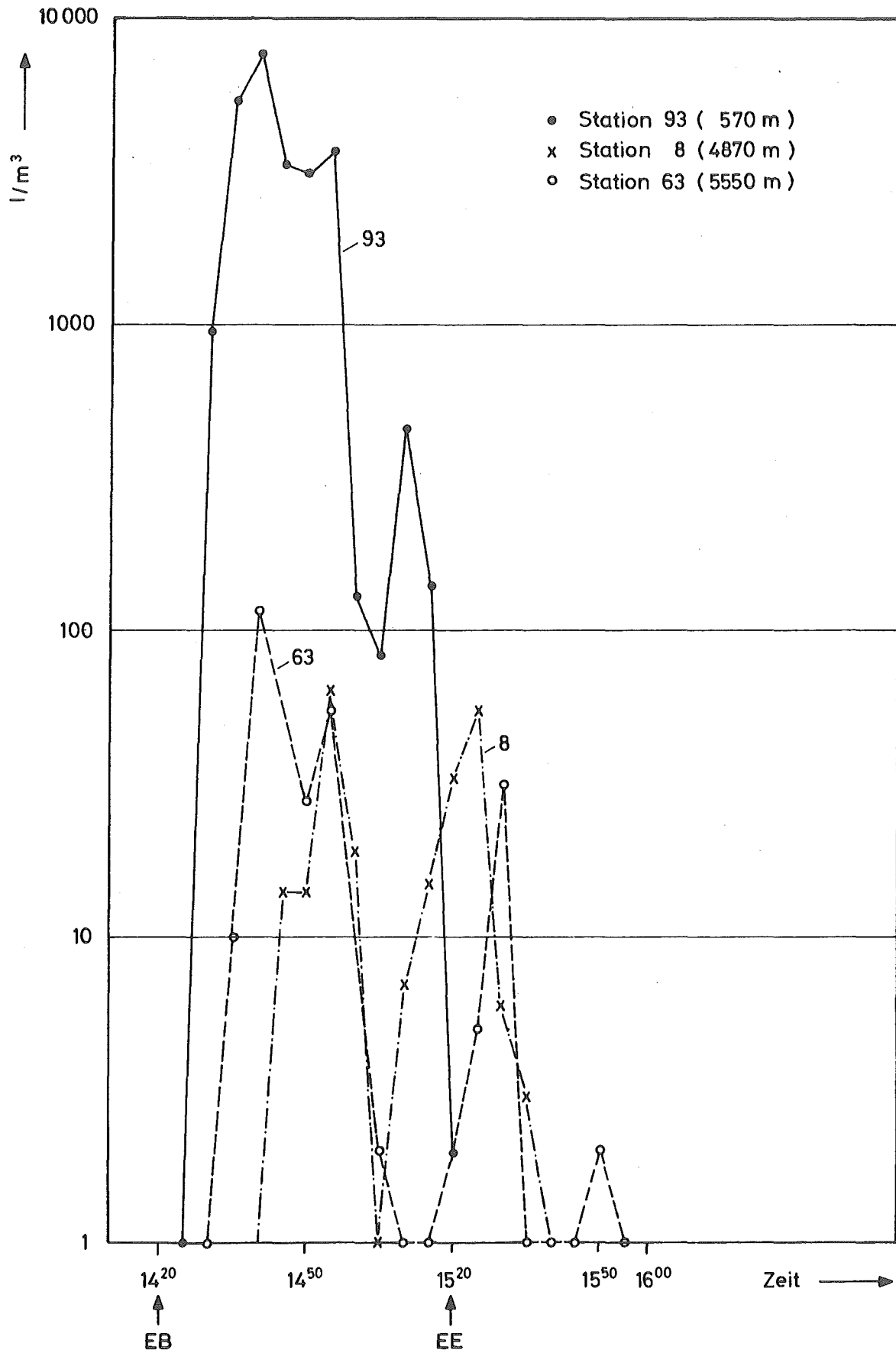


Abb. 28 Zeitlicher Verlauf der bodennahen Konzentration an verschiedenen Stellen

ausgeprägten Plateau ein. Auch bei der Meßstelle 63 in 5550 m Quelldistanz ist der Verlauf der Konzentration einem Plateau ähnlich. 25 Minuten nach Emissionsbeginn nimmt die Konzentration an Meßstelle 93 stark ab, 10 bis 15 Minuten später auch bei den beiden anderen Meßpunkten, wobei ein Maximum bei Meßstelle 8 mit einem Minimum bei Stelle 63 zusammenfällt. Das Verhältnis der Konzentration im Plateau zu der im Minimum beträgt etwa einen Faktor 40 bei der Meßstelle 93, einen Faktor 60 bei Stelle 8 und bei Stelle 63 sinkt die Konzentration auf Null. Gegen Ende der Emissionszeit nimmt die Konzentration wieder zu, erreicht jedoch nicht den ursprünglichen Wert im Plateau.

