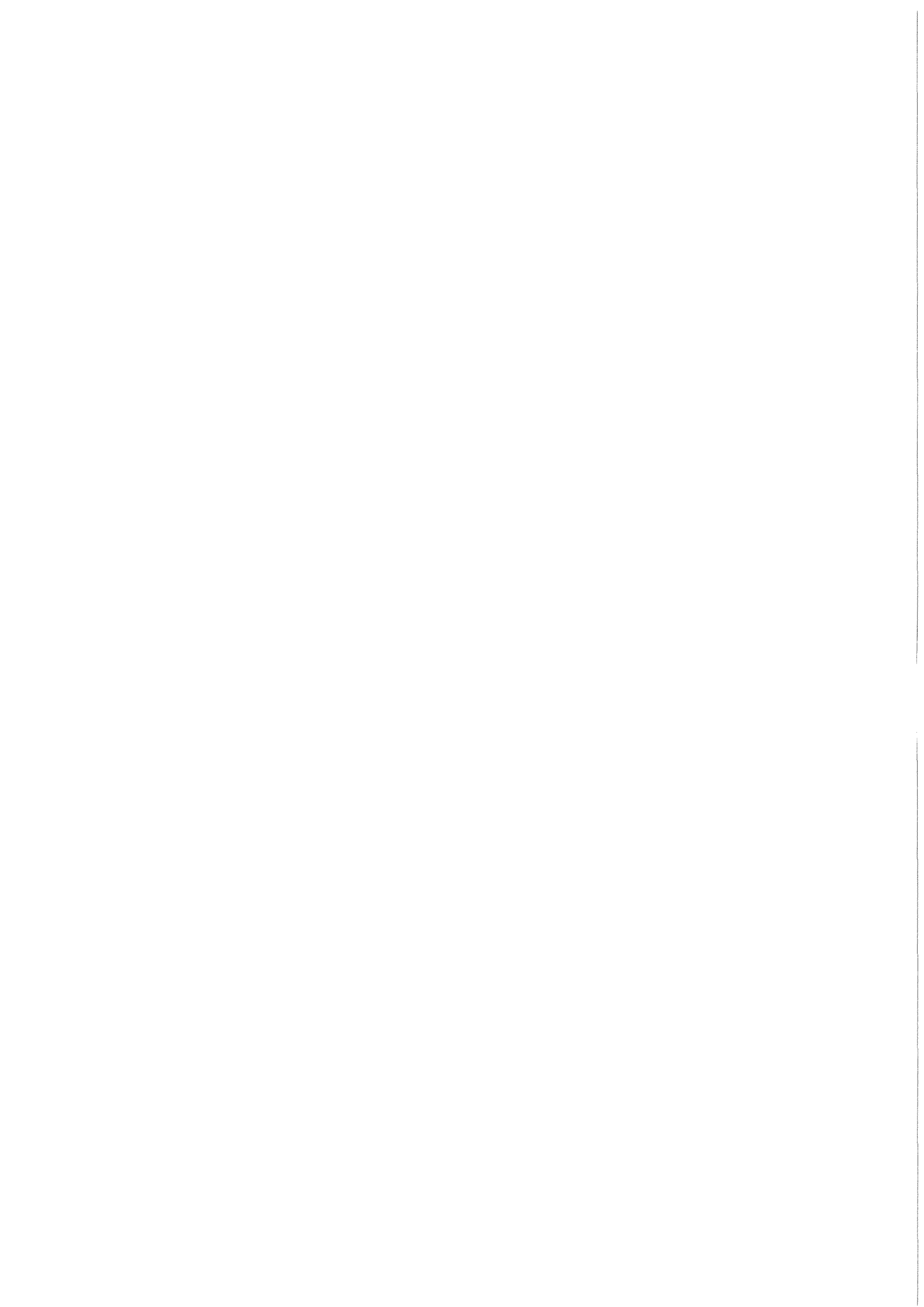


**KfK 3955
Juli 1985**

Dynamische und chemische Wechselwirkungen zwischen Abgas- und Kühlturmfahnen

**K. Nester, H. Verenkotte
Institut für Meteorologie und Klimaforschung**

Kernforschungszentrum Karlsruhe



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE
Institut für Meteorologie und Klimaforschung

KfK 3955

Dynamische und chemische Wechselwirkungen zwischen
Abgas- und Kühlturmfahnen

K. Nester, H. Verenkotte

Abschlußbericht des F + E-Vorhabens:

Untersuchungen der Auswirkungen der gegenseitigen Beein-
flussung von Kühlturmschwaden und Abgasfahnen bei Kraftwerken

Vorhaben Nr. 104 07353

gefördert vom Umweltbundesamt

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

Als Manuskript vervielfältigt
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
ISSN 0303-4003

Zusammenfassung

Es wurden theoretische und experimentelle Untersuchungen zur dynamischen und chemischen Wechselwirkung zwischen Abgas- und Kühlturmfahnen durchgeführt. Die dynamischen Wechselwirkungen können je nach Anordnung von Kamin und Kühlturm sowohl zu deutlichen Erniedrigungen als auch zu leichten Erhöhungen der maximalen Schadstoffkonzentration gegenüber dem Fall ohne gegenseitige Beeinflussung führen. Die theoretischen Ergebnisse der dynamischen Wechselwirkung werden anhand von Windkanalexperimenten getestet.

Zur Simulation der chemischen Wechselwirkungen am Beispiel der Oxidation von SO_2 wurde das Kühlturmfahnenmodell weiterentwickelt. Die zusätzlich eingebrachten Gleichungen enthalten die Ansätze zur Simulation der heterogenen und homogenen Oxidation von SO_2 . Die Ansätze der heterogenen Oxidation von SO_2 auf Partikeln und in Tröpfchen stammen aus Experimenten des Laboratoriums für Aerosol- und Filtertechnik (des Kernforschungszentrums Karlsruhe).

Zur Modellierung der homogenen Oxidationsprozesse in der Abgasfahne wurde ein Ansatz gewählt, der die im wesentlichen wirksame Oxidation über die OH-Radikale näherungsweise berücksichtigt.

Fallrechnungen zeigen den deutlichen Einfluß der atmosphärischen Feuchte auf die heterogene Oxidation von SO_2 . Dies gilt im besonderen bei Mischung mit der Kühlturmfahne. Bei der Mischung ergaben die Rechnungen pH-Werte zwischen 2,5 und 3,5. Die Fallrechnungen wurden außerdem mit und ohne Naßentschwefelung der Kaminabgase durchgeführt. Dabei zeigte sich, daß die Sulfatbildung bei Verwendung der Naßentschwefelung größer sein kann als ohne deren Einsatz.

Dynamical and chemical interactions between stack and cooling tower plumes

Summary

Theoretical and experimental investigations have been performed to simulate the dynamical and chemical interactions between stack and cooling tower plumes. Depending on the arrangement of stack and cooling tower the dynamical interactions may lead to an evident decrease or to a light increase of the maximum pollutant concentration as compared to the case without interaction. The theoretical results of the dynamical interaction have been tested by wind tunnel experiments.

To treat the chemical interactions, which were restricted to the oxidation of SO_2 the cooling tower plume model was further developed. The additionally introduced equations describe the heterogeneous and homogeneous oxidation of SO_2 . The approaches for the heterogeneous oxidation of SO_2 on particles and in droplets were derived from laboratory experiments at the Laboratorium für Aerosol- und Filtertechnik I of the Kernforschungszentrum Karlsruhe.

To simulate the homogeneous oxidation processes in the stack effluents an approach was used, which approximately takes into account the prevailing oxidation process with the OH radicals.

Case studies show the dominant influence of the atmospheric humidity on the heterogeneous oxidation of SO_2 . This is pronounced if mixing of stack and cooling tower plume occurs. In the case of mixing the calculations give a pH-value between 2.5 and 3.5. The case studies were performed with and without wet desulfurisation of the stack effluents. The calculations show that the formation of sulfate may be increased in case of desulfurisation.

Inhaltsverzeichnis

	Vorwort	V
1.	Einleitung	1
2.	Modell zur Simulation der dynamischen Wechselwirkung zwischen Kühlturm- und Abgasfahne	2
2.1	Das Kühlturmfahnenmodell	2
2.2	Das Abgasfahnenmodell ohne Auftrieb	6
2.3	Das Abgasfahnenmodell mit Auftrieb	8
3.	Experimentelle und theoretische Untersuchungen zur dynamischen Wechselwirkung zwischen Abgasfahnen- und Kühlturmfahnen	10
3.1	Windkanalversuche	10
3.1.1	Versuchsdurchführung	10
3.1.2	Versuchsergebnisse	13
3.2	Modellrechnungen zu den Windkanalversuchen	14
3.3	Modellrechnungen zur dynamischen Wechselwirkung von Kühlturmfahnen und Abgasfahnen mit Auftrieb	21
3.3.1	Modellvorgaben	21
3.3.2	Modellergebnisse	28
3.3.2.1	Schadstoffkonzentration am Boden in Abhängigkeit vom seitlichen Abstand zwischen Kamin-Kühlturm	28
3.3.2.2	Querschnitte der Konzentrationsverteilung und der Zirkulation durch die Abgasfahne	33
3.4	Zusammenfassende Bemerkungen	37

4.	Chemische Wechselwirkungen zwischen Abgasfahne und Kühlturmfahne	39
4.1	Vorbemerkungen	39
4.2	Das Modell WALKÜRE-C	39
4.2.1	Der Ansatz für die homogenen Oxidationsprozesse	40
4.2.2	Der Ansatz für heterogene Oxidationsprozesse von SO ₂ auf Partikeln	42
4.2.3	Der Ansatz für die Oxidation von SO ₂ in Tröpfchen, die Partikel enthalten	45
4.2.4	Das Partikel-Tropfen-System	47
4.2.4.1	Die Bilanzgleichungen für heterogen gebildetes Sulfat	47
4.2.4.2	Die Berechnung der Konzentration von Partikel- und Tropfentrockenmasse	49
4.2.4.3	Die Bilanzgleichung für SO ₂	51
5.	Modellrechnungen zu den chemischen Wechselwirkungen zwischen Kühlturmfahne und Abgasfahne	51
5.1	Der Einfluß der Naßentschwefelung auf die heterogene Sulfatbildung	54
5.1.1	Die Sulfatbildung in der Kaminfahne	54
5.1.2	Die Sulfatbildung in der Kaminfahne bei Mischung mit einer Kühlturmfahne	59
5.2	Die Sulfatbildung durch homogene Oxidationsprozesse	71
6.	Schlußfolgerungen	71
	Symbolliste	74
7.	Literatur	75
	Anhang A	
	Anhang B	
	Anhang C	

Vorwort

Die Auswirkungen von Emissionen aus Kraftwerken auf die Umgebung hängen von deren chemischer Zusammensetzung und deren Umwandlung in der Atmosphäre sowie von den meteorologischen Bedingungen ab. Ausbreitungsmodelle können die Konzentrationsverteilung in der Atmosphäre beschreiben, die für die Auswirkungen maßgebend sind. Da bei Kraftwerken häufig Kühltürme zur Wärmeabfuhr eingesetzt werden, können deren Emissionen die Vorgänge bei der Ausbreitung der Kaminabgase beeinflussen. Um diese Effekte zu untersuchen, wurde vom Umweltbundesamt ein F + E-Vorhaben mit dem Titel:

"Untersuchungen der Auswirkungen der gegenseitigen Beeinflussung von Kühlturmschwaden und Abgasfahnen bei Kraftwerken"

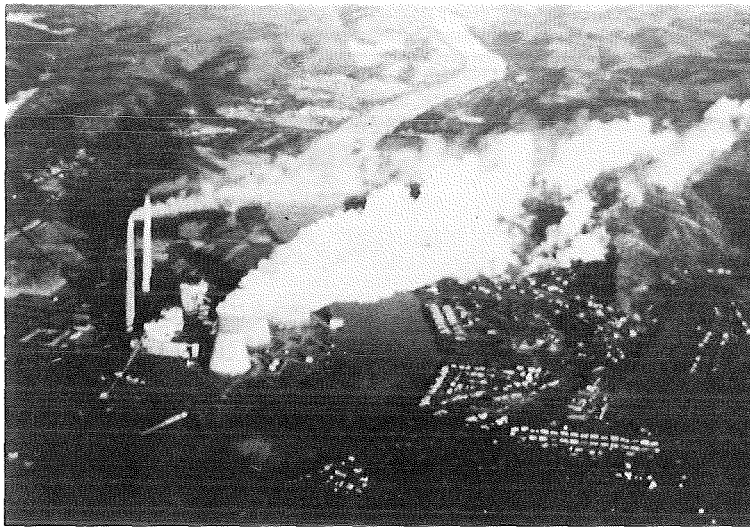
vergeben. Der in diesem Bericht enthaltene Teil dieses Vorhabens, befaßt sich mit den dynamischen und chemischen Wechselwirkungen zwischen Kühlturm- und Abgasfahne, wobei sich letztere auf die Oxidation von SO_2 beschränken. Es wurde ein Modell entwickelt, das die genannten Wechselwirkungen zu simulieren gestattet. Windkanalversuche ergänzten die theoretische Simulation und dienten der Verifizierung der Modellergebnisse zur dynamischen Wechselwirkung.

Die Ansätze für die chemische Umwandlung von SO_2 zu Sulfat wurden im wesentlichen aus Experimenten des Laboratoriums für Aerosol- und Filtertechnik I des Kernforschungszentrums Karlsruhe abgeleitet. Sie sind im anderen Teil des Gesamtvorhabens detailliert beschrieben (Dlugi, u. a. (1985)).

Für die Finanzierung und die Unterstützung des Vorhabens gilt der Dank dem Umweltbundesamt, insbesondere den betreuenden Mitarbeitern.

1. Einleitung

Moderne Wärmekraftwerke sind heute meist mit Kühltürmen zur Wärmeabfuhr ausgerüstet. Bei Abständen von einigen 100 m zwischen Kühlturm und Kamin können Wechselwirkungen zwischen den Fahnen beider Quellen auftreten, wie auf dem folgenden Foto zu sehen ist.



Bei der Mischung beider Fahnen treten zwei Hauptbeeinflussungen auf:

1. Der Aufstieg und die Ausbreitung der Abgasfahne wird durch die in der Kühlturmfahne vorhandene Quercirkulation (Doppelwirbel) beeinflusst.
2. Die chemischen Reaktionsabläufe in der Rauchgasfahne werden durch die Temperatur- und Feuchteüberhöhung in der Kühlturmfahne sowie durch das Vorhandensein von Tröpfchen modifiziert.

Im ersten Teil der Ausführungen wird auf Punkt 1 eingegangen, der als dynamische Wechselwirkung bezeichnet wird. Basis für

diese Untersuchung ist das bereits früher entwickelte Modell WALKÜRE. Die Beeinflussung der chemischen Vorgänge in der Abgasfahne durch die Kühlturmfahne, chemische Wechselwirkung genannt, bildet den zweiten Teil des Berichtes. Dieser Aspekt wird am Beispiel der SO_2 -Umwandlung behandelt. Das Ergebnis der Untersuchungen ist das Modell WALKÜRE-C, das sowohl die dynamischen als auch die chemische Wechselwirkungen zu simulieren erlaubt. Eine Programmbeschreibung ist im Anhang A enthalten.

Anhand von Beispielrechnungen wird gezeigt, welche Auswirkungen die gegenseitige Beeinflussung von Kühlturm- und Abgasfahne haben kann.

2. Modelle zur Simulation der dynamischen Wechselwirkung zwischen Kühlturm- und Abgasfahne

2.1 Das Kühlturmfahnenmodell

Zur Berechnung der Kühlturmfahne wird das Modell WALKÜRE (Nester, 1976, 1980) verwendet. Basis für die Berechnungen sind:

- die Navier-Stokes-Bewegungsgleichungen
- die Kontinuitätsgleichung
- der erste Hauptsatz der Thermodynamik
- die Erhaltungssätze für Wasserdampf und Tröpfchen
- die Gleichung für die turbulente kinetische Energie k
- die Gleichung für die Dissipation ϵ der turbulenten kinetischen Energie.

Zur Lösung dieser Gleichungen werden die folgenden Hauptvereinfachungen vorgenommen:

- Stationäre Bedingungen
- Der turbulente Austausch in Transportrichtung wird gegenüber dem horizontalen Wind vernachlässigt
- Dichteänderungen werden über die Boussinesq-Approximation berücksichtigt; ansonsten wird das Medium als inkompressibel betrachtet.

Mit diesen Vereinfachungen ergibt sich ein Satz von sieben partiellen Differentialgleichungen. Die Parameter beschreiben jeweils die Differenz zur Umgebung.

Die Vorticitygleichung (2) zusammen mit der Poissongleichung für die Stromfunktion (3) liefern das Strömungsfeld senkrecht zur Transportrichtung. Die Gleichung (4) berechnet eine Temperaturdifferenz T_s' , die sich einstellen würde, wenn man die Wolkenröpfchen verdampft und die dafür notwendige Wärme der Fahne entzieht. Im Bereich der unsichtbaren Fahne entspricht diese Temperaturdifferenz der Fahnentemperaturdifferenz. Der Parameter f' in Gleichung (5) umfaßt sowohl den spezifischen Wolkenröpfchengehalt als auch die Wasserdampfdifferenz zur Umgebung. Die tatsächliche Übertemperatur der Fahne, der Wolkenröpfchengehalt und die Wasserdampfdifferenz zur Umgebung werden aus den Parametern T_s' und f' zusammen mit den entsprechenden Umgebungsparametern berechnet. Die fünfte Gleichung gilt für den Regentröpfchengehalt.

In dem Modell wird zwischen Regentröpfchen und Wolkenröpfchen unterschieden. Nur erstere besitzen eine Sinkgeschwindigkeit. Zwischen beiden Tröpfchenarten und dem Wasserdampf finden Umwandlungsprozesse statt, die im Gleichungssystem durch den Term Pr beschrieben werden. Die betrachteten Prozesse sind:

- Autokonversion von Wolkenröpfchen zu Regentröpfchen,
- Zunahme der Regentröpfchen durch Einfangen von Wolkenröpfchen,

$$u_u \frac{\partial}{\partial x} \bar{n}_f + \bar{v}_f \frac{\partial}{\partial y} \bar{n}_f + \bar{w}_f \frac{\partial}{\partial z} \bar{n}_f = \frac{\partial}{\partial y} K_{my} \frac{\partial}{\partial y} \bar{n}_f + \frac{\partial}{\partial z} K_{mz} \frac{\partial}{\partial z} \bar{n}_f + \frac{\partial}{\partial x} \bar{v}_f \frac{\partial}{\partial z} u_u + \frac{g}{T_{vu}} (1 + \bar{q}_{cf} + \bar{q}_{rf}) \frac{\partial}{\partial y} \bar{T}_v' - g \frac{\partial}{\partial y} (\bar{q}_{cf} + \bar{q}_{rf}) \quad (1)$$

$$\bar{n}_f = \frac{\partial^2 \bar{\phi}_f}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{\phi}_f}{\partial z^2} \quad (2)$$

$$u_u \frac{\partial}{\partial x} \bar{T}_s' + \bar{v}_f \frac{\partial}{\partial y} \bar{T}_s' + \bar{w}_f \frac{\partial}{\partial z} \bar{T}_s' = \frac{\partial}{\partial y} K_{hy} \frac{\partial}{\partial y} \bar{T}_s' + \frac{\partial}{\partial z} K_{hz} \frac{\partial}{\partial z} \bar{T}_s' - \frac{g}{c_p} \bar{w}_f - \bar{w}_f \frac{\partial}{\partial z} T_{vu} + \frac{L}{c_p} \bar{p}_r \quad (3)$$

$$u_u \frac{\partial}{\partial x} \bar{f}' + \bar{v}_f \frac{\partial}{\partial y} \bar{f}' + \bar{w}_f \frac{\partial}{\partial z} \bar{f}' = \frac{\partial}{\partial y} K_{hy} \frac{\partial}{\partial y} \bar{f}' + \frac{\partial}{\partial z} K_{hz} \frac{\partial}{\partial z} \bar{f}' - \bar{w}_f \frac{\partial}{\partial z} f_u - \bar{p}_r \quad (4)$$

$$u_u \frac{\partial}{\partial x} \bar{q}_{rf} + \bar{v}_f \frac{\partial}{\partial y} \bar{q}_{rf} + \bar{w}_f \frac{\partial}{\partial z} \bar{q}_{rf} = \frac{\partial}{\partial y} K_{ry} \frac{\partial}{\partial y} \bar{q}_{rf} + \frac{\partial}{\partial z} K_{rz} \frac{\partial}{\partial z} \bar{q}_{rf} + \bar{v}_r \frac{\partial}{\partial z} \bar{q}_{rf} + \bar{q}_{rf} \frac{\partial}{\partial z} \bar{v}_r + \bar{p}_r \quad (5)$$

$$u_u \frac{\partial}{\partial x} \bar{k} + \bar{v}_f \frac{\partial}{\partial y} \bar{k} + \bar{w}_f \frac{\partial}{\partial z} \bar{k} = \frac{\partial}{\partial y} K_{hy} \frac{\partial}{\partial y} \bar{k} + \frac{\partial}{\partial z} K_{hz} \frac{\partial}{\partial z} \bar{k} + \alpha \frac{\bar{k}^2}{\epsilon} p - \bar{\epsilon} \quad (6)$$

$$u_u \frac{\partial}{\partial x} \bar{\epsilon} + \bar{v}_f \frac{\partial}{\partial y} \bar{\epsilon} + \bar{w}_f \frac{\partial}{\partial z} \bar{\epsilon} = \frac{\partial}{\partial y} K_{my} \frac{\partial}{\partial y} \bar{\epsilon} + \frac{\partial}{\partial z} K_{mz} \frac{\partial}{\partial z} \bar{\epsilon} + 2c\alpha k p - 2 \frac{\bar{\epsilon}^2}{k} \quad (7)$$

mit

$$P = 2 \left[\left(\frac{\partial \bar{v}_f}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{w}_f}{\partial z} \right)^2 \right] + \left(\frac{\partial \bar{v}_f}{\partial z} + \frac{\partial \bar{w}_f}{\partial y} \right)^2 - \frac{K_h g}{K_m T_u} \frac{\partial \theta}{\partial z} \quad (8)$$

- Verdunstung von Regentröpfchen.

Die Theorie zu diesen Prozessen stammt von Kessler (1969). Die beiden letzten Gleichungen werden zur Berechnung der durch die Fahne induzierten Turbulenz K_{ind} benötigt. Für den Diffusionskoeffizienten der induzierten Turbulenz wird der Ansatz

$$K_{ind} = a \frac{\bar{k}^2}{\bar{\epsilon}} \quad (9)$$

gemacht. Der Umgebungsdiffusionskoeffizient K_u wird normalerweise in Abhängigkeit von der Richardsonzahl angesetzt. Für die Überlagerungsrechnungen mit Auftrieb wurde jedoch von höhenkonstanten Umgebungsdiffusionskoeffizienten ausgegangen, wie sie in den praxisnahen Ausbreitungsmodellen Verwendung finden. Beide Diffusionskoeffizienten addieren sich zum wirksamen Diffusionskoeffizienten.

Die Verteilung der Anfangsbedingungen in einer senkrechten Ebene in der Mitte des Kühlturms werden bis auf die Vorticity durch die Überlagerung von Fehlerfunktionen dargestellt, welche nahezu eine Zylinderhutfunktion beschreiben. Dabei ist gewährleistet, daß der Fluß der relevanten Größen durch die Kühlturmmündung demjenigen durch eine senkrechte Fläche entspricht.

Zur Berechnung der Kühlturmfahnenausbreitung werden die sieben partiellen Differentialgleichungen in Differenzgleichungen überführt und numerisch mit einem Iterationsverfahren in Schritten von Δx in Transportrichtung gelöst. Die Poissongleichung (3) nimmt dabei eine Sonderstellung ein, da sie nur Terme in einer Ebene senkrecht zur Transportrichtung enthält. Die Lösung dieser Gleichung erfolgt mittels des Verfahrens der zyklischen Reduktion (Schumann (1975)), wohingegen die übrigen

Gleichungen iterativ mit dem Verfahren von Stone (1968) gelöst werden. Das Verfahren von Stone hat ausgezeichnete, von den Randbedingungen weitgehend unabhängige Konvergenzeigenschaften.

2.2 Das Abgasfahnenmodell ohne Auftrieb

Die Ausbreitung eines nicht reaktiven Schadgases in der Atmosphäre läßt sich durch die Diffusionsgleichung für die mittlere Konzentration \bar{c} beschreiben:

$$\bar{u} \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial y} (K_y \frac{\partial \bar{c}}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_z \frac{\partial \bar{c}}{\partial z}) \quad (10)$$

\bar{u} , \bar{v} , \bar{w} sind die (zeitlich gemittelten) Komponenten des Windfeldes in x, y, z-Richtung, $\bar{u} = \bar{u}(z)$ repräsentiert eine horizontale, parallele Grenzschichtströmung, \bar{v} , \bar{w} sind in lateraler bzw. vertikaler Richtung Zusatzgeschwindigkeiten, die durch die Kühlturmfahne erzeugt werden.

K_y , K_z sind die turbulenten Diffusionskoeffizienten in y- bzw. z-Richtung. Der turbulente Fluß von c in Hauptwindrichtung ist gegenüber der Advektion in dieser Richtung vernachlässigt. Für die Diffusionskoeffizienten wurde der Ansatz, entsprechend Csanady (1973)

$$K_i(x) = \frac{\bar{u}}{2} \frac{d\sigma_i^2(x)}{dx}, \quad i = y, z \quad (11)$$

gewählt.

Die Ausbreitungsparameter $\sigma_y(x)$ und $\sigma_z(z)$ wurden den Auswertungen der Karlsruher Ausbreitungsexperimente für 180 m Quellhöhe entnommen (Kiefer u.a. (1980)). Durch die Wahl des Ansatzes (11) konnte für den Fall ohne Kühlturmeinfluß die bekannte Gauß-Verteilung als Vergleich herangezogen werden:

$$\bar{c} = \frac{q}{2\pi\bar{u}\sigma_y\sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left(\exp\left(-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right) \quad (12)$$

mit q = Quellstärke

h = Quellhöhe.

Die Überlagerung der beiden Fahnen wurde in zwei Schritten berechnet. Zunächst wurde mit dem Modell WALKÜRE das Strömungsfeld und das Feld der induzierten Turbulenz durch die Kühlturmfahne berechnet. Diese beiden Felder werden als Eingabefeld für das Schadstoffausbreitungsmodell verwendet. Durch Interpolation dieser Felder lassen sich die Geschwindigkeiten und Diffusionskoeffizienten an jedem beliebigen Punkt berechnen. Auf diese Weise wird das Gitternetz des Ausbreitungsmodells unabhängig von dem des Kühlturmfahnenmodells, was wegen der unterschiedlichen Dimensionen von Kühlturm und Kamin besonders in Quellnähe von großer Wichtigkeit ist.

Zur Lösung der Diffusionsgleichung wurde von den folgenden Randbedingungen ausgegangen:

$$\begin{aligned} z = 0 & \quad : \quad \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} + v_D \bar{c} = 0, & \text{Ablagerung mit der Geschwindigkeit } v_D \text{ am unteren Rand,} \\ z = H & \quad : \quad \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} = 0, & \text{am oberen Rand Reflexion,} \\ y = \pm A/2 & \quad : \quad \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} = 0, & \text{am linken und rechten Rand Reflexion.} \end{aligned}$$

Zur numerischen Lösung der Diffusionsgleichung wird diese diskretisiert und liefert dann ein lineares Gleichungssystem, das in Schritten von Δx in Transportrichtung gelöst wird. Das numerische Verfahren entspricht demjenigen der spezifischen

Feuchte in WALKÜRE.

2.3 Das Abgasfahnenmodell mit Auftrieb

Bezieht man den Auftrieb der Abgasfahne in die Ausbreitung der Schadstoffe mit ein, ist der einfache Ansatz einer Diffusionsgleichung, wie in Kapitel 2.2, nicht mehr ausreichend. Temperatur- und Feuchteverteilung in der Abgasfahne bestimmen im wesentlichen deren Auftrieb und müssen deshalb neben der Schadstoffgleichung in das Modell einbezogen werden. Als einfachste Möglichkeit erscheint zunächst der Einbau der Diffusionsgleichung in das Modell WALKÜRE. Da dieses Modell bereits Überlagerungen mehrerer Fahnen zu berücksichtigen vermag, könnte die Abgasfahne im Prinzip wie eine weitere "Kühlturmfahne" behandelt werden. Drei wesentliche Probleme treten allerdings bei dieser Lösungsmöglichkeit auf.

- a) Die Boussinesq-Approximation, die für die Kühlturmfahne gerechtfertigt erscheint, ist für die Abgasfahne, vor allem zu Beginn des Aufstiegs, eine wesentlich weniger gut erfüllte Näherung.
- b) Die Austrittsgeschwindigkeiten von Kaminabgasen sind im allgemeinen wesentlich höher als die Windgeschwindigkeit, wodurch der Ansatz einer horizontalen Wirbelachse, wie in WALKÜRE, physikalisch nicht mehr zu vertreten ist.
- c) Die Ausdehnung von Kamin- und Kühlturmmündung ist sehr unterschiedlich. Das Verhältnis der Durchmesser liegt bei 0,1 bis 0,15. Die Maschenweiten des Modells WALKÜRE müßten somit erheblich verkleinert werden, um von den Quellen an mit diesem Modell rechnen zu können.

Wollte man alle drei Probleme durch Änderungen in WALKÜRE

lösen, würde dies eine Neuentwicklung des Modells bedeuten. Hinzu käme, daß die Rechenzeiten mit dem neuen Modell sich wesentlich erhöhen würden. Aus diesen Gründen wurde ein anderer Weg beschritten. Aufgrund vorhandener Kenntnisse (Briggs (1969)) über den Aufstieg von auftriebsbehafteten Kaminfahnen läßt sich abschätzen, daß sich nach kurzer Entfernung von der Quelle Bedingungen in der Abgasfahne einstellen, die denjenigen an der Kühlturmmündung nahekommen. Auch hat sich die Fahne dann soweit ausgedehnt, daß das zuvor genannte Durchmesser Verhältnis auf etwa 0,5 angestiegen ist. Dies bedeutet, daß ab einer Entfernung von einigen 10 Metern von der Kaminmündung das Modell WALKÜRE in seiner jetzigen Form wieder anwendbar ist. Das Verhalten der Abgasfahne beim Aufstieg bis zu dieser Entfernung läßt sich recht gut durch ein Integralmodell beschreiben. Obwohl mit einem Integralmodell der Abgasfahne die dynamische Wechselwirkung zwischen beiden Fahnen nicht ganz realistisch beschrieben werden kann, erscheint dieses Vorgehen ein Kompromiß zwischen physikalisch realistischer Beschreibung der Vorgänge und dem dazu notwendigen Modellentwicklungs- und Rechenaufwand.

Das zur Beschreibung des anfänglichen Aufstiegs der Abgasfahne entwickelte Integralmodell basiert auf den Ansätzen von Klug, Grimm (1979). Das Modell wurde für den Fall ohne Kühlturmfahneneinfluß anhand einer Aufstiegsformel nach Briggs (1969) und mit Aufstiegsrechnungen nach Schatzmann (1979) getestet. In der interessierenden Anfangsphase stimmen die Ergebnisse recht gut überein. Die gemachten Ansätze für das Integralmodell sind im Anhang B erläutert. Dort ist auch das Ergebnis einer Vergleichsrechnung mit den Messungen von Bringfelt (1968) angegeben.

3. Experimentelle und theoretische Untersuchungen zur dynamischen Wechselwirkung zwischen Abgasfahnen und Kühlturmfahnen

3.1 Windkanalversuche

Es wurden im Jahre 1982 erste Windkanalversuche durchgeführt, welche exemplarisch feststellen sollten, wie stark die Anwesenheit einer Kühlturmfahne die Ausbreitung auftriebsfreier Rauchgase bei verschiedenen Konfigurationen von Kühlturm und Kamin beeinflusst. Die Versuche sollten außerdem der Verifizierung des Modells zur Simulation der dynamischen Wechselwirkungen dienen. Diese Versuche haben bereits gezeigt, daß die Kühlturmfahne einen deutlichen Einfluß auf die Ausbreitung der Abgasfahne besitzt. Leider war in dem Windkanal eine Drift vorhanden, die einen quantitativen Vergleich mit den Rechnungen erschwerte. Es war nicht auszuschließen, daß die Abweichungen zwischen Modell und Experiment teilweise durch diese Drift bewirkt wurden. Die Simulation der Kühlturmfahne durch das Modell WALKÜRE war dagegen sehr gut.

Um die Unsicherheiten zu beseitigen, wurde im Frühjahr 1984 eine zweite Serie von Windkanalversuchen beim Ingenieurbüro Dr.-Ing. Achim Lohmeyer durchgeführt. Durch Vorversuche war jetzt gewährleistet, daß keine Drift im Windkanal vorhanden war.

3.1.1 Versuchsdurchführung

Es wurden 6 Fälle zur Mischung von Abgasfahnen und Kühlturmfahne untersucht. Abb.1 zeigt die untersuchten Anordnungen. Dazu wurde ein Windkanalmodell im Maßstab 1:1150 gebaut.

Die Daten für Kühlturm, Schornstein und Atmosphäre lauteten:

a) Kühlturm:

- Höhe	H = 140 m
- Austrittsdurchmesser	D = 70 m
- Austrittsgeschwindigkeit	$u_a = 4,14$ m/s
- Austrittsfroudezahl	Fr = 1,0

b) Schornstein:

- Höhe	h = 200 m
- Austrittsdurchmesser	d = 1,6 m
- Austrittsgeschwindigkeit	isokinetisch in Richtung des Windes
Auftrieb:	kein

c) Atmosphäre:

- Stabilitätszustand	neutral
- Exponent des Windprofils	p = 0,23
- Grenzschichtdicke	= 420 m
- Windgeschwindigkeit in 420 m Höhe	u = 7 m/s

wobei $Fr = u_a / \sqrt{(1 - \rho_a / \rho_L) g R}$

mit ρ_a = Dichte des Schwadens am Austritt

mit ρ_L = Dichte der Umgebungsluft

mit R = Radius der Austrittsöffnung

mit g = Erdbeschleunigung

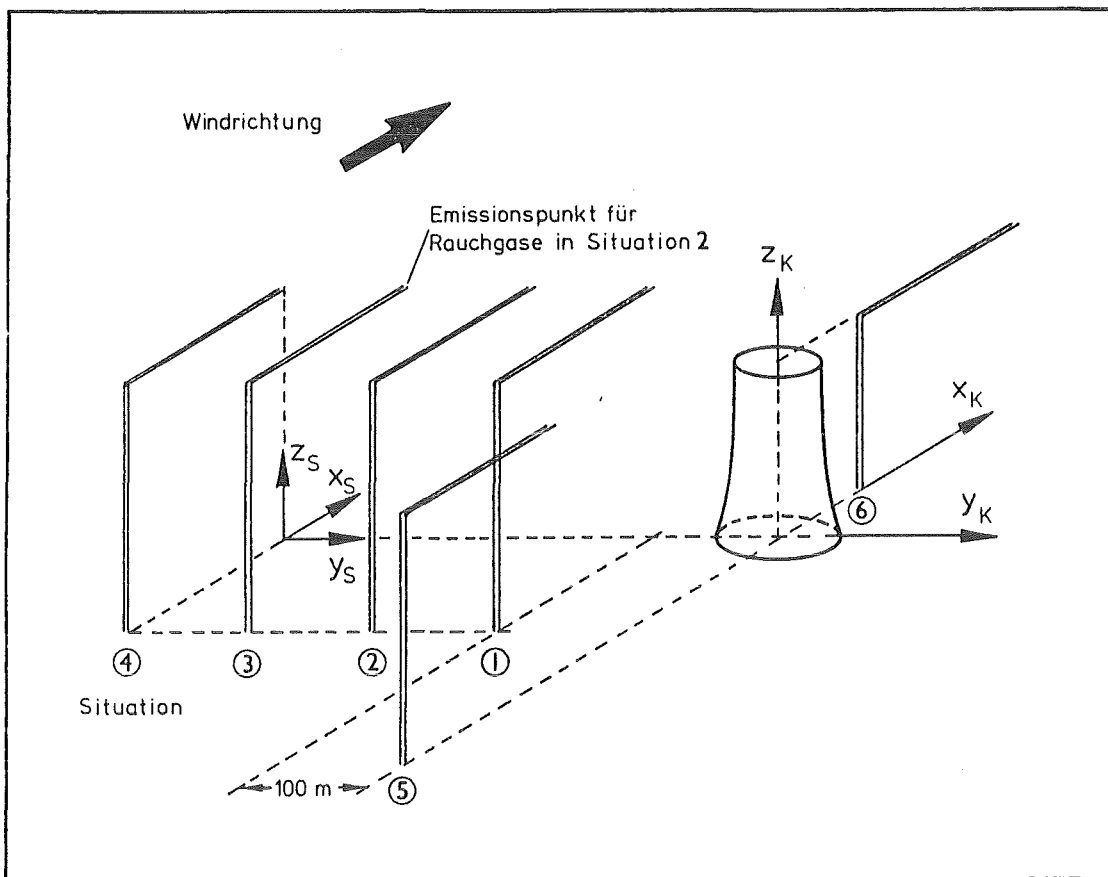


Abb. 1: Perspektivische Darstellung der untersuchten Situationen sowie Definition der beiden Koordinatensysteme

Um den Auftrieb des Kühlturmschwadens im Modell korrekt zu simulieren, wurde aus dem Kühlturm reines Helium abgegeben. Um eine Windgeschwindigkeit in der Natur von $u = 7 \text{ m/s}$ nachzubilden, mußte die Geschwindigkeit im Windkanal auf $u = 0,85 \text{ m/s}$ abgesenkt werden.

Sowohl die Kühlturmschwadenkonzentration als auch die Rauchgaskonzentration wurden bestimmt, indem an den interessierenden Stellen im Windkanal für etwa 3 min. Gas entnommen, gesammelt und dann analysiert wurde (3 min. im Modell ist die Zeit, die man braucht, um einen reproduzierbaren Mittelwert zu bekommen).

Der Kühlturmschwaden wurde durch Zugabe von maximal 0,05 % SF_6 als Tracer meßbar gemacht, die Rauchgasfahne durch Zugabe von 10 bis 50 % SF_6 . Die Tracerkonzentration wurde mit einem Elektroneneinfangdetektor der Firma Meltron Typ LH 108 bestimmt (Meßbereich: 0,01 bis 6 ppm SF_6). Der Tracervolumen-

strom wurde für jeden auszumessenden Querschnitt derart gewählt, daß der Elektroneneinfangdetektor im Fahnenzentrum möglichst im Bereich des Vollausschlages arbeitet.

3.1.2 Versuchsergebnisse

Im Unterschied zu der früheren Experimentserie wurde jetzt eine größere Aufstiegshöhe der Kühlturmfahne gemessen. Möglicherweise hat sich bei der ersten Versuchsreihe die Drift im Windkanal auch auf den Aufstieg der Kühlturmfahne ausgewirkt. Die nachfolgenden Abbildungen 2 bis 7 stellen eine Auswahl der Versuchsergebnisse dar. Sie zeigen Linien gleichen Stackfaktors in der y_s, z_s -Ebene im Abstand x_s vom Schornstein. Die durchgezogenen Isolinien gelten für Kühlturm in Betrieb, die gestrichelten für Kühlturm nicht in Betrieb.

Der Stackfaktor ist hier definiert mit

$$\text{Stackfaktor} = \frac{c \cdot u}{q} \quad (13)$$

dabei ist

c = normierte Abgaskonzentration an der Meßstelle
= gemessene Tracerkonzentration/Tracerkonzentration der Emission

u = Windgeschwindigkeit in 420 m Höhe in m/s

q = Quellstärke der Emission in m^3/s

Abb. 2 zeigt, daß bei einem Abstand von 100 m zwischen Kühlturm und Kamin in 3 km Entfernung von der Quelle der größte Teil der Abgasfahne in die Kühlturmfahne einbezogen wurde. Es ist jedoch auch deutlich erkennbar, daß trotz des geringen Abstandes noch ein Teil in Bodennähe verbleibt.

Wird der Abstand auf 200 m vergrößert (Abb. 3) ist das Ein-

saugen der Abgasfahne in die Kühlturmfahne bereits deutlich reduziert. Die höchsten Konzentrationen treten zwischen 100 m und 250 m Höhe auf und nicht in Höhe der Kühlturmfahne. Bei einem Abstand von 300 m (Abb. 4) setzt sich der Trend vom Abstand 100 m zum Abstand 200 m fort. Hier liegt das Maximum der Konzentration bereits nahezu am Boden. Nur noch ein geringer Teil der Abgasfahne wird in die Kühlturmfahne eingesaugt. Das Konzentrationsfeld ist wie bereits beim Abstand von 200 m zum Kühlturm hin seitlich versetzt. Befindet sich der Kamin 300 m im Luv des Kühlturms, wird die Abgasfahne bereits im Abstand von 1000 m vollständig in die Kühlturmfahne einbezogen, wie aus Abbildung 5 hervorgeht. Die Abb. 6 zeigt zusammenfassend, daß der Kühlturmschwaden die Rauchgasfahne in solchen Fällen einsaugt, in denen der Schornstein 100 m querab vom Kühlturm sowie 300 m im Luv oder im Lee des Kühlturms steht. Bei einem Abstand von 200 m, 300 m und 400 m querab vom Kühlturm wird die Trajektorie der Rauchgasfahne verschoben, was die in Abb. 7 dargestellte Veränderung der Bodenkonzentration zur Folge hat. Für die untersuchten Fälle wird die Bodenkonzentration zum Teil um 50 % erhöht, zum Teil wird sie aber auch um bis zu einer Zehnerpotenz abgesenkt, und zwar dann, wenn die Rauchgasfahne in den Kühlturmschwaden eingesaugt wird. Die vollständigen Ergebnisse der Windkanalversuche sind im Anhang D wiedergegeben.

3.2 Modellrechnungen zu den Windkanalversuchen

Zunächst wurde versucht, mit dem Modell WALKÜRE den Aufstieg der Kühlturmfahne zu simulieren. Da sich der Aufstieg der Fahne gegenüber den früheren Experimenten erhöht hatte, konnte mit dem Modell nur ein verminderter Aufstieg berechnet werden. Trotzdem wurden die Überlagerungsrechnungen mit dem Modell durchgeführt. Dabei stellte sich heraus, daß die Abgasfahne stärker in die Kühlturmfahne eingesaugt wird als bei den Wind-

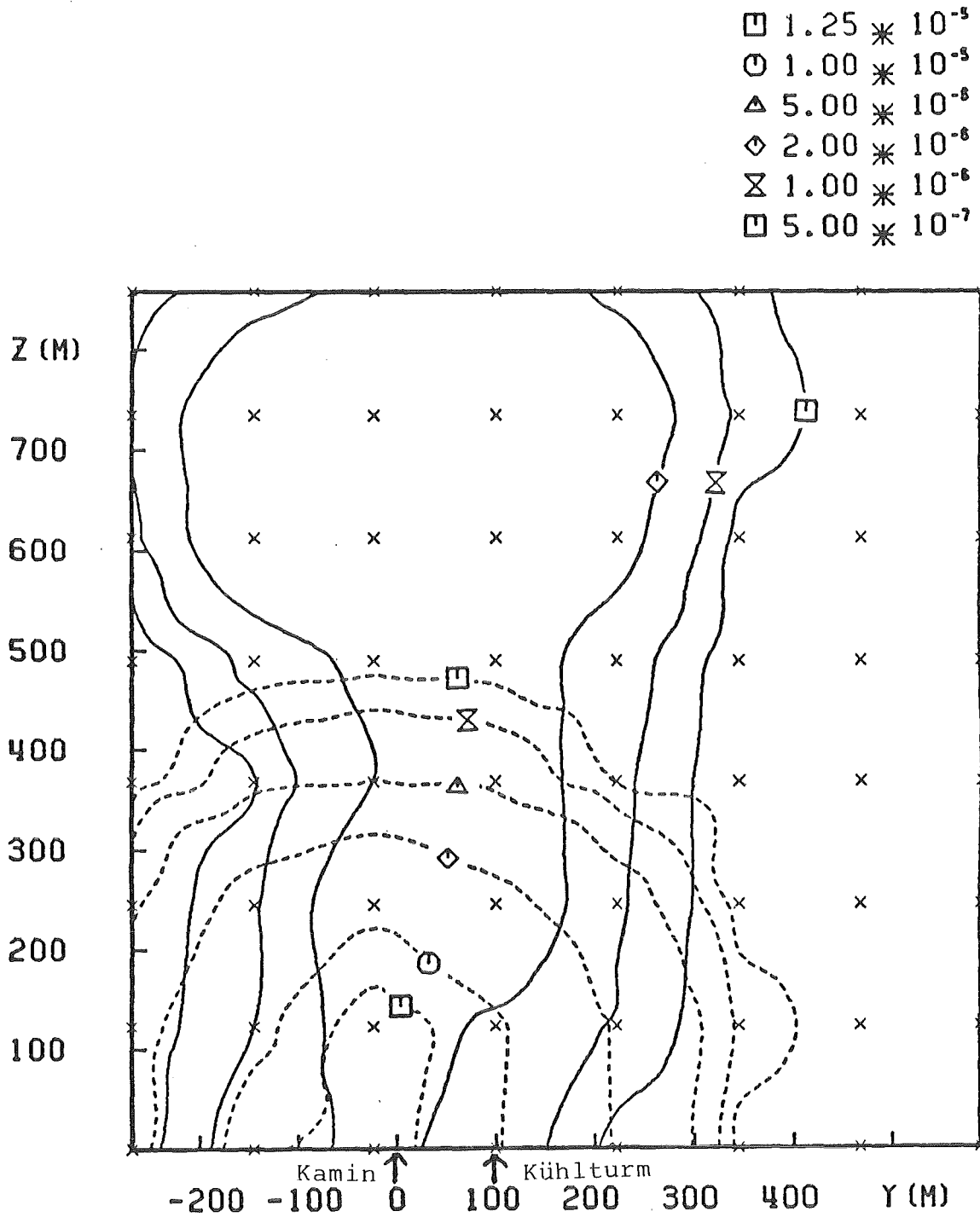


Abb. 2: Linien gleichen Stackfaktors bei $x_s = 3.000$ m. Schornstein 100 m querab vom Kühlturm. Kühlturm nicht in Betrieb (gestrichelte Linie). Kühlturm in Betrieb (durchgezogene Linie).