Die auftretenden Minima lassen sich durch kurzfristige Änderung der mittleren Windrichtung (und dementsprechend der mittleren Ausbreitungsrichtung) erklären. Abb. 1/29 zeigt die Lage der Meßstellen 93, 8, 63 und die Ausbreitungsrichtung während der ersten 25 Minuten des Versuchs (mittlere Windrichtung δ_0 und nach der Winddrehung (neue Windrichtung δ_1).

Ist $I(0)$ die Konzentration im Punkt mit den Koordinaten $(r, \phi=0)$ bezogen auf die mittlere Ausbreitungsrichtung (d.h. ein Punkt auf der mittleren Ausbreitungsrichtung ϕ im Abstand r von der Quelle) und $I(\phi)$ die Konzentration in einem Punkt mit gleicher Quelldistanz aber dem Azimut ϕ bezogen auf σ , so läßt sich das Verhältnis $V(\phi) = I(0)/I(\phi)$ unter Annahme einer gaußförmigen Verteilung nach Gl. (1/32) in der Form:

$$V(\phi) = (\cos \phi)^{q_y + q_z} \cdot e^{\frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{H^2}{2} \left(\frac{1}{\sigma_z^2} - \frac{1}{\sigma_{z0}^2} \right)} \quad (1/41)$$

mit den Größen σ_y und σ_z wie in Gl. (1/33a)