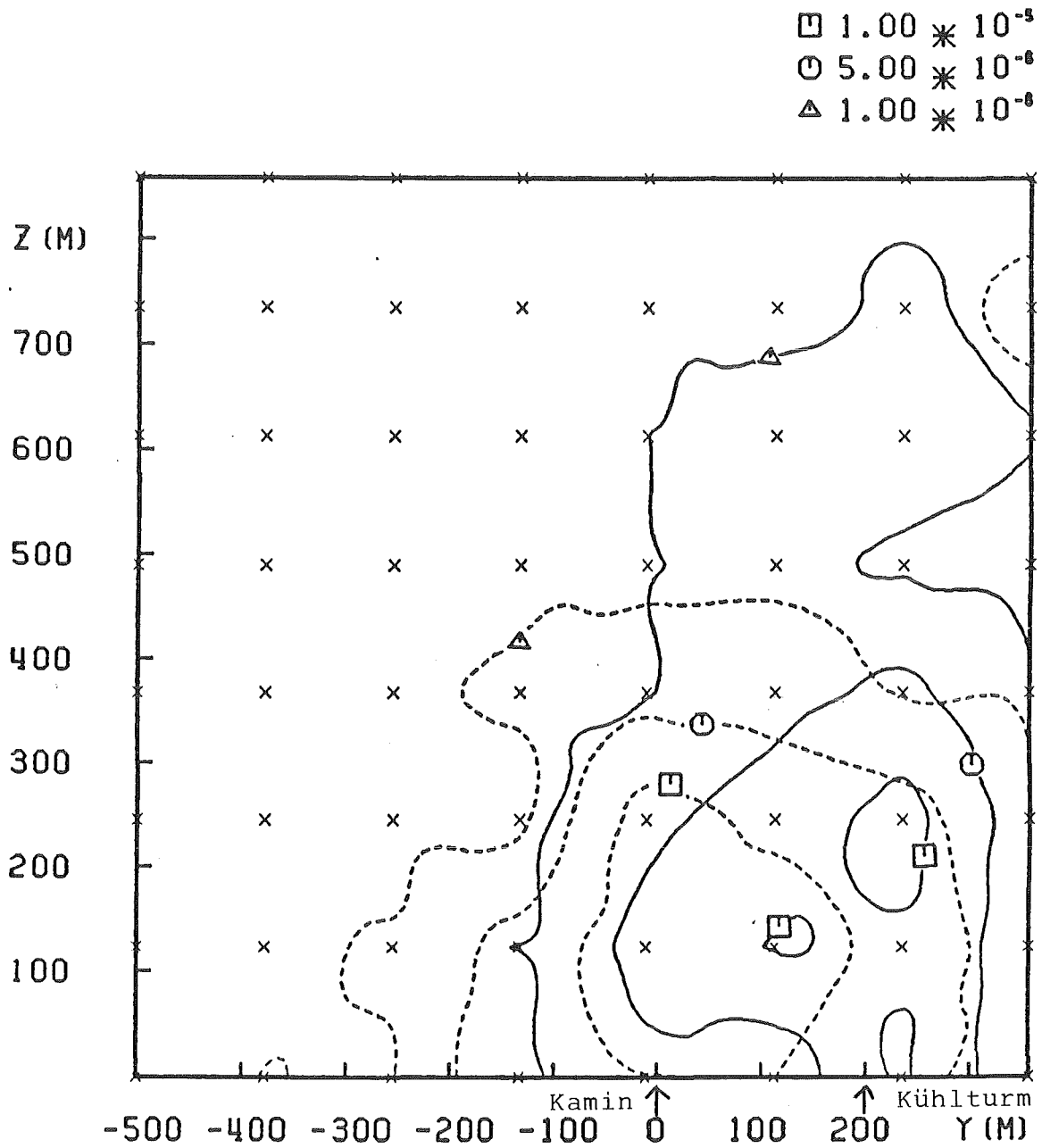


Abb. 3: Linien gleichen Stackfaktors bei $x_s = 3.000$ m. Schornstein 200 m querab vom Kühlturm.
Kühlturm nicht in Betrieb (gestrichelte Linie).
Kühlturm in Betrieb (durchgezogene Linie).

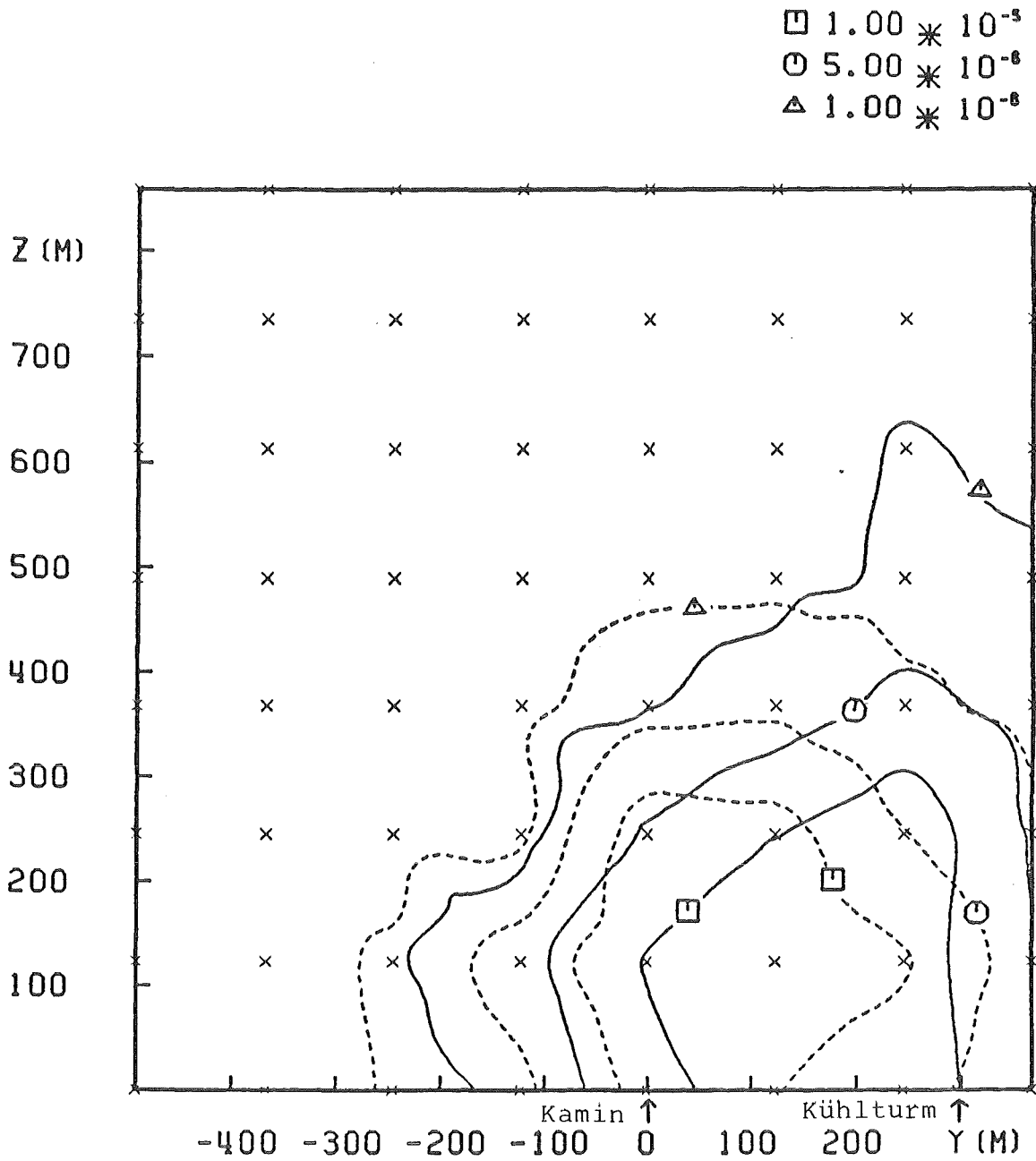


Abb. 4 : Linien gleichen Stackfaktors bei $x_s = 3.000$ m. Schornstein 300 querab vom Kühlturm.
Kühlturm nicht in Betrieb (gestrichelte Linie).
Kühlturm in Betrieb (durchgezogene Linie).

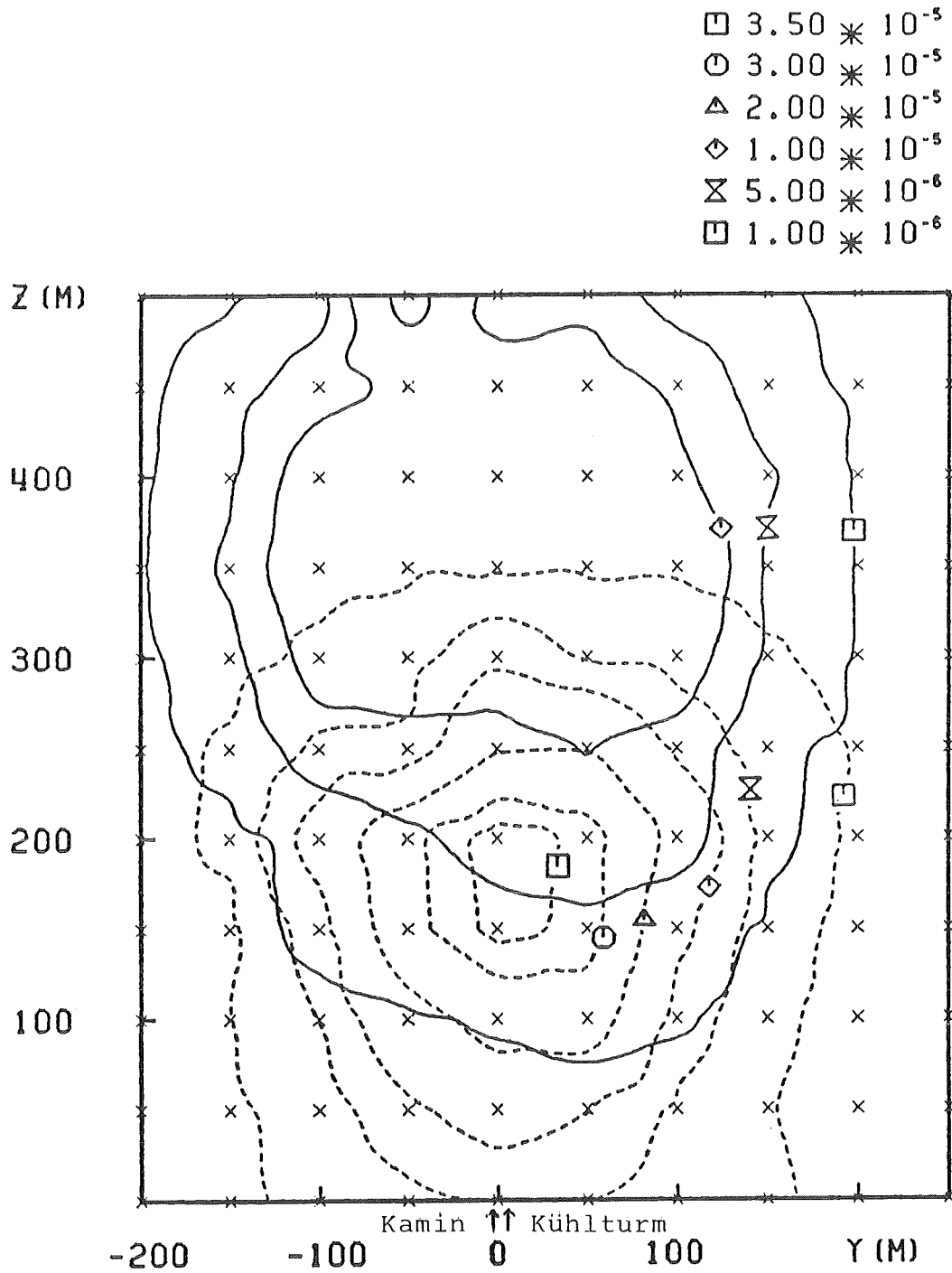


Abb. 5: Linien gleichen Stackfaktors bei $x_s = 1.000$ m. Schornstein 300 im Luv vom Kühlturm.
Kühlturm nicht in Betrieb (gestrichelte Linie).
Kühlturm in Betrieb (durchgezogene Linie).

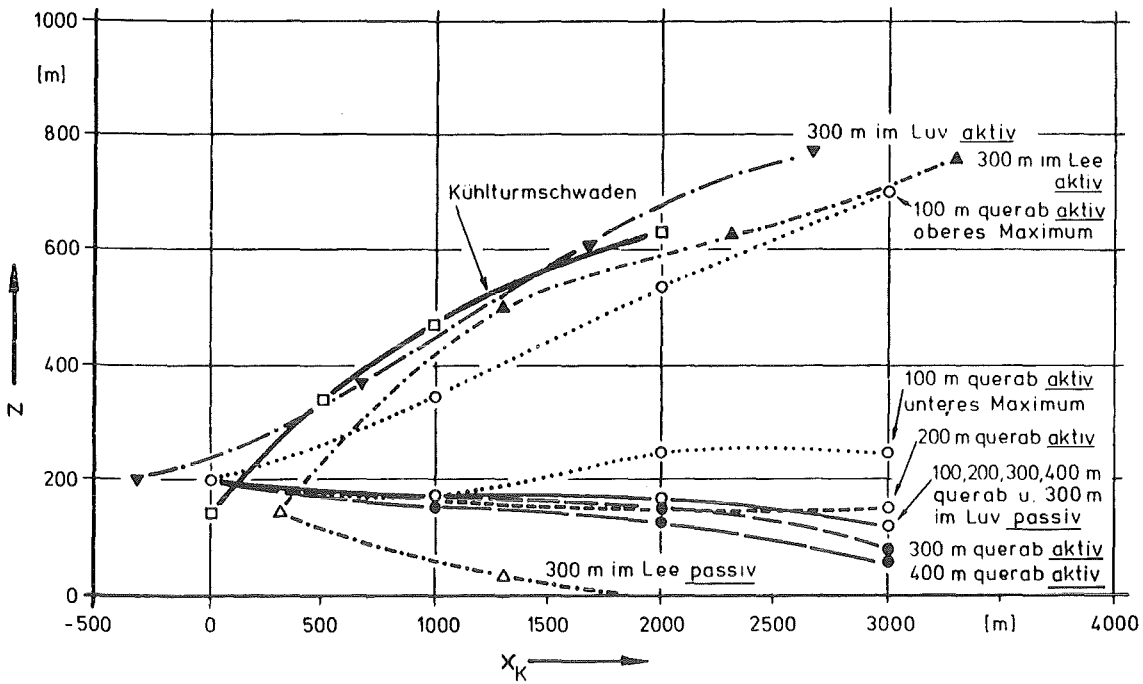


Abb. 6: Vergleich der Höhen der Trajektorien der Rauchgasfahnen und des Kühlturmschwadens bei aktivem und passivem Kühlturm.

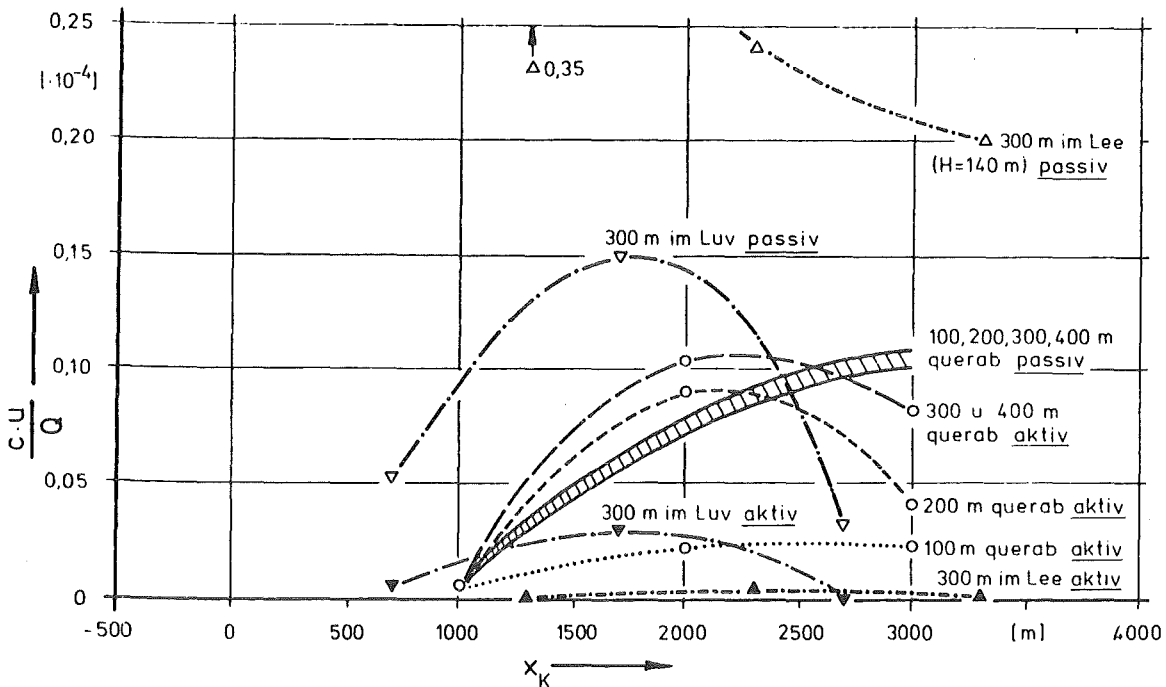


Abb. 7: Änderung der Bodenkonzentrationen im Lee der Schornsteinposition bei aktivem und passivem Kühlturm. (Werte entnommen aus Tab. A4 - A51)

kanalversuchen. Dies bedeutet, daß die Ausdehnung des Doppelwirbels im Modell wesentlich größer sein muß als im Windkanal. Eine Reduktion der induzierten Turbulenz in der Kühlturmfahne brachte keine wesentliche Verbesserung. Aus diesem Grund wurden für diesen Vergleich im Modell WALKÜRE die Ansätze für die Strömung modifiziert. Anstelle der Vorticity wurden die Geschwindigkeiten direkt berechnet. Eine Gleichung für die Horizontalgeschwindigkeit wurde ebenfalls eingeführt. Dabei wurden die Geschwindigkeiten v und w senkrecht zur Transportrichtung ohne Druckterm gelöst und anschließend mit Hilfe der Kontinuitätsgleichung korrigiert. Da sich die Diffusionsterme in dieser Gleichung aufgrund der gleichmäßigen Verteilung der Geschwindigkeit anders als in der alten Version auswirken, konnte durch eine entsprechende Verringerung der induzierten Turbulenz eine geringere Ausdehnung der Fahne und ein größerer Aufstieg erreicht werden. Damit konnte das bisherige Modell verbessert werden. Bereits der Vergleich mit den Messungen in der Kühlturmfahne in Philippsburg (Nester, Hübschmann (1984)) hat gezeigt, daß das Modell WALKÜRE einen etwas zu geringen Fahnenaufstieg berechnet.

Der Vergleich mit den Messungen im Windkanal hat deutlich gemacht, daß eine realistische Aufstiegs- und Ausbreitungsrechnung über einen Ansatz mittels Diffusionskoeffizienten kaum möglich ist. Verwendet man Diffusionskoeffizienten, die der Verbreiterung der Fahne im zeitlichen Mittel entsprechen, erhält man einen zu geringen Aufstieg der Fahne. Berechnet man dagegen durch Verminderung der Diffusionskoeffizienten den Aufstieg richtig, ist die Fahne kompakter als bei den Versuchen. Es wäre deshalb erforderlich, die Fluktuationen, die die Fahne insgesamt verschieben, in einem nachgeschobenen Rechengang zu berücksichtigen. Bei den nachfolgend dargestellten Ergebnissen ist dies noch nicht geschehen, da die dafür notwendigen Untersuchungen aus Zeitgründen nicht mehr durchgeführt werden konnten.

Zum Vergleich zwischen Modell und Experiment wurden die bereits im vorigen Kapitel dargestellten Fälle ausgewählt. Die ausgezogene Kurve entspricht den ausgezogenen Linien der Abbildungen 2 bis 5. Die gestrichelten Isolinien stellen das Modellergebnis dar.

Abbildung 8 zeigt, daß bei einem Abstand von 100 m zwischen Kühlturm und Abgasfahne in 3000 m Entfernung vom Kamin die Form der Konzentrationsverteilung gut wiedergegeben wird. Die berechnete Fahne ist aus den genannten Gründen im oberen Teil kompakter als die gemessene Fahne.

Bei den Abständen von 200 m und 300 m (Abbn. 9 und 10) ist die Übereinstimmung zwischen Rechnung und Messung gut, wenn man bedenkt, daß die Unsicherheit der Windkanalmessungen zwischen 10 % und 20 % liegt. Befindet sich der Kamin 300 m im Luv des Kühlturms (Abb. 11) wird bei der Rechnung die Abgasfahne ebenfalls in die Kühlturmfahne eingesaugt. Die im Windkanal gemessene Ausdehnung der Konzentrationsverteilung im unteren Teil der Fahne wird durch das Modell auch simuliert. Im Zentrum der Fahne liefert das Modell aus den bereits genannten Gründen eine kompaktere Fahne und damit eine höhere Maximalkonzentration.

3.3 Modellrechnungen zur dynamischen Wechselwirkung von Kühlturmfahnen und Abgasfahnen mit Auftrieb

3.3.1 Modellvorgaben

Für die Rechnungen mit einer auftriebsbehafteten Abgasfahne wurde von Bedingungen für einen modernen Braunkohlekraftwerksblock ausgegangen. Die entsprechenden Daten wurden vom TÜV Rheinland freundlicherweise zur Verfügung gestellt. Die Quellstärke wurde beliebig gewählt.

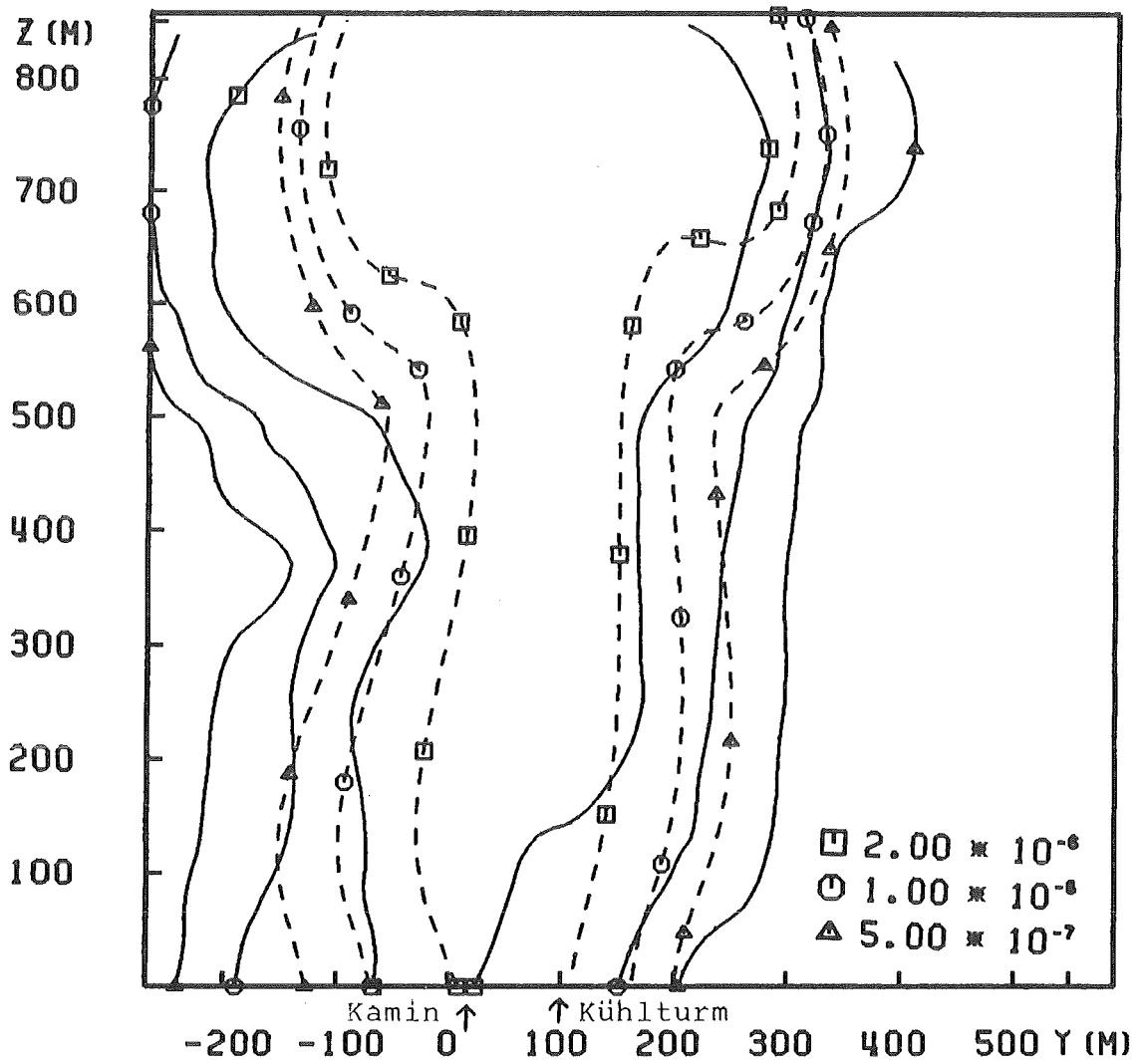


Abb. 8: Linien gleichen Stackfaktors bei $x_s = 3000$ m.
Schornstein 100m querab vom Kühlturm
—— Windkanalmessung
----- Modellrechnung

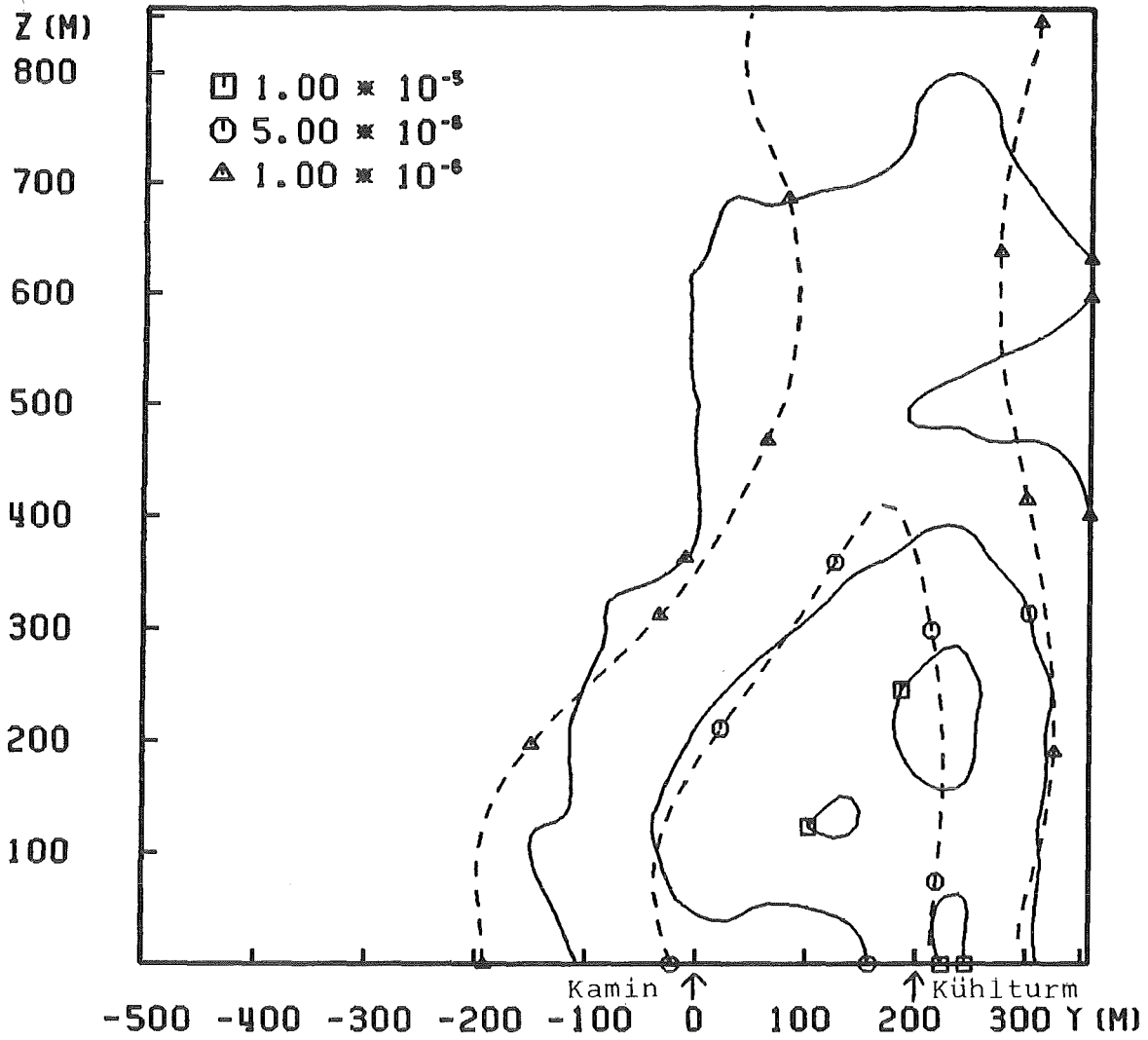


Abb. 9: Linien gleichen Stackfaktors bei $x_s = 3000$ m,
Schornstein 200m querab vom Kühlturm
—— Windkanalmessung
----- Modellrechnung

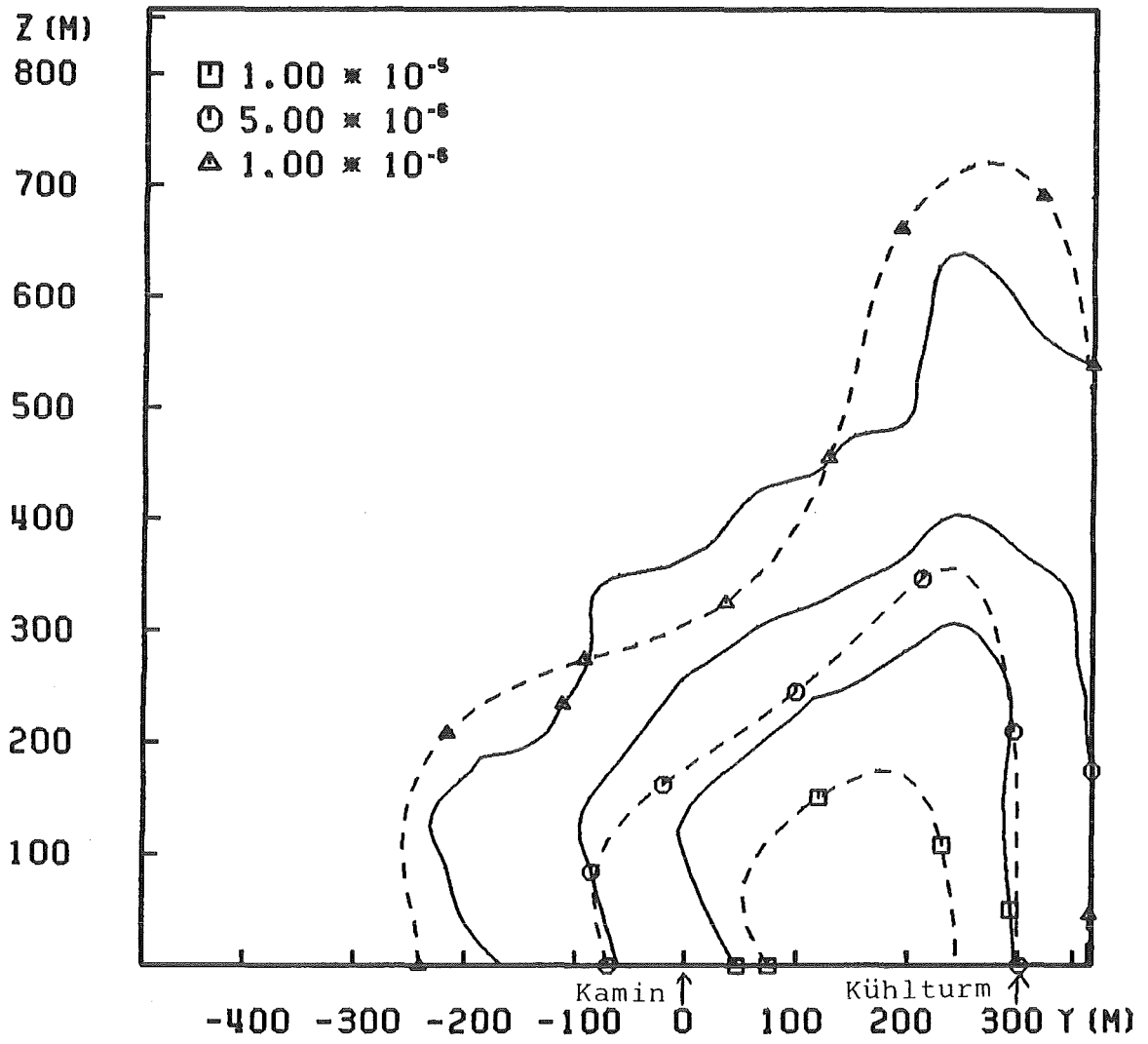


Abb. 10: Linien gleichen Stackfaktors bei $x_s = 3000$ m.
Schornstein 300 m querab vom Kühlturm
—— Windkanalmessung
----- Modellrechnung

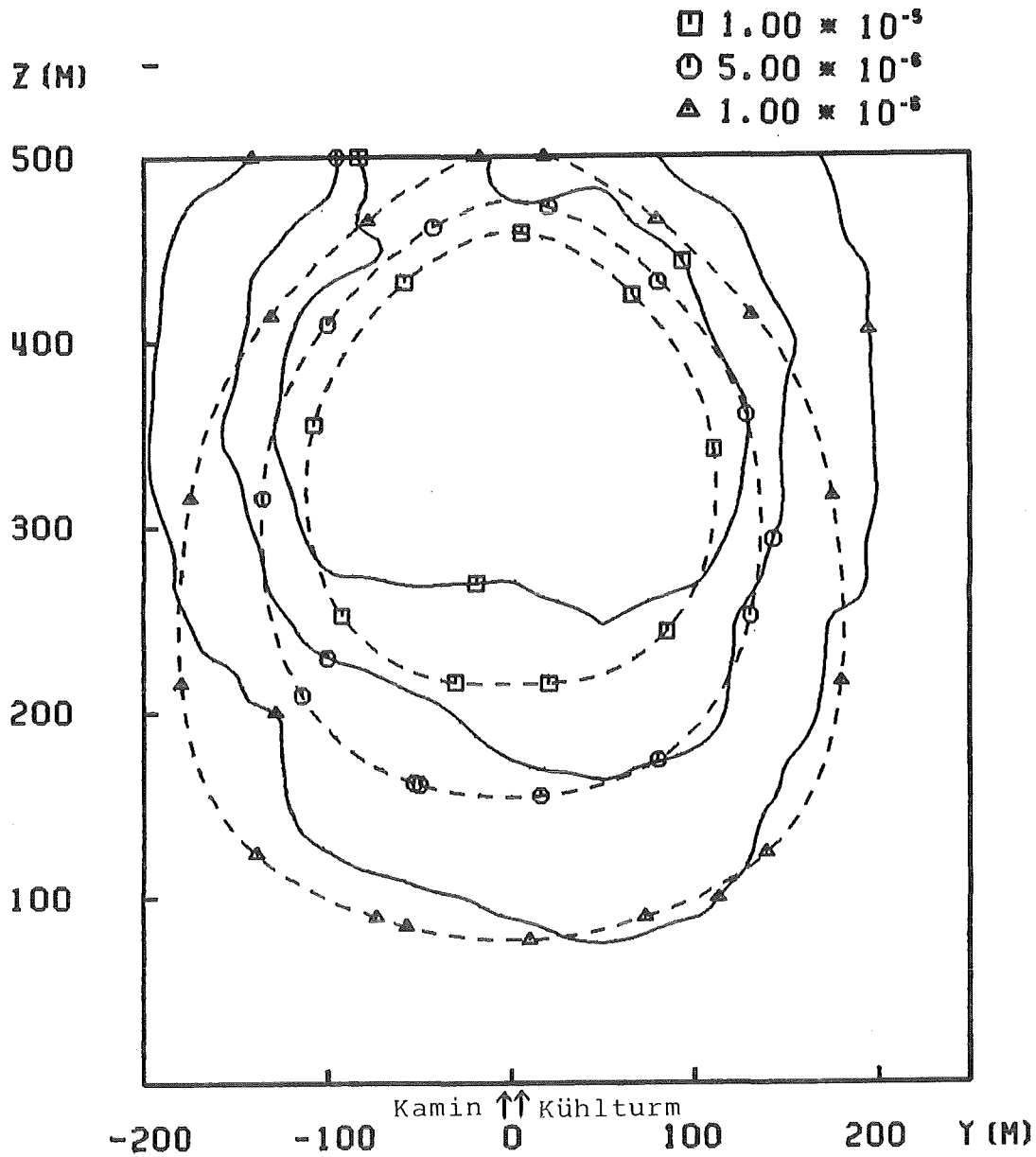


Abb. 11: Linien gleichen Stackfaktors bei $x_s = 1000$ m.
Schornstein 300 m im Luv vom Kühlturm.
—— Windkanalmessung
----- Modellrechnung

Die Kamindaten lauten:

Kaminhöhe	170 m
Austrittstemperatur	433 K
Austrittsgeschwindigkeit	20 m/s
Austrittsfläche	65 m ²
Quellstärke	51,48 kg/s

Die entsprechenden Daten für den Kühlturm sind:

Kühlturmhöhe	130 m
Austrittsdurchmesser	60 m
Austrittstemperatur	299,2 K
Austrittsgeschwindigkeit	4,5 m/s
Leistung des Kühlturms	850 MW

Als meteorologische Daten wurden verwendet:

Umgebungstemperatur:	283,2 K
Temperaturgradient	- 0,7 K/100 m bzw. 0,9 K/100 m
Umgebungsfeuchte	65 %
Windgeschwindigkeit	5 m/s
Ausbreitungsbedingungen:	neutral bzw. leicht labil

Die Ausbreitungsparameter, aus denen die Umgebungsdiffusionskoeffizienten bestimmt werden, wurden dem 180-m-Datensatz der Karlsruher Ausbreitungsexperimente entnommen (Kiefer u. a. (1980)). Der jeweilige Wert für das σ_y wurde um den Faktor 2 vermindert, um einen Teil der langwelligen Bewegung der Fahne und Schereffekte zu eliminieren. Diese Effekte spielen bei der Überlagerung der Fahnen keine Rolle; sind aber in den aus Messungen am Boden abgeleiteten σ_y -Parametern enthalten. Der

Faktor 2 wurde einer Untersuchung von Snell und Jubach (1981) entnommen. Dieser Faktor entspricht auch etwa dem Unterschied zwischen dem σ_y aus den Windkanalversuchen und den Werten aus den Karlsruher und Jülicher Ausbreitungsexperimenten (s. Anhang D). Zur realistischen Abschätzung der Bodenkonzentrationsverteilung muß der vernachlässigte Anteil an der Streuung σ_y durch eine entsprechende Variation der berechneten Bodenkonzentration wieder berücksichtigt werden. Dies wurde allerdings nicht durchgeführt, da auch bei den Rechnungen ohne Kühlturmeinfluß der verminderte σ_y -Wert verwendet wurde und es nur auf den Vergleich ankommt.

Während des Aufstiegs der Abgasfahne spielt für deren Ausbreitung die induzierte Turbulenz die Hauptrolle. Von der atmosphärischen Turbulenz ist nur der Anteil von Bedeutung, der zur Relativbewegung beiträgt. Näherungsweise läßt sich für das σ_r der relativen Streuung der Ansatz

$$\sigma_r^2 = \frac{\sigma_a^3}{L} \text{ für } \sigma_r \leq \sigma_a \quad (14a)$$

$$\sigma_r = \sigma_a \text{ für } \sigma_r > \sigma_a \quad (14b)$$

machen, wobei σ_a die absolute Streuung bedeutet, L ist die Lagrange'sche Austauschlänge. Da Angaben über diese Länge für die verschiedenen Ausbreitungsbedingungen (Kategorien) nur spärlich vorhanden sind, wurde vorerst davon ausgegangen, daß sich das σ_r von dem der Absolutbewegung nur bis in 1 km Entfernung vom Kamin unterscheiden soll. Bis zu dieser Entfernung ist in den meisten Fällen der größte Teil des Fahnenaufstiegs abgeschlossen, wo der Unterschied zwischen Relativ- und Absolutbewegung der Fahne die wesentlichste Rolle spielt. Da für die zuvor angegebenen Emissionsbedingungen am Kamin merkliche Bodenkonzentrationen erst in Entfernungen von mehr als 1 km auftreten, hat diese Festlegung darauf keinen Einfluß.

Die verwendeten Parameter lauten somit:

$$\begin{aligned}\sigma_y &= \sigma_{ry} & \text{für } x \leq 1000 \text{ m} \\ \sigma_z &= \sigma_{rz}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_z &= \sigma_{ay} & \text{für } x > 1000 \text{ m} \\ \sigma_z &= \sigma_{az}\end{aligned}$$

wobei im neutralen Fall

$$\begin{aligned}\sigma_{ay} &= 0,104 \quad x^{0,903} \\ \sigma_{az} &= 0,307 \quad x^{0,734} \\ \sigma_{ry} &= 0,00474 \quad x^{1,355} \\ \sigma_{rz} &= 0,0243 \quad x^{1,101}\end{aligned}$$

und im labilen Fall

$$\begin{aligned}\sigma_{ay} &= 0,116 \quad x^{0,903} \\ \sigma_{az} &= 0,104 \quad x^{0,997} \\ \sigma_{ry} &= 0,00511 \quad x^{1,355} \\ \sigma_{rz} &= 0,00332 \quad x^{1,496}\end{aligned}$$

gilt.

3.3.2 Modellergebnisse

3.3.2.1 Schadstoffkonzentration am Boden in Abhängigkeit vom seitlichen Abstand zwischen Kamin - Kühlturm

Bei der Anordnung Kamin direkt im Kühlturm vermindert sich die Bodenkonzentration bei neutraler Schichtung (Kat. D) gegenüber dem Fall ohne Kühlturm deutlich (s. Abb. 12). Beide Fahnen vereinigen sich zu einer Fahne, die höher aufsteigt als die Kaminfahne allein. Die Verminderung ist wesentlich größer als die Zunahme der Bodenkonzentration bei seitlicher Versetzung

des Kamins senkrecht zur Windrichtung. Das Maximum der Bodenkonzentration erhöht sich in diesem Fall nur um etwa 10 %. Der Verlauf der Bodenkonzentration mit der Entfernung vom Kamin unterscheidet sich nicht wesentlich von dem ohne Kühlturm.

Bei seitlicher Versetzung des Kamins findet zu Anfang ein etwas geringerer Aufstieg der Kaminfahne statt. Dieser hat jedoch keinen wesentlichen Einfluß auf die Bodenkonzentration, da die Verbreiterung der Fahne noch zu klein ist. Mit weiter zunehmender Entfernung vom Kamin vereinigen sich dann die beiden Fahnen allmählich. Ihr gemeinsamer Aufstieg ist allerdings geringer als bei der Anordnung ohne seitliche Versetzung. Das Maximum der Bodenkonzentration wird in etwa 10 km Entfernung vom Kamin erreicht. Es verschiebt sich bei neutraler Schichtung im Gegensatz zu den Rechnungen ohne Auftrieb nicht wesentlich zur Quelle hin. Dieser Fall zeigt, daß die dynamische Überlagerung zu keiner nennenswerten Erhöhung der Bodenkonzentration führt. Da dies bei neutralen atmosphärischen Bedingungen bereits der Fall ist, dürfte sich bei stabiler Schichtung an dieser Aussage nichts ändern. Diese meteorologischen Bedingungen tragen allerdings nicht zur quellnahen Bodenkonzentration bei. Daß diese Aussage stark an das Verhältnis Auftrieb zu vertikaler Ausdehnung geknüpft ist, zeigt eine Rechnung, in der der vertikale Diffusionskoeffizient nicht variiert, aber der Auftrieb etwa um den Faktor 10 reduziert wurde. Abbildung 13 enthält das entsprechende Ergebnis. Es ergibt sich die bereits für den Fall ohne Auftrieb beobachtete Verschiebung des Konzentrationsmaximums in Bodennähe zu geringerer Quellentfernung durch die Kühlturmfahne.