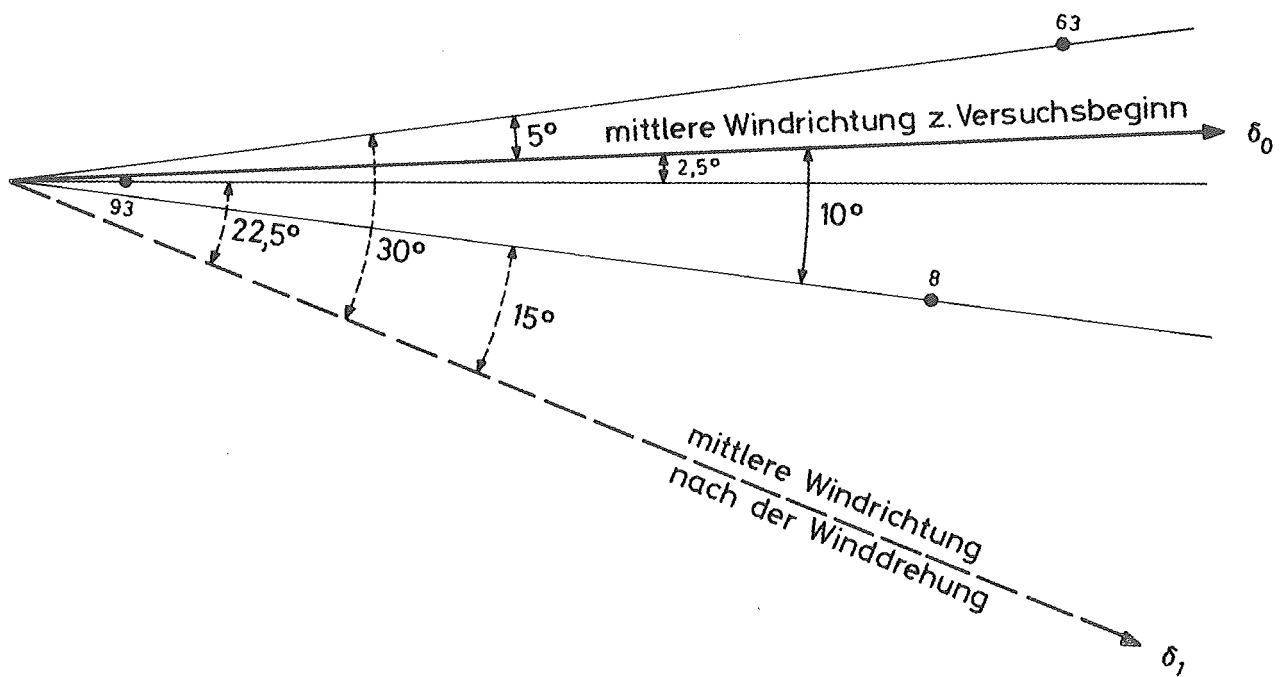


Abb. 29 Lage der Meßstellen 8, 63 und 93 zur alten und neuen Windrichtung

$$\begin{aligned} \text{sowie} \quad \sigma_{zo} &= p_z r_z^{q_z} \\ x &= r \cos \phi \\ y &= r \sin \phi \end{aligned}$$

schreiben.

Abb. 1/30 zeigt den Verlauf der Funktion $V(\phi)$ während Tab. (1/26) Werte von $V(\phi)$ für verschiedene Winkel ϕ , verschiedene Quelledistanzen und Diffusionskategorien enthält. Demnach entspricht bei der Diffusionskategorie D eine Änderung der Konzentration um einen Faktor 40 in 570 m Quelledistanz einer relativen Änderung der Ausbreitungsrichtung um 22° , in 4870 m (Station 8) eine Abnahme um den Faktor 60 einer Winkeländerung von 14° während nach Abb. 1/29 und Tab (1/26) die Konzentration null werden müßte, was durch die Messung bestätigt wird.

Auf die mittlere Konzentrationsverteilung (gemittelt über eine Stunde) wirkt sich eine solche kurzfristige Winddrehung so aus, als ob eine größere horizontale Turbulenzkomponente herrscht, d.h. es werden größere σ_y vorgetäuscht. Deshalb werden in Jülich mathematische Ansätze untersucht, die es gestatten, die Konzentrationsverteilung einer bei kurzfristigen Winddrehungen resultierenden Verteilung der azimuthalen Konzentrationsüberlagerung mehrerer Kurzzeitverteilungen zu beschreiben.

Abschließend sei angemerkt, daß bei statistisch bedingten, d.h. im Rahmen typischer Turbulenzspektren zu deutenden Änderungen der Windrichtung, die Tracerexperimente durchaus zu den physikalisch richtigen σ_y -Werten führen. Der Ausbreitungsvorgang ist dann so zu verstehen, daß kurzfristige azimuthale Gaußverteilungen in einen Sektor mäandern, deren Überlagerung dann zu einer die Ausbreitung über die Emissionsdauer von