Als nächstes wurde der Umgebungsdiffusionskoeffizient erhöht (Kat. C anstelle von D), der ursprüngliche Auftrieb aber unverändert gelassen. Abbildung 14 zeigt das Ergebnis dieser Rechnungen. Im

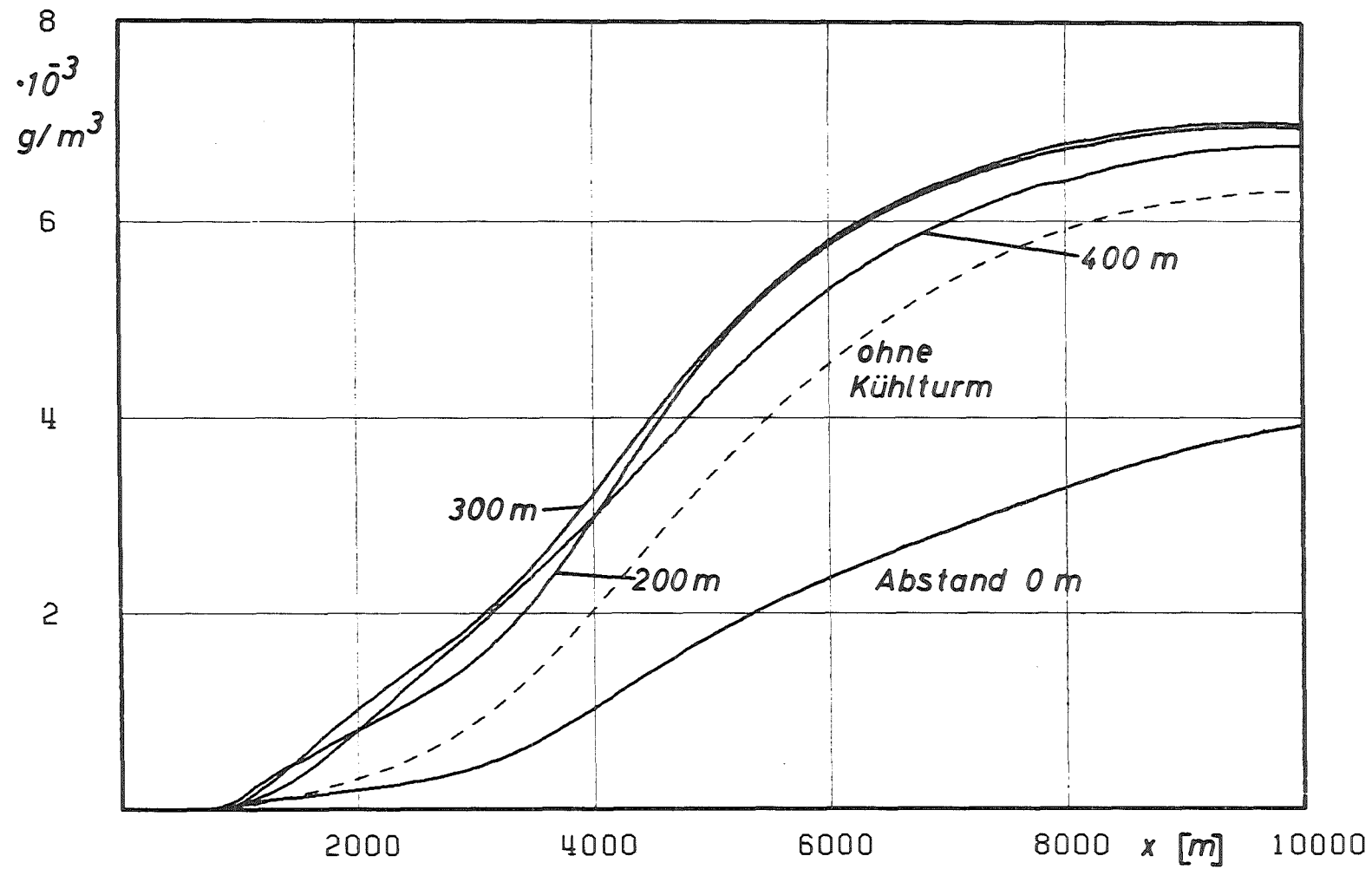


Abb. 12: Bodenkonzentrationsverteilung in Abhängigkeit vom Abstand Kamin - Kühlturm bei neutralen Ausbreitungsbedingungen

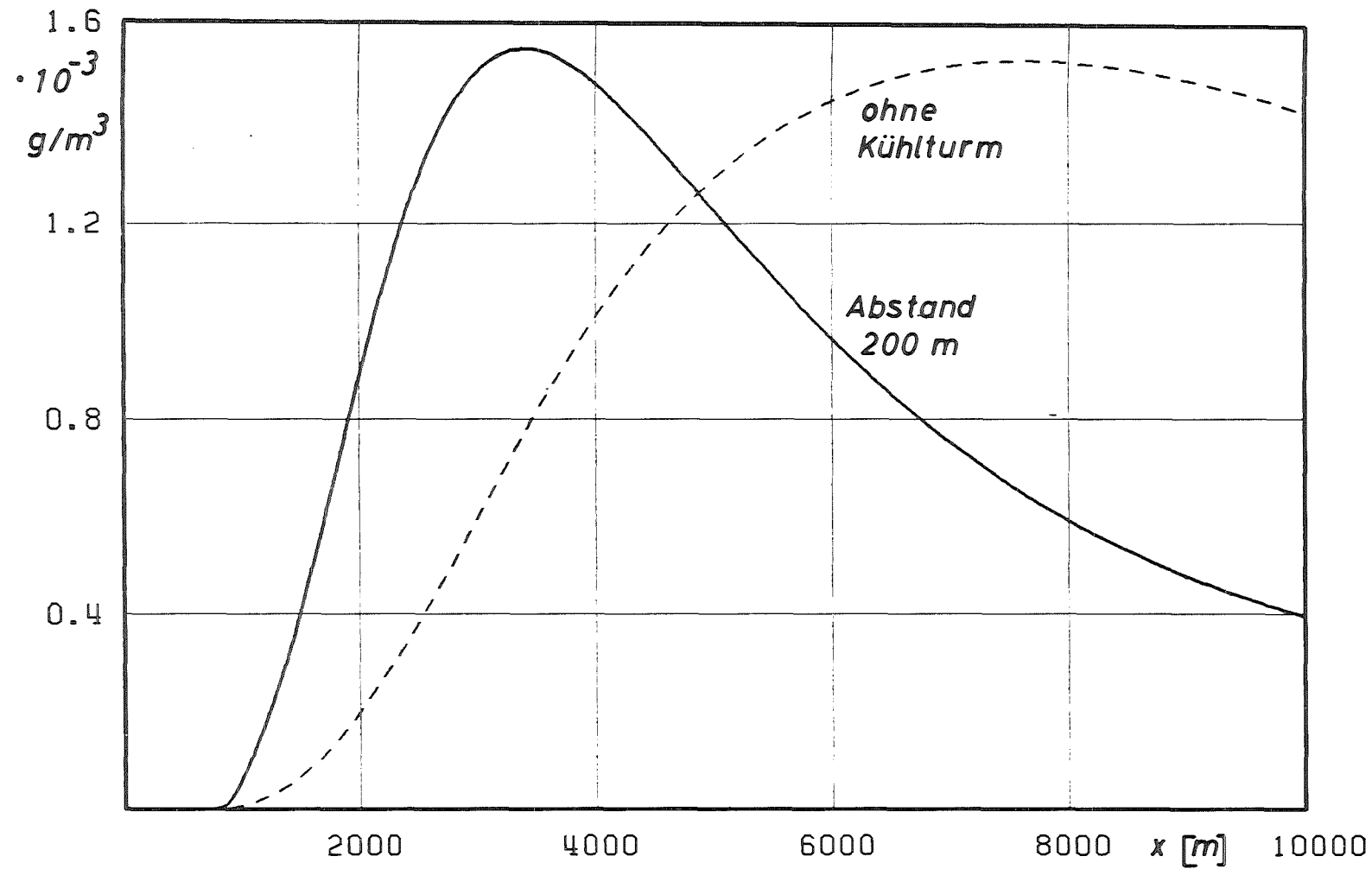


Abb. 13: Bodenkonzentration bei neutralen Ausbreitungsbedingungen mit um den Faktor 10 reduziertem Auftrieb

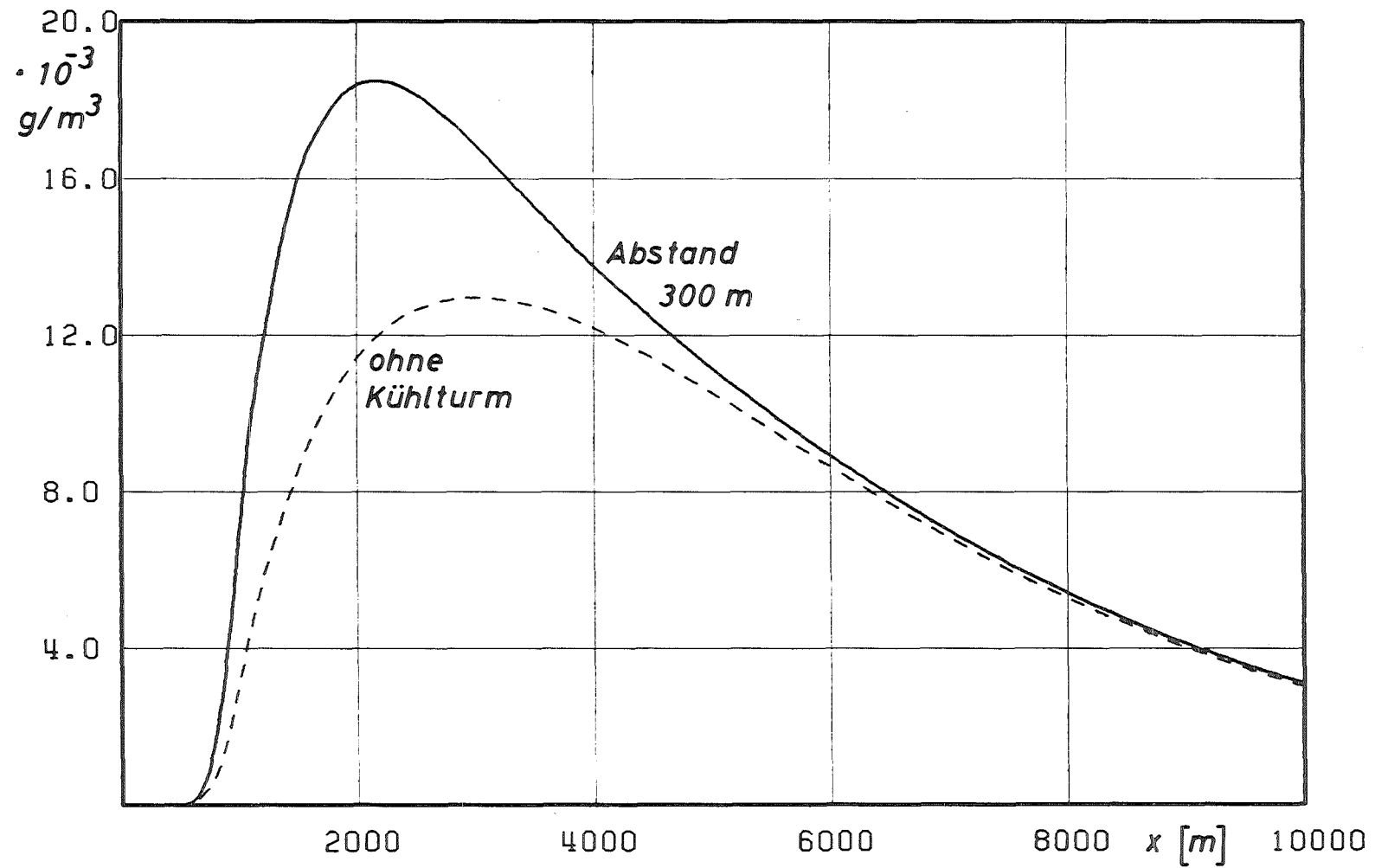


Abb. 14: Bodenkonzentration bei labilen Ausbreitungsbedingungen

Vergleich zu dem Fall ohne Kühlturm erhöht sich das Maximum der Bodenkonzentration bei seitlicher Anordnung des Kamins um maximal 50 % und verlagert sich zur Quelle hin. Dieses Ergebnis zeigt, daß bei labilen meteorologischen Bedingungen in bestimmten Fällen die gegenseitige dynamische Wechselwirkung von Kamin und Abgasfahne einen zu beachtenden Einfluß auf die Bodenkonzentration hervorrufen kann.

3.3.2.2 Querschnitte der Konzentrationsverteilung und der Zirkulation durch die Abgasfahne

Da der Einfluß der Kühlturmfahne auf die Abgasfahne sich nur bei labiler Schichtung wesentlich auf die Bodenkonzentration auswirkt, ist auch nur dieser Fall von Interesse. Zur Veranschaulichung der ungestörten Doppelwirbel in beiden Fahnen dient Abb. 15. Sie zeigt die Quertzirkulation in 200 m Entfernung vom Kamin. Die Konzentrationsverteilung ist noch unbeeinflusst von der Kühlturmfahne. In 1 km Entfernung ist bereits eine Wechselwirkung beider Fahnen in der Konzentrationsverteilung feststellbar, wie Abbildung 16 zeigt. Man erkennt ganz deutlich eine Drehung der vertikalen Achse der Konzentrationsverteilung durch das Einströmen des unteren Teils der Abgasfahne in die Kühlturmfahne. Außerdem wird durch das Absinken am Rand der Kühlturmfahne die Konzentrationsverteilung zum Boden verschoben, was zu einer Konzentrationserhöhung in Bodennähe führt. Daß die Mischung der beiden Fahnen in dieser Entfernung bereits fortgeschritten ist, erkennt man besonders an der Quertzirkulation in Abbildung 17. Nur die beiden äußeren Wirbel der beiden Fahnen sind noch deutlich ausgeprägt. Eine vollkommene Mischung hat bereits nach 2 km eingesetzt. Das geht aus Abbildung 18 hervor. Die Quertzirkulation weist nur noch einen Doppelwirbel auf. Die Konzentrationsverteilung in dieser Ebene ähnelt sehr stark derjenigen in 1 km Entfernung (s. Abb. 19). An der Konzentrationsverteilung ist allerdings zu erkennen, daß die Schadstoffe am rechten oberen Rand

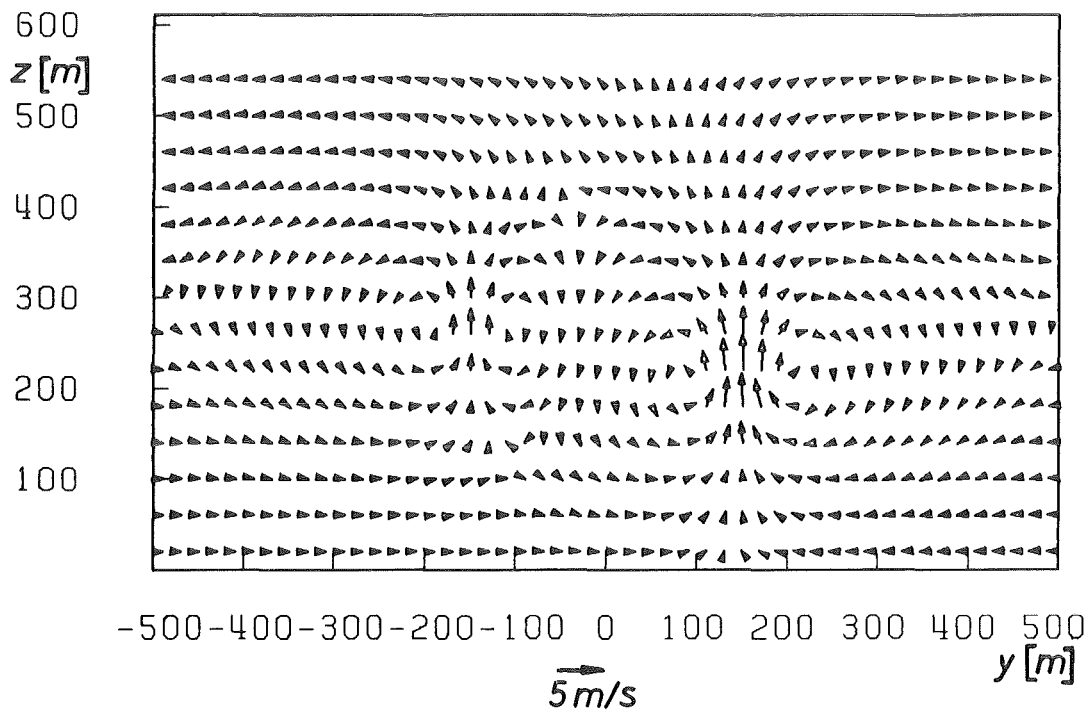


Abb. 15: Doppelwirbelstruktur beider Fahnen in 200 m Entfernung von den Quellen
seitlicher Abstand = 300 m

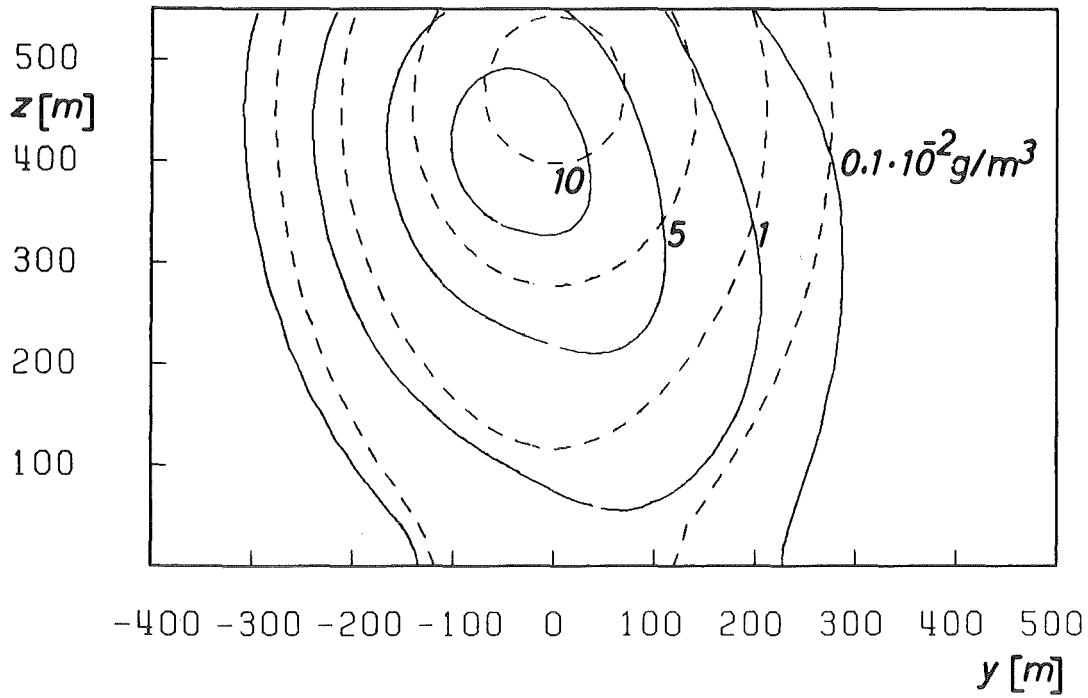


Abb. 16: Konzentrationsverteilung in einem Querschnitt in 1000 m Entfernung von den Quellen