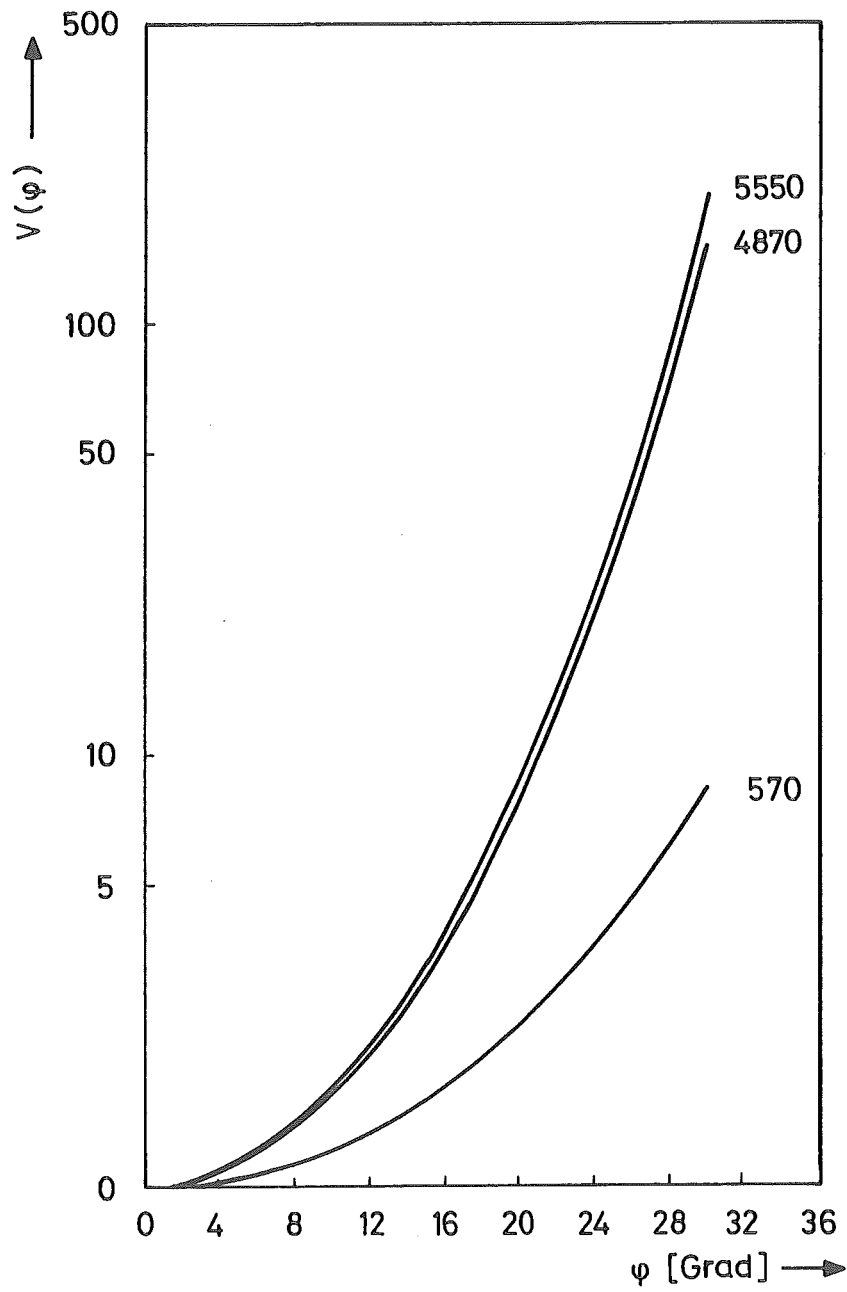


Abb. 30 Winkelabhängigkeit der Funktion $V(\phi)$ für verschiedene Meßstellen

Tabelle: 1/26

Bodennahe Konzentration an einem Punkt mit den Koordinaten (r, ϕ) bezogen auf die mittlere Ausbreitungsrichtung für verschiedene Diffusionskategorien.