----- ohne Kühlturm-fahneneinfluss
—— mit Kühlturm-fahneneinfluss

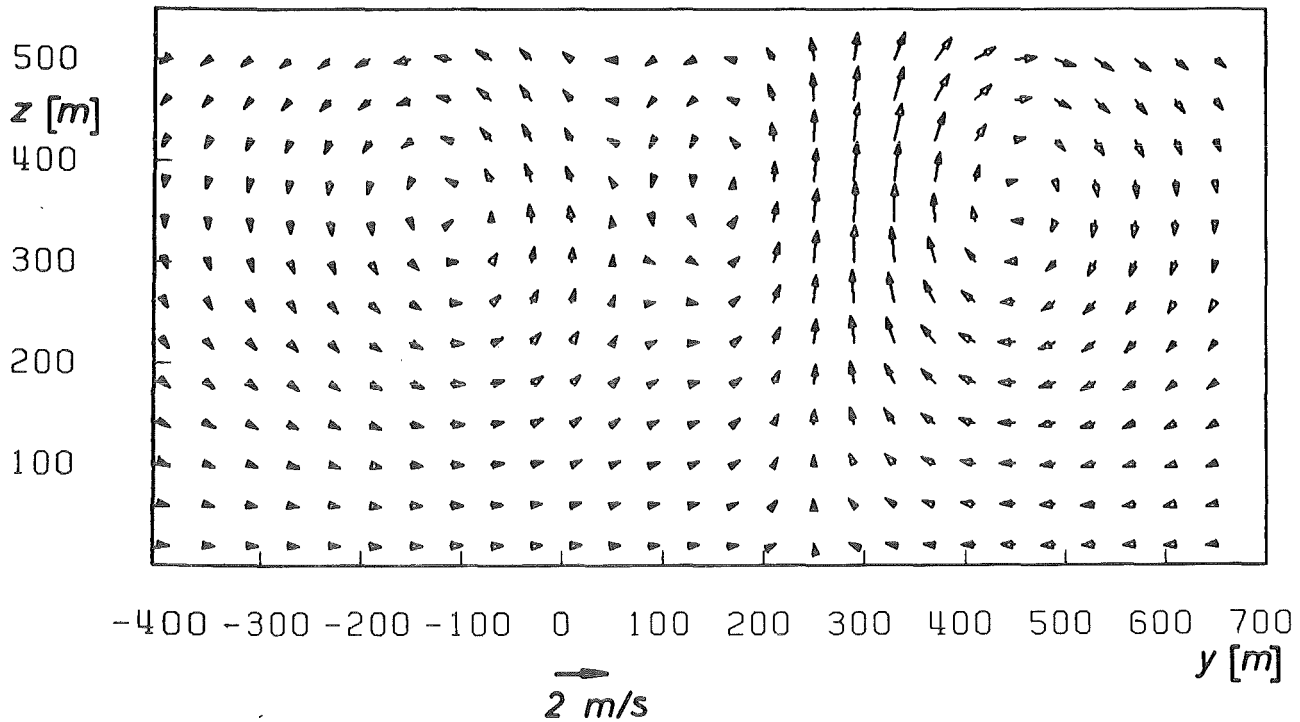


Abb. 17: Querzirkulation beider Fahnen in 1000 m Entfernung von der Quelle

→ 1 m/s

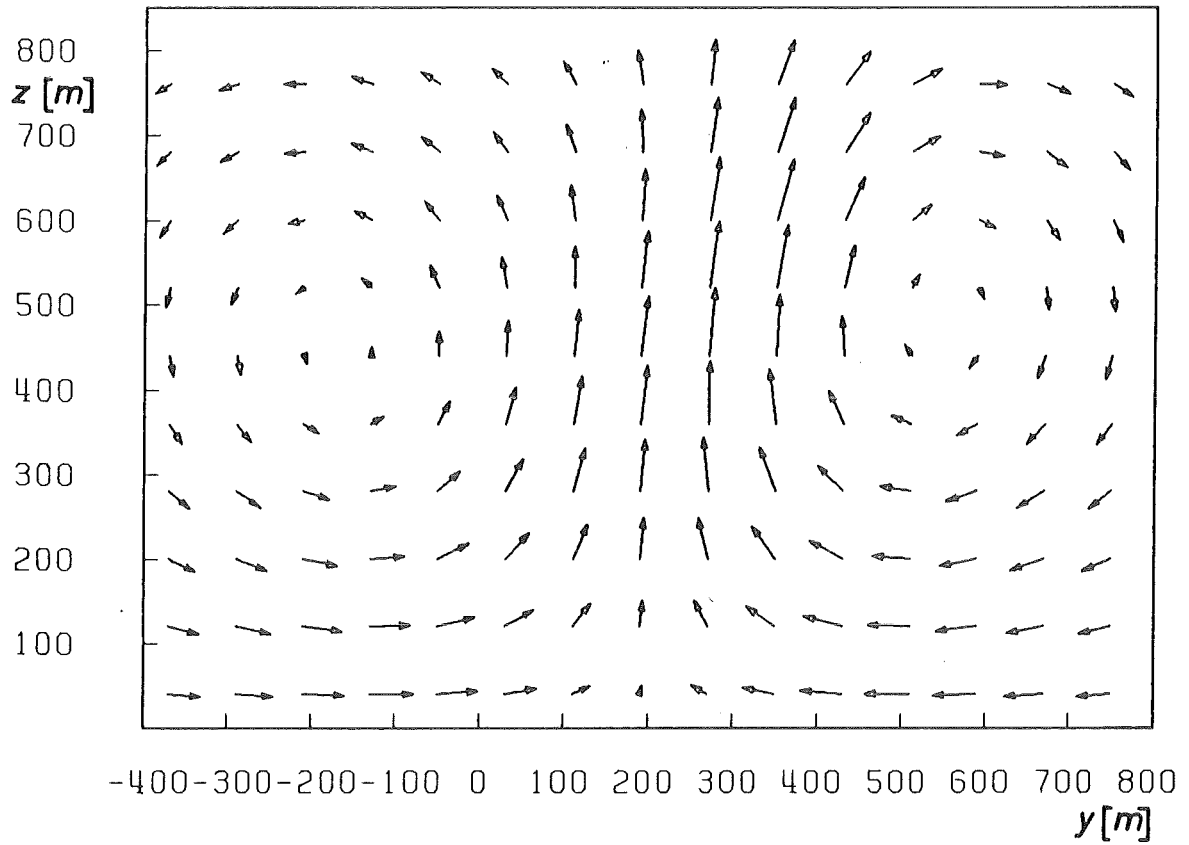


Abb. 18: Quersirkulation in 2000 m Entfernung von den Quellen

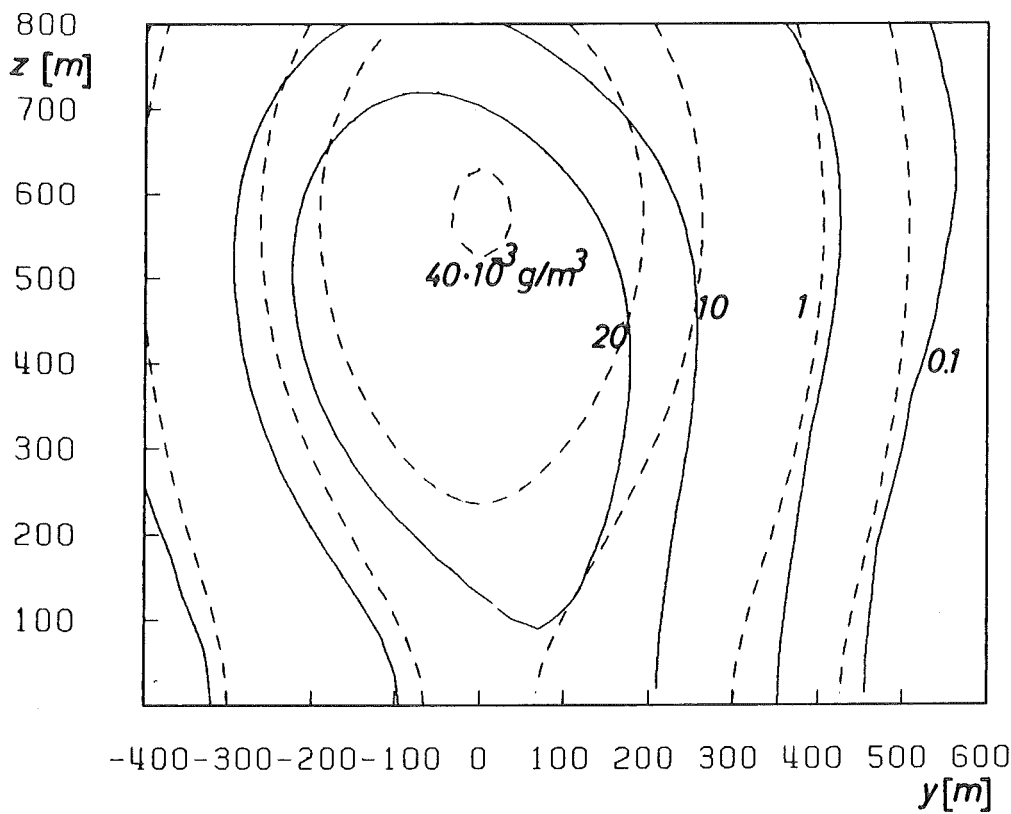


Abb. 19: Konzentrationsverteilung in einem Querschnitt in 2000 m Entfernung von den Quellen

----- ohne Kühlturmfahrneneinfluß
—— mit Kühlturmfahrneneinfluß

durch die Doppelwirbelströmung nach außen transportiert werden. In 5 km Entfernung unterscheiden sich die Fahnen mit und ohne Kühlturmfahneneinfluß nur noch unwesentlich, was Abbildung 20 veranschaulicht.

3.4 Zusammenfassende Bemerkungen

Die erzielten Ergebnisse liefern einen ersten Eindruck von dem Effekt der dynamischen Wechselwirkung von Abgas- und Kühlturmfahnen auf die Bodenkonzentration. Wie die Windkanalversuche zeigen, lassen sich die Auswirkungen der Kühlturmfahne auf die Abgasfahne mit dem Modell recht gut simulieren. Die Ergebnisse zeigen, daß bei auftriebsbehafteten Abgasfahnen die bodennahe Konzentrationsverteilung nicht so stark beeinflußt wird wie bei Abgasen ohne Auftrieb. In beiden Fällen sind die Auswirkungen der Wechselwirkungen beider Fahnen auf die Bodenkonzentration wesentlich von der Anordnung von Kamin und Kühlturm bezüglich der Windrichtung abhängig. Erhebliche Verminderungen der Bodenkonzentration treten dann auf, wenn sich beide Fahnen in unmittelbarer Nähe des Kamins mischen. Dies ist der Fall, wenn die Richtung zwischen Kamin und Kühlturm mit der Windrichtung nahezu übereinstimmt bzw. der Abstand zwischen beiden weniger als 200 m beträgt. Bei größeren seitlichen Abständen erhöht sich die Bodenkonzentration in Bodennähe vor dem Ort des Maximum im ungestörten Fall. Inwieweit sich die gezeigten Effekte auf das Maximum der Langzeitkonzentration auswirken, hängt von der Anordnung, Höhe und Abwärmeleistung beider Emittenten sowie den meteorologischen Ausbreitungsbedingungen ab. Sie sind an jedem Standort verschieden und lassen sich nur im jeweiligen Fall beantworten.

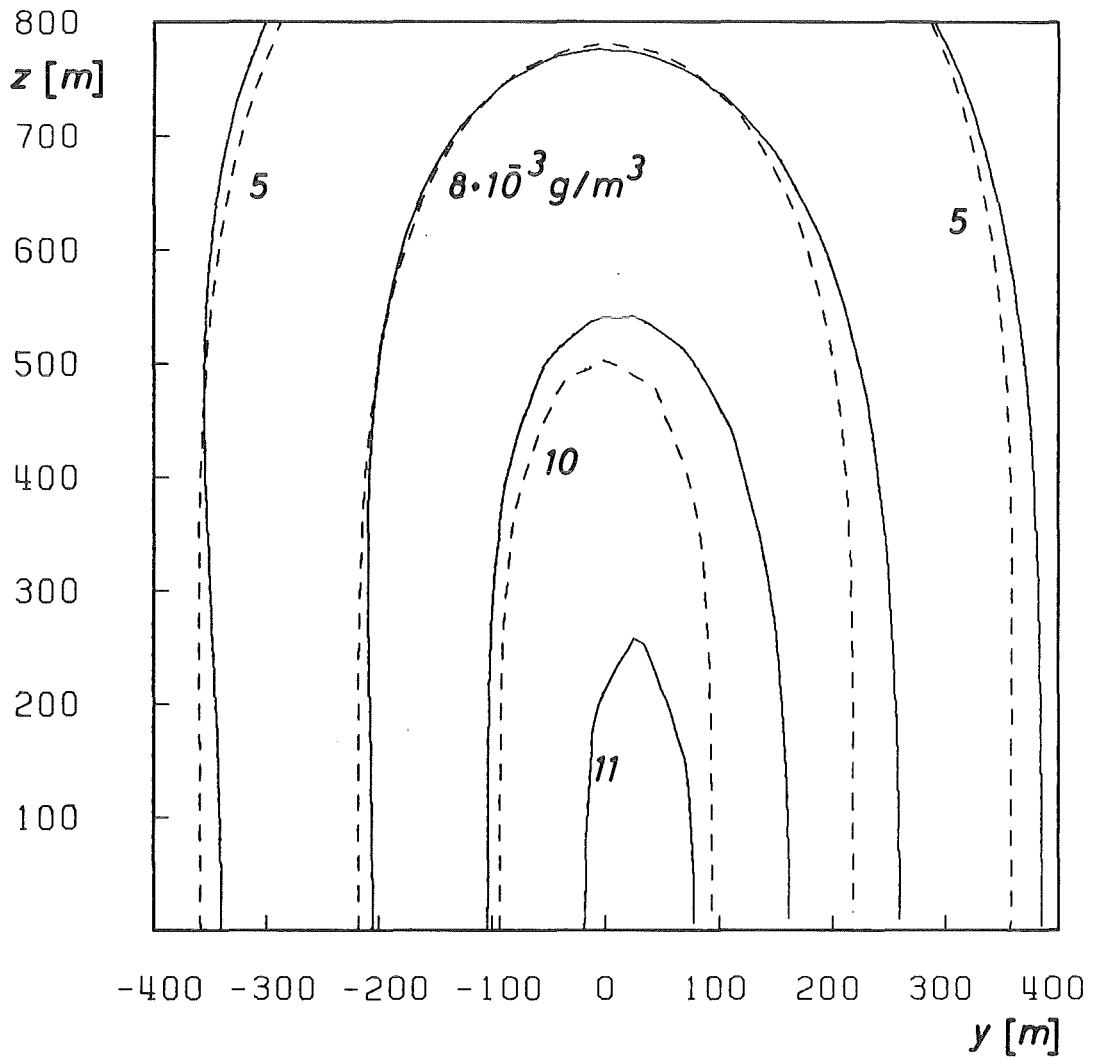


Abb. 20: Konzentrationsverteilung in einem Querschnitt in 5000 m Entfernung von den Quellen

4. Chemische Wechselwirkungen zwischen Abgasfahne und Kühlturmfahne

4.1 Vorbemerkungen

Die Konzentration von Schadstoffen in der Atmosphäre wird auch von den chemischen Umwandlungen während des Transports der Schadstoffe in der Atmosphäre bestimmt. Dabei entstehen sekundäre Verbindungen, deren Wirkung oft diejenige der primär emittierten Stoffe übersteigt. Ein wichtiger Schadstoff dieser Art ist das SO_2 . Feldexperimente von Dittenhoefer (1979) haben gezeigt, daß besonders bei hohen Feuchten in der Atmosphäre Abbauraten von SO_2 auftreten können, die mehr als 5 %/h betragen. Solche Bedingungen sind z. B. gegeben, wenn die Abgasfahne in eine Wolkendecke eindringt oder sich mit einer Kühlturmfahne mischt. Die hohen Abbauraten von SO_2 in derart vermischten Rauchfahnen von Kohlekraftwerken lassen sich durch heterogene Oxidationsprozesse erklären, die auf Flugascheteilchen ablaufen, die mit dem SO_2 emittiert werden. Erst in größerer Entfernung von der Quelle und bei hoher Sonneneinstrahlung überwiegen die homogenen Oxidationsprozesse.

4.2 Das Modell WALKÜRE-C

Das dreidimensionale Kühlturmfahnenmodell WALKÜRE wurde weiterentwickelt, so daß es nicht nur den Aufstieg und die Ausbreitung von SO_2 in einer Abluftfahne simuliert, sondern auch Ansätze zur Behandlung des Abbaus von SO_2 und zur Sulfatpartikelbildung enthält. Dabei werden sowohl homogene als auch heterogene Reaktionen berücksichtigt.

In diesem Modell, WALKÜRE-C genannt, kommen zu den Differentialgleichungen des dynamischen Modells folgende Gleichungen hinzu:

- Bilanzgleichung für SO_2
- Bilanzgleichung für nichtreaktive Gase und Partikel
- Produktionsgleichung für Sulfat durch homogene Oxidationsprozesse
- Produktionsgleichung für Sulfat durch heterogene Oxidationsprozesse auf Partikeln und in Tropfen

Insgesamt werden jetzt elf partielle Differentialgleichungen gelöst, die teilweise miteinander gekoppelt sind. Die Lösung dieser Gleichungen erfolgt entsprechend den Algorithmen, die in WALKÜRE Verwendung finden. Nähere Angaben darüber sind in der Programmbeschreibung in Anlage A enthalten. Weitere Angaben über das chemische Modell sind im Anhang B gegeben.

4.2.1 Der Ansatz für die homogenen Oxidationsprozesse

Die homogene Oxidation von SO_2 wird hauptsächlich durch OH-Radikale bewirkt. Deshalb wird der Ansatz

$$\frac{d}{dt} [\text{SO}_4^{2-}]_h = k_4 [\text{SO}_2] [\text{OH}] \quad (15)$$

gemacht.

Die Konzentration von OH in Abgasfahnen wird durch verschiedene gekoppelte Reaktionen mit Wasserdampf, Kohlenwasserstoffen, Ozon, NO_x und SO_2 bestimmt. Entscheidend für die Oxidation ist die Produktion von OH in der Fahne. Die Einmischung aus der Umgebung in die Fahne spielt wegen der geringen OH-Lebensdauer dagegen eine wesentlich geringere Rolle. Zur Berechnung der Reaktionen wurde von einem Schema ausgegangen, das von Cocks und Fletcher (1979) aufgestellt wurde. Allerdings wurden hier nur dominante Reaktionen berücksichtigt. Dazu wurden die Reaktionsraten herangezogen, die für die Einstrahlungsbedingungen am 1. August, 50°N und wolkenloser Himmel, angegeben

waren. Dies sind Bedingungen, bei denen die Photolyserate einen hohen Wert erreicht. Unter der Annahme, daß die Reaktionen sehr schnell ablaufen und sich die Konzentrationen damit in einem Gleichgewicht befinden, kann die OH-Konzentration analytisch angegeben werden.

$$[\text{OH}] = \frac{k_1 [\text{HCHO}] + k_2 [\text{RCHO}]}{k_3 [\text{NO}_x] + k_4 [\text{SO}_2] + k_5 [\text{RH}] - k_6 [\text{HCHO}]} \quad (16)$$

[X] = Konzentration des Stoffes x

k_i sind Reaktionskonstanten, wobei die Werte

k_1 und k_2 von der UV-Strahlung abhängen.

Die Zahlenwerte für die k_i wurden der Arbeit

von Cocks und Fletcher (1979) entnommen.

Die Gleichung gilt, wenn $\text{NO} > \text{NO}_2$, weil dann die Reaktion mit O_3 vernachlässigbar ist.

Das Gasgemisch NO_x wird in Quellnähe als inert für die OH-Produktion angesehen. Die Konzentrationen der Kohlenwasserstoffe RCHO, HCHO und RH werden in erster Näherung innerhalb und außerhalb der Rauchfahnen als konstant vorausgesetzt. Dieser Ansatz für die homogenen Oxidationsprozesse ist eine grobe Näherung für die sehr komplexen chemischen Reaktionsvorgänge in einer Abgasfahne. Er ähnelt einem Ansatz von Fisher (1984). Solche Näherungen haben den Zweck, die Sulfatbildung durch homogene Oxidation richtig abzuschätzen. Sie sind ein Kompromiß zwischen der sehr aufwendigen Behandlung einer Vielzahl von Reaktionsgleichungen und der Annahme einer konstanten Abbaurate von SO_2 .

4.2.2 Der Ansatz für heterogene Oxidationsprozesse von SO_2 auf Partikeln

Die heterogenen Sulfatbildungsraten auf Flugascheteilchen in feuchter Luft wurden in einer Vielzahl von Experimenten in verschiedenen Reaktionskammern des Laboratoriums für Aerosol- und Filtertechnik des Kernforschungszentrums (LAF I) bestimmt, Dlugi (1982). Danach läßt sich die Sulfatbildungsrate wie folgt parametrisieren:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{m_{\text{SO}_4^{2-}}}{m_A} \right) = a_o \left(1 - \frac{m_{\text{SO}_4^{2-}}}{m_{\text{SO}_4^{2-}}^\infty} \right)^2 \quad (17)$$

mit

$$\begin{aligned} m_{\text{SO}_4^{2-}} &= \text{Masse des Sulfats} \\ m_A &= \text{Masse des trockenen Aerosols} \\ m_{\text{SO}_4^{2-}}^\infty &= \text{maximale anlagerbare Masse des Sulfats.} \end{aligned}$$

Für die Reaktionskonstante a_o wurde der Ansatz

$$a_o = A \frac{m_w}{m_o} (p_{\text{SO}_2})^\beta \quad (18)$$

gefunden.

Dabei bedeuten

$$\begin{aligned} A, \beta &= \text{experimentell ermittelte Funktionen} \\ &\quad (\text{im Modell als Konstanten angesetzt}) \\ m_w &= \text{Wassergehalt des Partikels} \\ m_o &= \text{Trockenmasse des Partikels} \\ p_{\text{SO}_2} &= \text{Partialdruck von } \text{SO}_2 \end{aligned}$$

Bei den heterogenen Reaktionen ist zu beachten, daß die Produktmasse an die Partikelmasse gekoppelt ist. Als Faktoren, die die Reaktion begrenzen, sind die Sulfatproduktion und die H^+ -Ionenbildung ermittelt worden. Die pro Masse der Kohlekraftwerkstäube maximal erzeugbare Sulfatmenge wird als Kapazität bezeichnet und ist bei festen thermodynamischen Bedingungen konstant. Die Kapazität steigt mit zunehmendem Wassergehalt der Partikel an.

Das Verhältnis m_w/m_o hängt stark von der relativen Feuchte und von der chemischen Zusammensetzung des wasserlöslichen Anteils der Aerosole ab. Die experimentellen Werte lassen sich mit Hilfe des folgenden Ansatzes beschreiben:

$$\frac{m_w}{m_o} = f \left(1 + \frac{\mu}{1-f} \right) \quad (19)$$

$$f = 0,01 \cdot RF$$

$$RF = \text{rel. Feuchte}$$

$$\mu = \text{Massenzuwachskoeffizient}$$

Experimentell wurde ein mittlerer Wert $\bar{\mu} = 0,04$ von Dlugi u. a. (1985) bestimmt.

Dieser Ansatz ist bis zu relativen Feuchten von 98 % gültig. Für Feuchten über 98 % wird der Wert bei 98 % verwendet. Für die Ausbreitungsrechnungen wird die Gleichung für SO_4^{2-} , die für ein repräsentatives Partikel gilt, in eine Konzentrationsgleichung für $[SO_4^{2-}]_p$ transformiert:

$$\frac{d}{dt} [SO_4^{2-}]_p = [U]_p (1+a) a_o \left(1 - \frac{[SO_4^{2-}]_p}{[SO_4^{2-}]_o} G^{-1} \right)^2 \quad (20)$$

mit

$$G = \exp\left(\frac{m_w}{m_o}\right) \quad (21)$$

$$a = \frac{[SO_4]_p^o}{[U]_p^o} \quad (22)$$

und der Voraussetzung

$$\frac{d}{dt}[U]_p = 0 \quad (23)$$

Dabei bedeuten:

$[SO_4^{2-}]_p$ = Konzentration des Sulfats auf Partikeln
in $g\ m^{-3}$

$[U]_p$ = Konzentration des unlöslichen Partikelanteils
in $g\ m^{-3}$

$[SO_4]_p^o$ = Konzentration des SO_4^{2-} an der Quelle

$[U]_p^o$ = Konzentration von U_p an der Quelle

Die für chemische Reaktionen wichtige Oberflächenverteilung der Partikel hat bei Radien von $0,5 - 2\ \mu m$ ein Maximum. Im Modell läßt sich eine Ablagerung von Partikeln dieser Größe am Boden berücksichtigen.

4.2.3 Der Ansatz für die Oxidation von SO₂ in Tröpfchen, die Partikel enthalten

Der Ansatz für die Oxidation von SO₂ in Tröpfchen (an Partikeln kondensierter Wasserdampf) wird als katalytische Oxidation von hydratisiertem und dissoziiertem SO₂ beschrieben. Nach Experimenten des LAF I (Dlugi, u. a. (1985)) kann die Bildung von Sulfat in Tröpfchen, die Flugascheteilchen enthalten, beschrieben werden durch:

$$\frac{d}{dt}[\text{SO}_4^{2-}]_t^w = k_t ([\text{SO}_4^{2-}]_t^w)^\varepsilon ([\text{FE(III)}]_t^w)^\lambda [\text{H}^+]^\phi [\text{HSO}_3^-]^\omega \quad (24)$$

wobei

$$[\text{SO}_4^{2-}]_t^w = \text{Sulfatkonzentration im Tropfen (Mol/l)}$$

$$[\text{FE(III)}] = \text{Eisen (III)-Konzentration im Tropfen (Mol/l)}$$

$$[\text{H}^+] = \text{H}^+\text{-Ionen-Konzentration im Tropfen}$$

$$[\text{HSO}_3^-] = \text{HSO}_3^-\text{-Ionen-Konzentration im Tropfen}$$

$$k_t = \text{Ratenkonstante}$$

$$\omega, \lambda, \phi, \varepsilon = \text{Reaktionsordnungen (experimentell ermittelt)}$$

Die Ratengleichung (24) muß in für das Gesamtmodell kompatible Dimensionseinheiten umgerechnet werden. Dazu dienen die folgenden Umrechnungen:

$$[\text{SO}_4^{2-}]_t^w = \frac{[\text{SO}_4^{2-}]}{\mu_{\text{SO}_4^{2-}}} \frac{\rho_w}{C_w} \quad (25)$$

$$[\text{FE(III)}]^\text{w} = \frac{[\text{FE(III)}]}{\mu_{\text{FE}}} \frac{\rho_{\text{w}}}{C_{\text{w}}} \quad (26)$$

Dabei bedeuten:

$$[\text{SO}_4^{2-}]_{\text{t}} = (\text{Tropfen})\text{-Sulfatkonzentration in } \text{g m}^{-3}$$

$$\mu_{\text{SO}_4^{2-}} = \text{Molgewicht Sulfat in } \text{g M}^{-1}$$

$$[\text{FE(III)}] = (\text{Tropfen})\text{-Eisen (III)-Konzentration in } \text{g m}^{-3}$$

$$\mu_{\text{FE}} = \text{Molgewicht FE in } \text{g M}^{-1}$$

$$C_{\text{w}} = \text{Tropfenwasserkonzentration in } \text{g m}^{-3}$$

$$\rho_{\text{w}} = \text{Dichte des Wassers in } \text{g/l}$$

In Gleichung (24) eingesetzt ergibt sich:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{[\text{SO}_4^{2-}]_{\text{t}}}{\mu_{\text{SO}_4^{2-}}} \frac{\rho_{\text{w}}}{C_{\text{w}}} \right) = k_{\text{t}} \left(\frac{\text{SO}_4^{2-}}{\mu_{\text{SO}_4^{2-}}} \frac{\rho_{\text{w}}}{C_{\text{w}}} \right)^\epsilon \left(\frac{[\text{FE(III)}]}{\mu_{\text{FE}}} \frac{\rho_{\text{w}}}{C_{\text{w}}} \right)^\lambda [\text{H}^+]^\phi [\text{HSO}_3^-]^\omega \quad (27)$$

Unter der Bedingung

$$\frac{d}{dt} C_{\text{w}} = 0$$

lautet die Ratengleichung folgendermaßen:

$$\frac{d}{dt}[\text{SO}_4^{2-}]_t = k_t \rho_w^{\epsilon+\lambda-1} \mu_{\text{SO}_4^{2-}}^{1-\epsilon} \mu_{\text{FE}}^{-\lambda} C_w^{1-\epsilon-\lambda} ([\text{SO}_4^{2-}]_t)^\epsilon [\text{FE(III)}]^\lambda \quad (28)$$

$$[\text{H}^+]^\phi [\text{HSO}_3^-]^\omega$$

Die Größe C_w wird berechnet durch:

$$C_w = \rho_L q_C \quad (29)$$

mit:

$$\rho_L = \text{Dichte der Luft in g m}^{-3}$$

$$q_C = \text{spezifischer Wolkenwassergehalt in g kg}^{-1}$$

$[\text{FE(III)}]$ ist proportional zur Konzentration der Tropfen-trockenmasse $[U]_t$ in der Luft. In Anhang B sind die verwendeten Gleichungen detailliert angegeben.

4.2.4 Das Partikel-Tropfen-System

4.2.4.1 Die Bilanzgleichungen für heterogen gebildetes Sulfat

Bei der Herleitung der Bilanzgleichungen für $[\text{SO}_4^{2-}]_p$ und $[\text{SO}_4^{2-}]_t$ wurde von der Voraussetzung

$$\frac{d}{dt}[U]_p = \frac{d}{dt}[U]_t = 0 \quad (30)$$

ausgegangen. Bei Kondensations- und Verdunstungsvorgängen ist diese Voraussetzung nicht erfüllt.

Bei Verdunstung von Tröpfchen wird Sulfat aus der Tropfenphase in die Partikelphase überführt, bei Kondensation geschieht die umgekehrte Transformation. Die Bilanzgleichungen für $[\text{SO}_4^{2-}]_t$ und $[\text{SO}_4^{2-}]_p$ sind daher mit einem Transformationsterm zu erweitern. Sie lauten dann:

$$\frac{d}{dt}[\text{SO}_4^{2-}]_t = T_r + P_t \quad (31)$$

$$\frac{d}{dt}[\text{SO}_4^{2-}]_p = -T_r + P_p \quad (32)$$

mit

T_r = Sulfatkonzentrationsänderung auf Grund von Phasenübergängen des Wassers

P_t = chemischer Reaktionsterm in Tropfen

P_p = chemischer Reaktionsterm auf Partikeln.

Da die Berechnung von T_r problematisch ist, werden die Gleichungen (31,32) addiert. Dabei fällt der T_r -Term heraus. Die Bilanzgleichung für die Summe Sulfat lautet:

$$\frac{d}{dt}[\text{SO}_4^{2-}]_s = \frac{d}{dt}[\text{SO}_4^{2-}]_t + \frac{d}{dt}[\text{SO}_4^{2-}]_p = P_t([\text{SO}_4^{2-}]_t, [\text{U}]_t \dots) + P_p([\text{SO}_4^{2-}]_p, [\text{U}]_p \dots) \quad (33)$$

Zur Berechnung von $[\text{SO}_4^{2-}]_t$ und $[\text{SO}_4^{2-}]_p$ aus $[\text{SO}_4^{2-}]_s$ wird angenommen, daß beim Vorhandensein von Partikeln und Tröpfchen in beiden Phasen das Verhältnis von Sulfat zu Staubgehalt identisch ist:

$$\frac{[\text{SO}_4^{2-}]_t}{[\text{U}]_t} = \frac{[\text{SO}_4^{2-}]_p}{[\text{U}]_p} \quad (34)$$

Es ist damit:

$$[\text{SO}_4^{2-}]_t = \frac{[\text{U}]_t}{[\text{U}]_t + [\text{U}]_p} [\text{SO}_4^{2-}]_s \quad (35)$$

$$[\text{SO}_4^{2-}]_p = \frac{[\text{U}]_p}{[\text{U}]_t + [\text{U}]_p} [\text{SO}_4^{2-}]_s \quad (36)$$

Diese Annahme bedeutet, daß im Mittel der Sulfatgehalt in den Tröpfchen genau so groß ist wie auf den Partikeln. Eine Voraussetzung, die bei intensiven Kondensations- und Verdunstungsprozessen in der vermischten Abgas- und Kühlturmfahne aufgrund starker Turbulenz als annähernd erfüllt angesehen werden kann.

4.2.4.2 Die Berechnung der Konzentration von Partikel- und Tropfentrockenmasse

Die vom Kamin emittierte Staubkonzentration $[\text{U}]$ teilt sich auf in die Konzentration von Partikel- und Tropfentrockenmasse:

$$[U] = [U]_p + [U]_t \quad (37)$$

Die Annahme, daß keine weiteren Quellterme für [U] vorhanden sein sollen, führt zu der Bilanzgleichung (Berücksichtigung von Depositionsprozessen kann über die Randbedingung erfolgen)

$$\frac{d}{dt}[U] = 0 \quad (38)$$

Da im Modell kein Tröpfchen- und Partikelgrößenspektrum berücksichtigt werden kann, wird für m_w/m_o ein repräsentativer Wert eingesetzt. Es gilt also:

$$\frac{m_w}{m_o} = \left(\frac{m_w}{m_o}\right)_r \quad (39)$$

Bei der Berechnung von $[U]_t$ bzw. $[U]_p$ müssen zwei Fälle unterschieden werden.

1)
$$\frac{C_w}{\left(\frac{m_w}{m_o}\right)_r} \leq [U] \quad (40)$$

$$[U]_t = \frac{C_w}{\left(\frac{m_w}{m_o}\right)_r} \quad (40a)$$

$$[U]_p = [U] - [U]_t \quad (40b)$$

2)

$$\frac{C_w}{\left(\frac{m_w}{m_o}\right)_r} > [U] \quad (41)$$

$$[U]_t = [U] \quad (41a)$$

$$[U]_p = 0 \quad (41b)$$

In diesem Fall gibt es mehr Tröpfchen als Partikel.

4.2.4.3 Die Bilanzgleichung für SO₂

Die Oxidation von SO₂ und Bildung von Sulfaten hat eine Reduktion der SO₂-Gaskonzentration zur Folge. Die Bilanzgleichung für SO₂ lautet:

$$\frac{d}{dt}[\text{SO}_2] = - \frac{1}{1,5} (P_{\text{OH}} + P_{\text{p}} + P_{\text{t}}) \quad (42)$$

mit

$[\text{SO}_2]$ = SO₂ -Gaskonzentration in g m⁻³

P_{OH} = Sulfatbildungsrate durch homogene Oxidation

P_{p} = Sulfatbildungsrate durch Oxidation auf Partikeln

P_{t} = Sulfatbildungsrate durch Oxidation in Tropfen

5. Modellrechnungen zu den chemischen Wechselwirkungen zwischen Kühlturmfahne und Abgasfahne

Bei der Berechnung des Einflusses der Kühlturmfahne auf die chemischen Prozesse in der Abgasfahne wurde von einem Kamin und einem Kühlturm ausgegangen. Es wurden zwei Fälle unterschieden

a) Kamin ohne Kühlturm

b) Kamin im Kühlturm.

Der Fall a) ist der Referenzfall, wohingegen der Fall b) den maximalen Effekt bezüglich der chemischen Umwandlungsprozesse bei intensiver Mischung von Abgas und Kühlturmfahne liefert. Bei den Emissionen des Kamins wurde sowohl mit als auch ohne nasse Entschwefelung gerechnet.

Außerdem wurden zwei unterschiedliche Wetterlagen zugrundegelegt:

Wetter- lage	Feuchte	Länge der sicht- baren Kühlturm- fahne	Einstrahlung	Schichtung der Atmosphäre
-----------------	---------	--	--------------	------------------------------

I	hoch (85 %)	4,6 km	gering	neutral
---	----------------	--------	--------	---------

II	gering (55 %)	0,2 km	stark	leicht labil
----	------------------	--------	-------	--------------

Die nachfolgenden Tabellen enthalten die Emissionsdaten und meteorologischen Daten, auf denen die Rechnungen basieren.

Emissionsdaten

		Kamin ohne Naßent- schwe- felung	Kamin mit Naßent- schwe- felung	Kühlturm bei feuchtem Wetter I	Kühlturm bei trockenem Wetter II
Höhe in m		170	170	140	140
Mündungsdurch- messer in m		6,9	6,9	63	63
Austrittstem- peratur in °C		170	65	26,8	31,0
Austrittstau- punkt in °C		58	65	26,8	31,0
Konzentration an der Mündung in mg/m ³	SO ₂	1700	850	-	-
	Staub	120	100	-	-
	NO _x	1670	1400	-	-

Meteorologische Daten

	Wetterlage I		Wetterlage II	
Bodentemperatur in °C	10		20	
Temperatur- gradient in K/m	0,007	0 ≤ z ≤ 1000 m	0,01	0 ≤ z ≤ 300 m
	0,005	1000 ≤ z ≤ 3000 m	0,007	300 ≤ z ≤ 3000 m
Windgeschwin- digkeit in m/s	5		5	
Ausbreitungs- klasse nach Pasquill	D		C	

5.1 Der Einfluß der Naßentschwefelung auf die heterogene Sulfatbildung

5.1.1 Die Sulfatbildung in der Kaminfahne

Für die Wetterlagen I und II wurde die Sulfatbildung in der Kaminfahne mit und ohne Naßentschwefelung berechnet. Abbildung 21 enthält die entsprechenden Ergebnisse für die Bildungsrate. Diese ist definiert als:

$$R(x) = \frac{\int P \, dF}{(\int [\text{SO}_2] \, dF)_0} \quad (43)$$

P : Produktionsterm in der Sulfatgleichung

(...)₀ : an der Quelle

F : Fläche

Bei Wetterlage I ist die Bildungsrate von Sulfat in Quellnähe zunächst sehr hoch. Ursache dafür ist die hohe relative Feuchte und die hohe SO₂-Konzentration. Mit zunehmender Entfernung vom Kamin wirkt sich die Verdünnung der SO₂-Konzentration aus. Erst ab etwa 500 m Abstand wird der Verdünnungseffekt durch die Bildungsrate aufgrund der hohen relativen Feuchte in der Fahne kompensiert, so daß die Rate wieder ansteigt. Da der Term der Bildungsrate, der durch die relative Feuchte bestimmt wird, einem Sättigungswert gemäß den experimentellen Ergebnissen (Dlugi (1982)) zustrebt, muß die Sulfatbildung bei Annäherung an diesen Wert wieder deutlich abnehmen, was ab etwa 3 km Entfernung der Fall ist.

Bei Naßentschwefelung ist die Fahne bis zu einer Entfernung von 900 m von der Quelle sichtbar. Wegen der höheren Feuchte in der naßentschwefelten Fahne ist die Abnahme der Bildungsrate trotz der geringeren SO₂-Konzentration zunächst geringer als im Fall ohne Naßentschwefelung. Ab einer Entfernung von etwa 1500 m ist es dann umgekehrt. Da sich bei Naßentschwefelung bis zu dieser Entfernung bereits mehr Sulfat gebildet hat, ist der Sulfatgehalt näher am Sättigungswert als ohne Naßentschwefelung. Zusammen mit der geringeren SO₂-Konzentration ergibt sich der schnellere Rückgang der Bildungsrate von Sulfat.

Die Abbildung 21 enthält ebenfalls die Kurven für die Wetterlage II (trocken). Hier sind die Unterschiede in den Bildungsraten besonders deutlich. Ohne Naßentschwefelung liegt

Bildungsrate von Sulfat in %/h

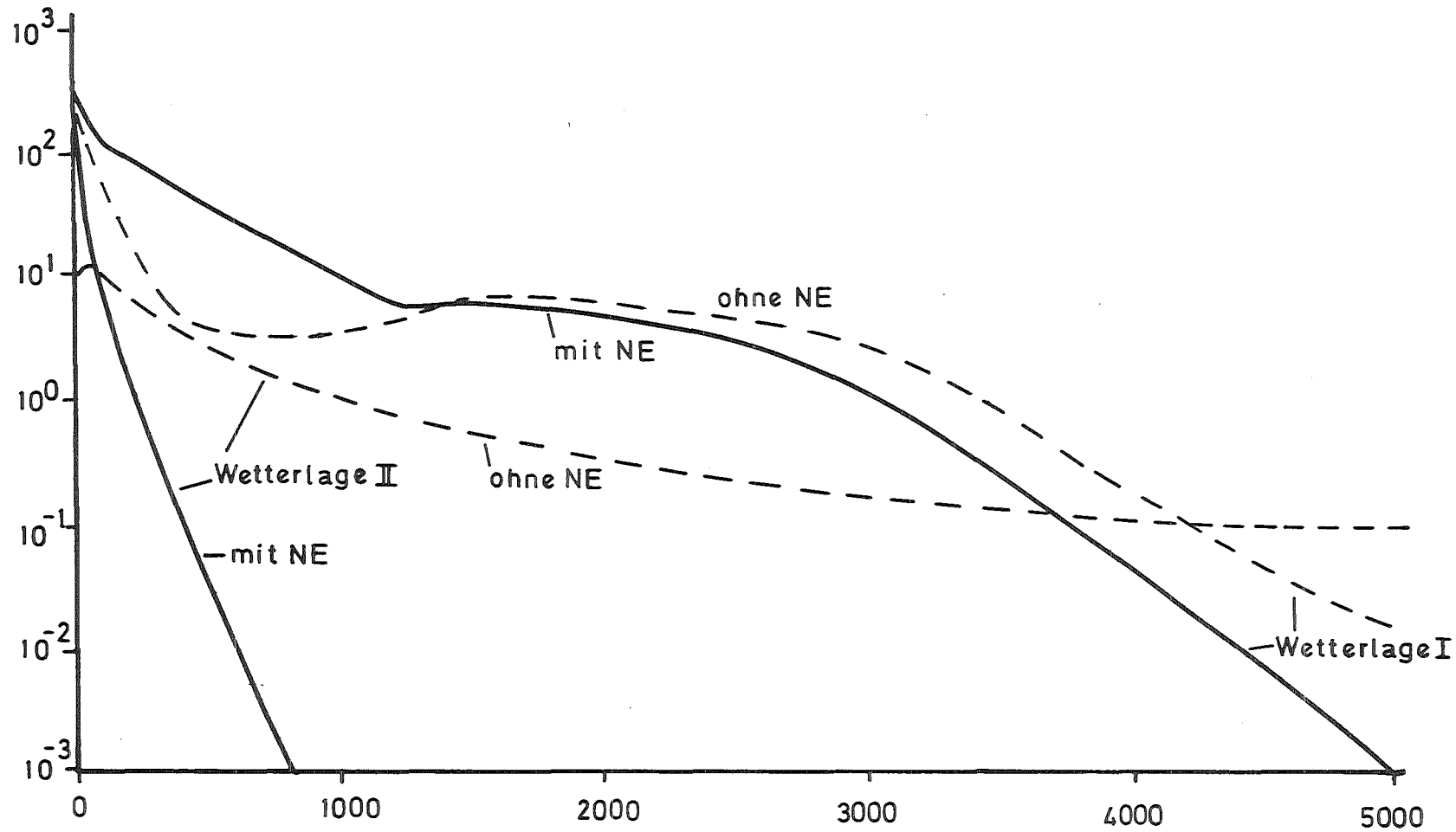


Abb. 21: Bildungsrate von Sulfat in der Kaminfahne ohne Kühlturm-fahneneinfluß mit und ohne Naßentschwefelung(NE)

Sulfatgehalt normiert auf den Gehalt an der Quelle

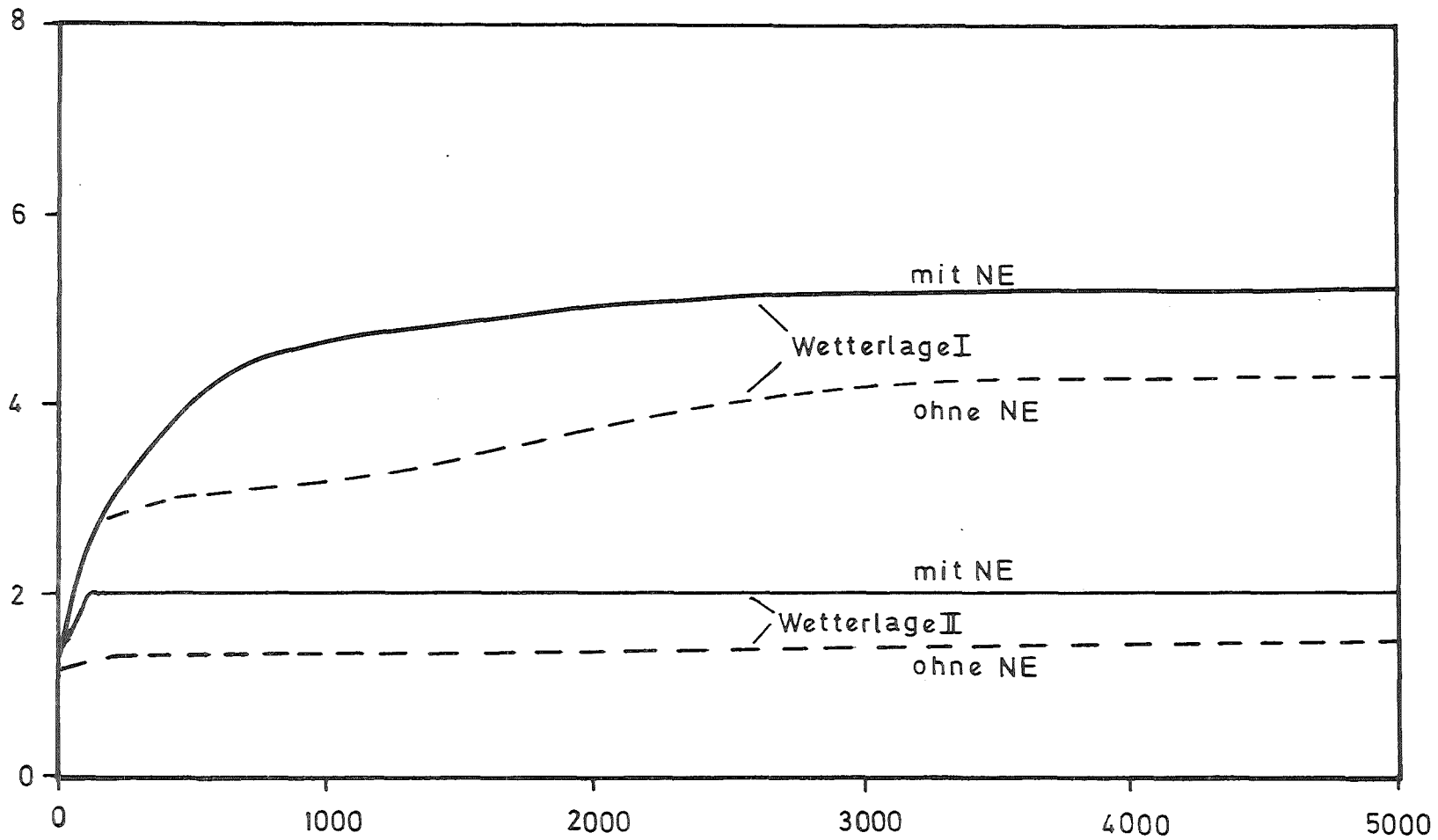


Abb. 22: Sulfatgehalt in der Kaminfahne ohne Kühlturm-fahneneinfluß mit und ohne Naßentschwefelung (NE)

die Rate in Quellnähe bei etwas mehr als 10 %/h. In 1000 m Entfernung ist sie bereits auf 1 %/h abgesunken. Mit Naßentschwefelung ist die Rate dagegen in Quellnähe aufgrund der hohen relativen Feuchte zunächst sehr hoch. Sie fällt dann aber rasch ab, weil sowohl die Feuchte als auch die SO_2 -Konzentration absinken. In 100 m Entfernung von der Quelle beträgt die Rate nur noch 10 %/h und in 1000 m ist sie bereits annähernd null. Dies bedeutet, daß das Sulfat auf den Partikeln bereits den Sättigungswert erreicht bzw. überschritten hat, der für die Umgebungsfeuchte von 55 % gilt.

Der Sulfatgehalt in der Abgasfahne normiert mit dem Sulfatgehalt an der Quelle ist in der Abbildung 22 dargestellt. Bei Wetterlage I (feucht) wird bei Naßentschwefelung trotz der geringen SO_2 -Konzentration in der Fahne mehr Sulfat gebildet als ohne Naßentschwefelung (Abb. 22). Dies ist auf die großen Bildungsraten aufgrund der höheren Feuchte bei Naßentschwefelung in Quellnähe zurückzuführen. In 5 km Entfernung beträgt der normierte Sulfatgehalt in der Fahne 5,2. Er ist damit um etwa 20 % größer als ohne Naßentschwefelung.

Bei trockenem Wetter (Wetterlage II) sind die absoluten Unterschiede wesentlich kleiner. In 5 km Entfernung hat der normierte Sulfatgehalt bei Naßentschwefelung einen Wert von 2, wohingegen er ohne Naßentschwefelung nur 1,5 beträgt.

Bei beiden Wetterlagen ist mit Naßentschwefelung die Bildungsrate von Sulfat in den Tröpfchen wesentlich geringer als auf den Partikeln. Dies liegt an dem geringen Tröpfchengehalt in der Abgasfahne im Vergleich zur Partikelkonzentration. Die Rechnungen machen deutlich, daß bei Naßentschwefelung die Sulfatbildung größer ist als ohne Naßentschwefelung. Die Naßentschwefelung bringt daher zwar eine Verminderung der SO_2 -Konzentration, aber keine für die Sulfatkonzentration. Da bei Naßentschwefelung zudem der Aufstieg der Abgasfahne geringer

ist, wird sich die Sulfatkonzentration in Bodennähe erhöhen.

5.1.2 Die Sulfatbildung in der Kaminfahne bei Mischung mit einer Kühlturmfahne

Um eine Verminderung der SO_2 - und Sulfatkonzentration in Bodennähe zu erreichen, wird die Einleitung der Abgase des Kamins in den Kühlturm erwogen. Dies hätte den Vorteil eines größeren Auftriebs der Abgase. Da für diesen Fall keine belastbaren Emissionsdaten vorliegen, wurde die Rechnung so durchgeführt, daß die Mischung beider Fahnen unmittelbar nach der Freisetzung erfolgt. Aus den Ergebnissen dieser Rechnungen lassen sich trotzdem Schlüsse auf den Fall der direkten Einleitung ziehen. Die Vorgänge des Mischens spielen sich zwar bei direkter Einleitung bereits im Kühlturm ab, sie werden aber nicht grundsätzlich anders ablaufen, so daß die Ergebnisse dieser Rechnungen auch auf den Fall der direkten Einleitung übertragbar sind. In einigen hundert Metern Entfernung von der Quelle werden sich nur noch unwesentliche Unterschiede zwischen beiden Mischungsarten ergeben.