a) Diffusionskategorie B

ϕ / r	570	4870	5550
0.0	1.0000E 00	1.0000E 00	1.0000E 00
2.0	1.0081E 00	1.0196E 00	1.0206E 00
4.0	1.0330E 00	1.0808E 00	1.0853E 00
6.0	1.0760E 00	1.1918E 00	1.2029E 00
8.0	1.1398E 00	1.3678E 00	1.3907E 00
10.0	1.2283E 00	1.6357E 00	1.6788E 00
12.0	1.3474E 00	2.0408E 00	2.1193E 00
14.0	1.5058E 00	2.6612E 00	2.8027E 00
16.0	1.7159E 00	3.6343E 00	3.8910E 00
18.0	1.9959E 00	5.2111E 00	5.6862E 00
20.0	2.3730E 00	7.8681E 00	8.7743E 00
22.0	2.8883E 00	1.2554E 01	1.4349E 01
24.0	3.6054E 00	2.1257E 01	2.4980E 01
26.0	4.6258E 00	3.8380E 01	4.6525E 01
28.0	6.1156E 00	7.4316E 01	9.3270E 01
30.0	8.3557E 00	1.5536E 02	2.0268E 02

b) Diffusionskategorie D

ϕ / r	570	4870	5550
0.0	1.0000E 00	1.0000E 00	1.0000E 00
2.0	1.0296E 00	1.0837E 00	1.0892E 00
4.0	1.1240E 00	1.3801E 00	1.4082E 00
6.0	1.3017E 00	2.0684E 00	2.1646E 00
8.0	1.6008E 00	3.6581E 00	3.9671E 00
10.0	2.0935E 00	7.6627E 00	8.7029E 00
12.0	2.9165E 00	1.9105E 01	2.2973E 01
14.0	4.3384E 00	5.7050E 01	7.3455E 01
16.0	6.9103E 00	2.0559E 02	2.8678E 02
18.0	1.1825E 01	9.0229E 02	1.3805E 03
20.0	2.1829E 01	4.8755E 03	8.2884E 03
22.0	4.3672E 01	3.2854E 04	6.2921E 04
24.0	9.5225E 01	2.8030E 05	6.1371E 05
26.0	2.2778E 02	3.0815E 06	7.8359E 06
28.0	6.0231E 02	4.4565E 07	1.3389E 08
30.0	1.7764E 03	8.6855E 08	3.1407E 09

c) Diffusionskategorie F

ϕ / r	570	4870	5550
0.0	1.0000E 00	1.0000E 00	1.0000E 00
2.0	1.0130E 00	1.0699E 00	1.0780E 00
4.0	1.0531E 00	1.3105E 00	1.3509E 00
6.0	1.1236E 00	1.8394E 00	1.9694E 00
8.0	1.2309E 00	2.9620E 00	3.3453E 00
10.0	1.3850E 00	5.4826E 00	6.6343E 00
12.0	1.6016E 00	1.1693E 01	1.5403E 01
14.0	1.9046E 00	2.8825E 01	4.2008E 01
16.0	2.3312E 00	8.2434E 01	1.3514E 02
18.0	2.9399E 00	2.7474E 02	5.1544E 02
20.0	3.8247E 00	1.0728E 03	2.3445E 03
22.0	5.1401E 00	4.9394E 03	1.2808E 04
24.0	7.1481E 00	2.7012E 04	8.4722E 04
26.0	1.0306E 01	1.7698E 05	6.8511E 05
28.0	1.5442E 01	1.4033E 06	6.8493E 06
30.0	2.4106E 01	1.3623E 07	8.5756E 07

<u>Tabellenverzeichnis</u>			<u>Seite</u>
Tab	1a	Dokumentation der Ausbreitungsversuche	30
	1b	Ausbreitungsparameter nach der Simultanauswertung	47
	1c	Quelldistanz des Maximums und Maximum der bodennahen normierten Konzentration $I \cdot u/Q$ (m^{-2}) (Simultanauswertung)	48
	1d	Die mit Vektorwindfahnen ermittelten Sigma-werte der Ausbreitungsversuche und Ausbreitungsparameter	49
2 - 15		Meteorologische Daten der Versuche 27 - 40	32-45
	16	Mittlere gemessene Windrichtung und mittlere berechnete Ausbreitungsrichtung bei Vektorwindfahnenmessungen	66
	17	Mittlere quadratische Fehler der Ausbreitungsversuche für Vektorwindfahnenmessungen, Linear- und Potenzansatz im Simultanverfahren	67
	18	Relative Anzahl der Meßwerte, die um einen Faktor F vom berechneten Wert abweichen	69
	19a	Mittelwerte der Parameter p_y und p_z im Linearansatz des Simultanverfahrens für verschiedene Diffusionskategorien	72
	19b	Mittelwerte der Parameter P_y , q_y , p_z , q_z im Potenzansatz des Simultanverfahrens für verschiedene Diffusionskategorien	72
	20a	Mittelwerte der Vektorwindfahnenmessungen während der Versuche	72
	20b	Langjährige Stundenmittelwerte der Fluktuationmessungen	72
	21	Quelldistanz der Maxima der zeitintegrierten Aktivitätskonzentration (50 m Emissionshöhe)	77
	22	Maximale normierte zeitintegrierte Aktivitätskonzentration (50 m Emissionshöhe)	77

Tab	23	Absolute und relative Häufigkeit der Werte ≥ 1 für die Einzelversuche	79
	24	Verteilung der F-Werte in Abhängigkeit von der Größe und Quelldistanz	80
	25	Verteilung der V-Werte auf beiden Seiten der mittleren Ausbreitungsrichtung	82
	26	Bodennahe Konzentration an einem Punkt mit den Koordinaten (r, ϕ) bezogen auf die mittlere Ausbreitungsrichtung für verschiedene Diffusionskategorien	90

<u>Abbildungsverzeichnis</u>		Seite
Abb. 1	Netz der Probenahmestationen für die Ausbreitungsversuche (Nahbereich)	3
Abb. 1	Netz der Probenahmestationen für die Ausbreitungsversuche	4
Abb. 2	Aufbau der tragbaren Probenahmestationen	6
Abb. 3	Höhenabhängigkeit der Konzentrationsverteilung für verschiedene Quelldistanzen für die Diffusionskategorie D und 50 m Emissionshöhe	8
Abb. 4	Höhenabhängigkeit der Konzentrationsverteilung für verschiedene Quelldistanzen für die Diffusionskategorie D und 100 m Emissionshöhe	
Abb. 5	Probenahmestation zur Bestimmung der Vertikalverteilung	11
Abb. 6	Skizze einer Probenahmestation zur Messung der Vertikalverteilung	12
Abb. 7	Elektrische Steuerung der Probenahmestationen	14
Abb. 8	Kennlinie des Durchsatzmessers einer Probenahmestation	15
Abb. 9	Relativer Fehler der Nuklide ^{166}Ho und ^{64}Cu als Funktion der Abklingzeit mit dem Aktivitätsverhältnis ϵ als Parameter	23
Abb. 10 - 23	Normierte Konzentrationsverteilungen und Ausbreitungsparameter nach dem Simultanauswerteverfahren (zum Vergleich die Kurven nach dem System von Pasquill)	

	Seite
Abb. 24 Entfernungsabhängigkeit des horizontalen Ausbreitungsparameters für verschiedene Diffusionskategorien	73
Abb. 25 Entfernungsabhängigkeit des vertikalen Ausbreitungsparameters für verschiedene Diffusionskategorien	
Abb. 26 Gemittelte normierte Konzentrationsverteilungen nach dem Simultanauswerteverfahren für verschiedene Diffusionskategorien (zum Vergleich die Kurven nach dem System von Pasquill)	75
Abb. 27a Schematische Einteilung des Meßnetzes in Bereiche	83
Abb. 27b Theoretischer zeitlicher Verlauf der bodennahen Konzentration	84
Abb. 28 Zeitlicher Verlauf der bodennahen Konzentration an verschiedenen Stellen	85
Abb. 29 Lage der Meßstellen 8,63 und 93 zur alten und neuen Windrichtung	87
Abb. 30 Winkelabhängigkeit der Funktion $V(\phi)$ für verschiedene Meßstellen	89