In dem Fall ohne Naßentschwefelung und hoher Feuchte in der Atmosphäre (Wetterlage I) ist in Quellnähe die Bildungsrate von Sulfat zunächst niedriger als im Fall mit Naßentschwefelung (Abb. 23). Dies liegt an der hohen Feuchte in der Abgasfahne bei Naßentschwefelung. Nachdem beide Fahnen sich vermischt haben, ist dagegen die Rate ohne Naßentschwefelung größer als diejenige mit Naßentschwefelung. Hier dominiert dann die höhere SO_2 -Konzentration. Mit zunehmender Sulfatbildung geht die Rate besonders am Rande der Fahne zurück. Dies ist im Fall ohne Naßentschwefelung stärker ausgeprägt als im Fall mit Naßentschwefelung. Dadurch schneiden sich die Kurven der beiden Bildungsraten erneut. Der weitere Verlauf beider Kurven ist ähnlich und wird hauptsächlich durch Kondensations- und Verdunstungsprozesse in der Kühlturmfahne bestimmt. Durch

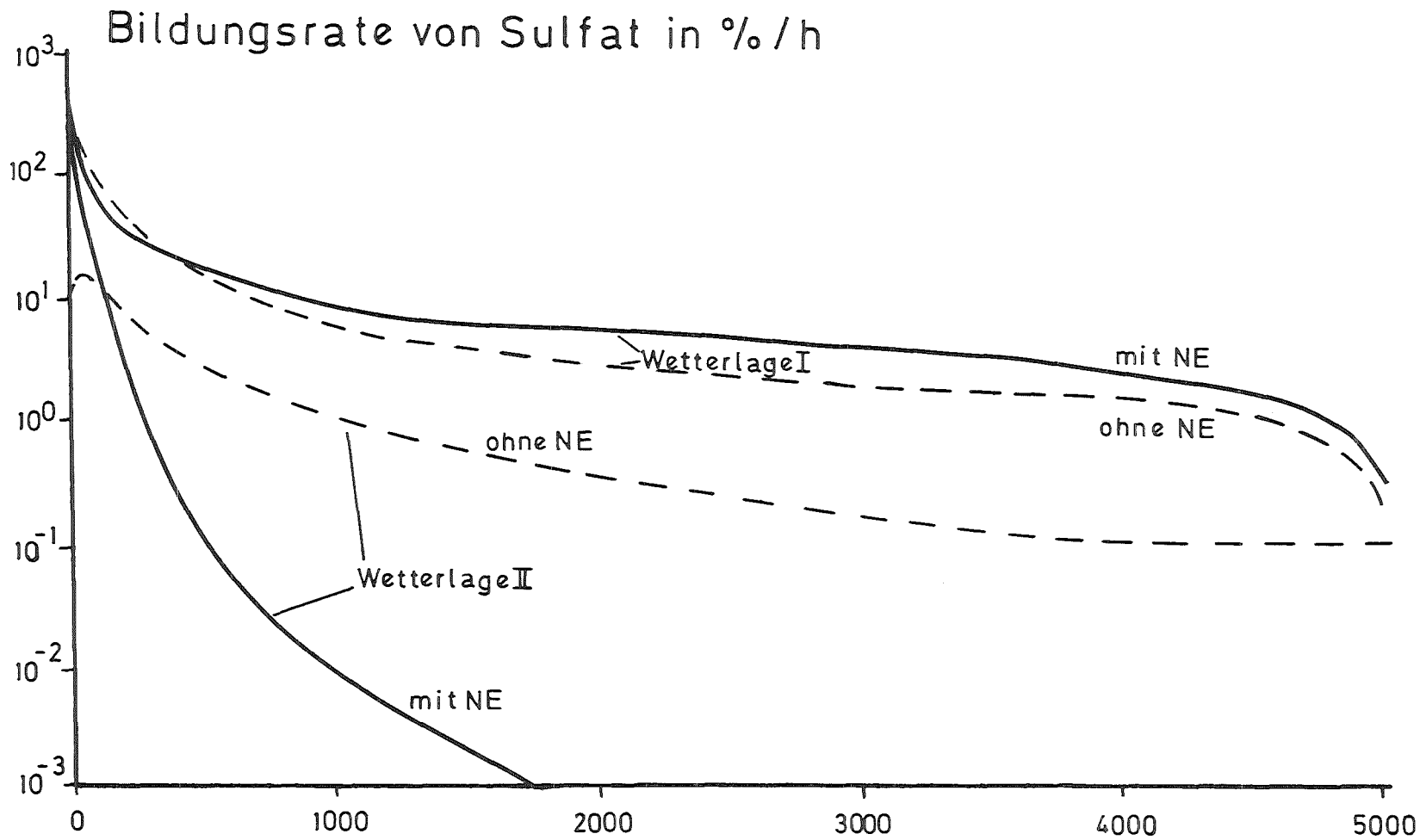


Abb. 23: Bildungsrate von Sulfat in der Kaminfahne mit Kühlturmfahnen- einfluß mit und ohne Naßentschwefelung

die Auflösung des Schwadens ab 4,6 km Entfernung von den Quellen geht die Sulfatbildungsrate in beiden Fällen erheblich zurück. Die verbleibenden Partikel haben bereits größtenteils den Sättigungswert für Sulfat erreicht. Mit Annäherung der Feuchte in der Fahne an den Umgebungswert geht die Bildungsrate dann gegen null.

Bei Wetterlage II (trocken) unterscheiden sich die Bildungsraten mit und ohne Naßentschwefelung erheblich. Aufgrund der hohen Feuchte in Quellnähe ist bei Naßentschwefelung die Bildungsrate von Sulfat wesentlich größer als ohne Naßentschwefelung. Bei Naßentschwefelung bildet sich kein gemeinsamer Schwaden aus, da sich der Kaminschwaden in einer Entfernung von 90 m bereits auflöst. Erst danach mischen sich die beiden Fahnen und die Feuchte nähert sich dem Umgebungswert. Die kurze Zeit hoher Bildungsraten genügt, daß das Sulfat auf den Partikeln den Grenzwert entsprechend der Umgebungsfeuchte nahezu erreicht bzw. bereits überschritten hat. Dadurch fällt die Bildungsrate von Sulfat sehr rasch ab.

Im Fall ohne Naßentschwefelung liefert die Kühlturmfahne nur einen geringen Beitrag zur Sulfatbildung, da sie sich bereits vor der intensiven Mischung beider Fahnen aufgelöst hat. Die Mischung der Fahnen trägt sogar zur Auflösung der Kühlturmfahne bei. Wegen der geringeren Bildung von Sulfat aufgrund der niedrigen relativen Feuchte in der Fahne sinkt die Bildungsrate hauptsächlich aufgrund der Verdünnung des SO_2 in der Fahne ab. Dies ist wesentlich weniger als im Fall mit Naßentschwefelung (s. Abb. 23).

Den Sulfatgehalt in der Fahne zeigt Abbildung 24. Für Wetterlage II ist bei Naßentschwefelung aufgrund der anfänglich hohen Bildungsraten der Sulfatgehalt in 5 km Entfernung etwa um den Faktor 1,3 größer als ohne Naßentschwefelung. Der Sättigungswert für den normierten Sulfatgehalt entsprechend der Umgebungsfeuchte liegt bei 1,82. Dieser ist noch größer als der Wert von 1,5 im Fall ohne Naßentschwefelung. Deshalb

wird der Sulfatgehalt in dieser Fahne noch nach 5 km bis zum Sättigungswert ansteigen. Insgesamt ist bei Wetterlage II, wie erwartet, der Sulfatgehalt in der Fahne wesentlich kleiner als bei Wetterlage I (Abb. 24). Obwohl bei Wetterlage I die Bildungsrate von Sulfat bei Naßentschwefelung fast auf der ganzen Distanz dominiert, genügt die kurzzeitig höhere Bildungsrate in der Nähe der Quelle im Fall ohne Naßentschwefelung, um einen etwa 17 % höheren Sulfatgehalt in 5 km Entfernung zu erzielen. Da nach Auflösung des Schwadens in 4,6 km Entfernung der Sättigungswert auf den Partikeln noch nicht erreicht ist, wird der Sulfatgehalt in der Fahne in beiden Fällen noch etwas ansteigen. Durch die rasche Abnahme der relativen Feuchte in der Fahne wird schnell der Sättigungswert erreicht.

Wichtig ist auch der Vergleich zwischen den Ergebnissen mit und ohne Kühlturmeinfluß für eine bestimmte Wetterlage. Um den Vergleich zu erleichtern, wurden die Ergebnisse in ein Diagramm eingetragen (s. Abbildungen 25 und 26). Bei Wetterlage II (trocken) ist der Unterschied in der Sulfatbildung mit und ohne Mischung der Fahnen nur unerheblich. Dies gilt sowohl ohne als auch mit Naßentschwefelung, wobei im letzteren Fall die Unterschiede so gering sind, daß sie in die Abbildung nicht eingetragen wurden. Der Grund für den geringen Einfluß ist die rasche Abtrocknung der Kühlturmfahne bei Wetterlage II. Die Mischung beider Fahnen bringt aufgrund des höheren Aufstiegs nur eine Verringerung der bodennahen Konzentrationen. Anders sind die Verhältnisse bei der Wetterlage I. Hier ist die Sulfatbildung bei Naßentschwefelung und ohne Kühlturmeinfluß am größten. Die Mischung mit der Kühlturmfahne führt demnach zu einer Verminderung der Sulfatbildung, weil mehr Reaktionen in Tröpfchen stattfinden und die Bildungsrate in Tröpfchen geringer ist als auf den Partikeln. Diese Verminderung ist so groß, daß in diesem Fall der geringste Sulfatgehalt in der Fahne berechnet wird. Der Sulfatgehalt in 5 km

Sulfatgehalt normiert auf den Gehalt an der Quelle

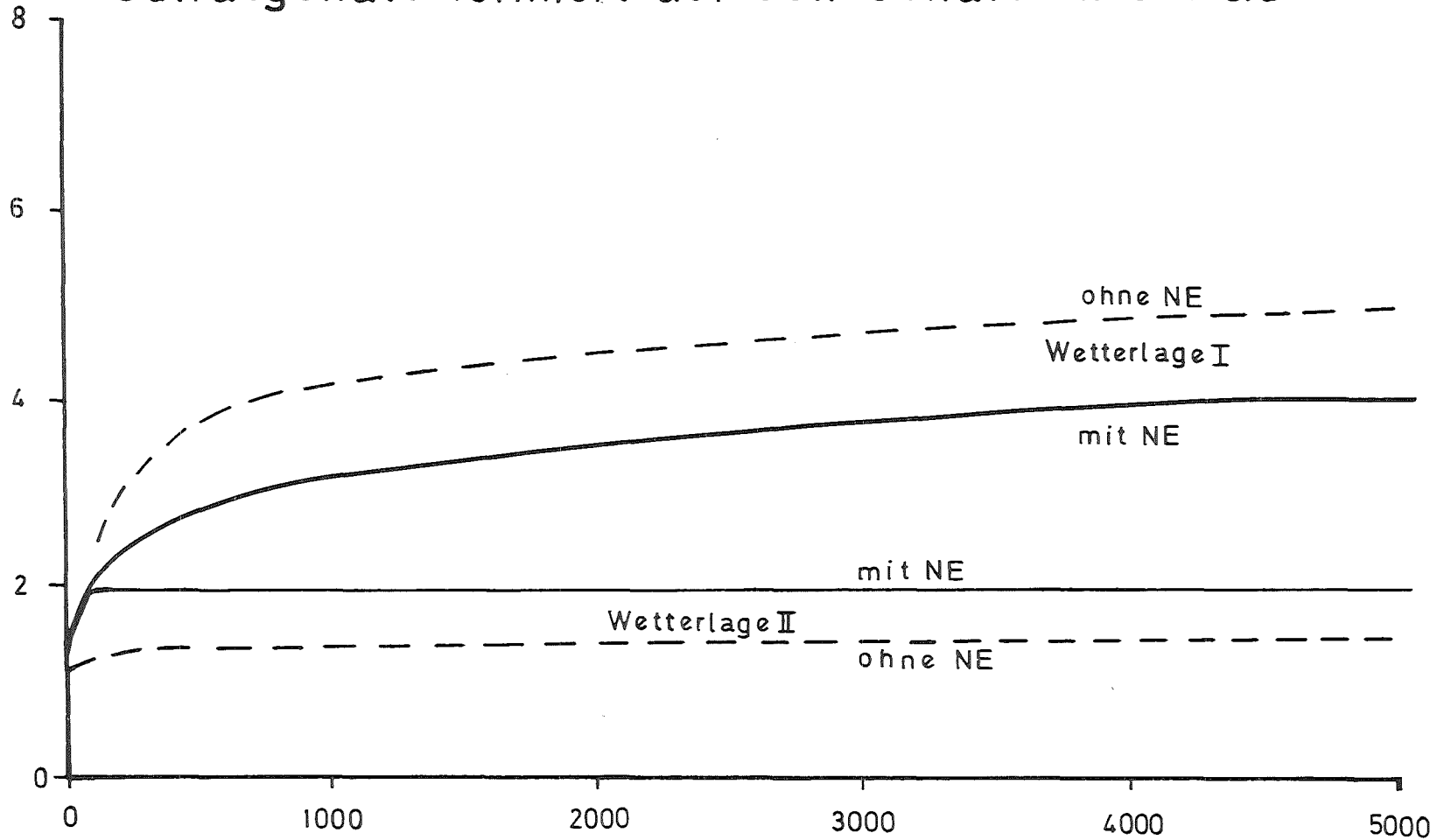


Abb. 24: Sulfatgehalt in der Kaminfahne mit Kühlturm-fahneneinfluß mit und ohne Naßentschwefelung (NE)

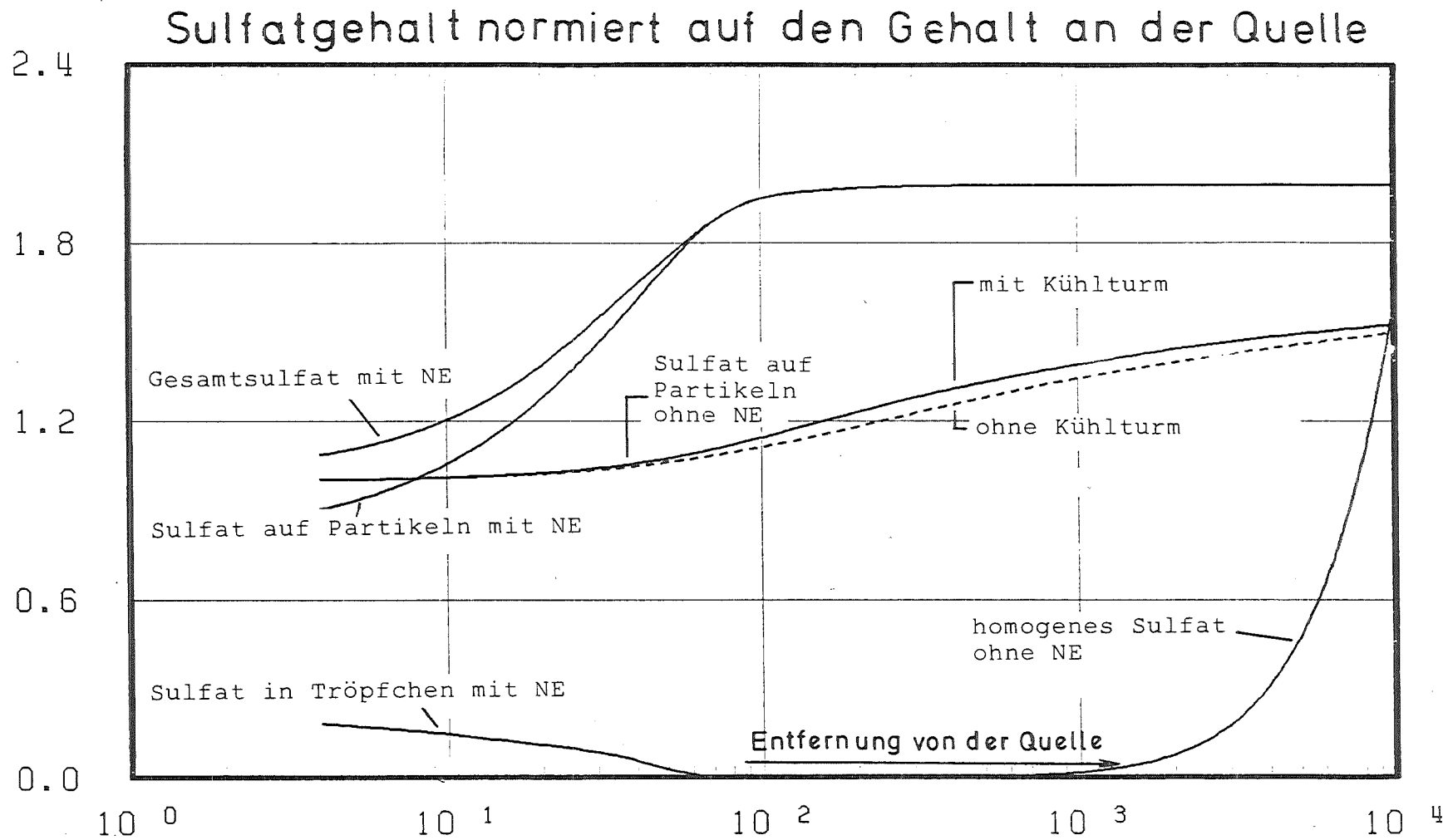


Abb. 25: Sulfatgehalt in der Kaminfahne mit und ohne Naßentschwefelung (NE), Wetterlage II

Entfernung aller in Abbildung 26 dargestellten Fälle unterscheidet sich maximal um 20 %.

Interessant ist noch der Anteil der Partikel in Tröpfchen und außerhalb bei Wetterlage I. Dieser ist in Abbildung 27 für den Fall mit Naßentschwefelung dargestellt. Ohne Kühlturmfahnen- einfluß dominieren bis auf die unmittelbare Quellnähe die Partikel außerhalb der Tröpfchen. Bei Mischung mit der Kühlturmfahne ist der Anteil der "freien" Partikel und der Partikel in Tröpfchen in Quellnähe etwa gleich groß. Dann überwiegt bis etwa 100 m von der Quelle der Anteil in Tröpfchen, da mit zunehmender Mischung beider Fahnen die anfänglich noch vorhandenen "freien" Partikel zum Teil von den Tröpfchen der Kühlturmfahne aufgenommen werden. Die danach folgende Änderung der beiden Anteile wird hauptsächlich durch Kondensations- und Verdunstungsvorgänge in der Kühlturmfahne bestimmt. Abbildung 27 läßt erkennen, daß der Schwaden sich zunächst verdünnt. Ab etwa 0,5 km Entfernung findet erneut Kondensation statt. Diese erreicht ihren Höchstwert etwa bei 1,5 km. Danach löst sich der Schwaden allmählich wieder auf, wodurch der Anteil der Partikel in den Tröpfchen sinkt. Der Fall ohne Naßentschwefelung und Mischung mit der Kühlturmfahne unterscheidet sich in den größeren Entfernungen nur wenig von dem Fall mit Naßentschwefelung (Abb. 28). In Quellnähe ist der Anteil in den Tröpfchen wesentlich geringer und steigt bei Mischung mit der Kühlturmfahne auf einen wesentlich kleineren Wert an als im Fall mit Naßentschwefelung.

Ein besonders wichtiges Ergebnis der Rechnungen ist der pH-Wert der Tröpfchen. Die Abbildungen 29 und 30 zeigen die Ergebnisse der Rechnungen bei Mischung mit der Kühlturmfahne. Mit Naßentschwefelung hat man in Quellnähe sowohl die Kühlturmfahnen-tröpfchen, die als neutral ($\text{pH} = 7.0$) angenommen wurden als auch Tröpfchen in der Kamin-fahne, die einen pH-Wert von etwa 3,5 erreichen. Ohne Kühlturmfahneneinfluß er-

Sulfatgehalt normiert auf den Gehalt an der Quelle

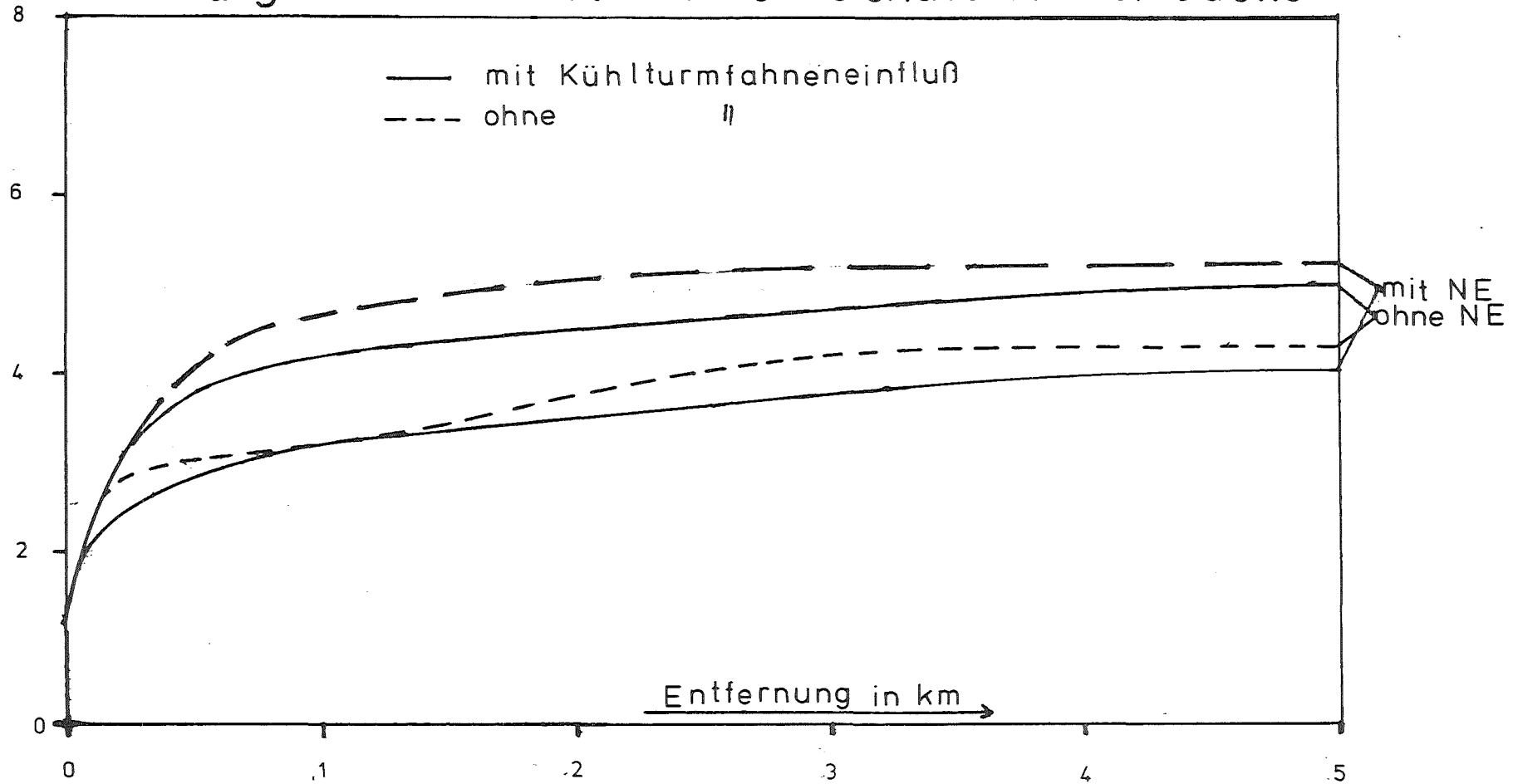


Abb. 26: Sulfatgehalt in der Kaminfahne mit und ohne Naßentschwefelung (NE), Wetterlage I

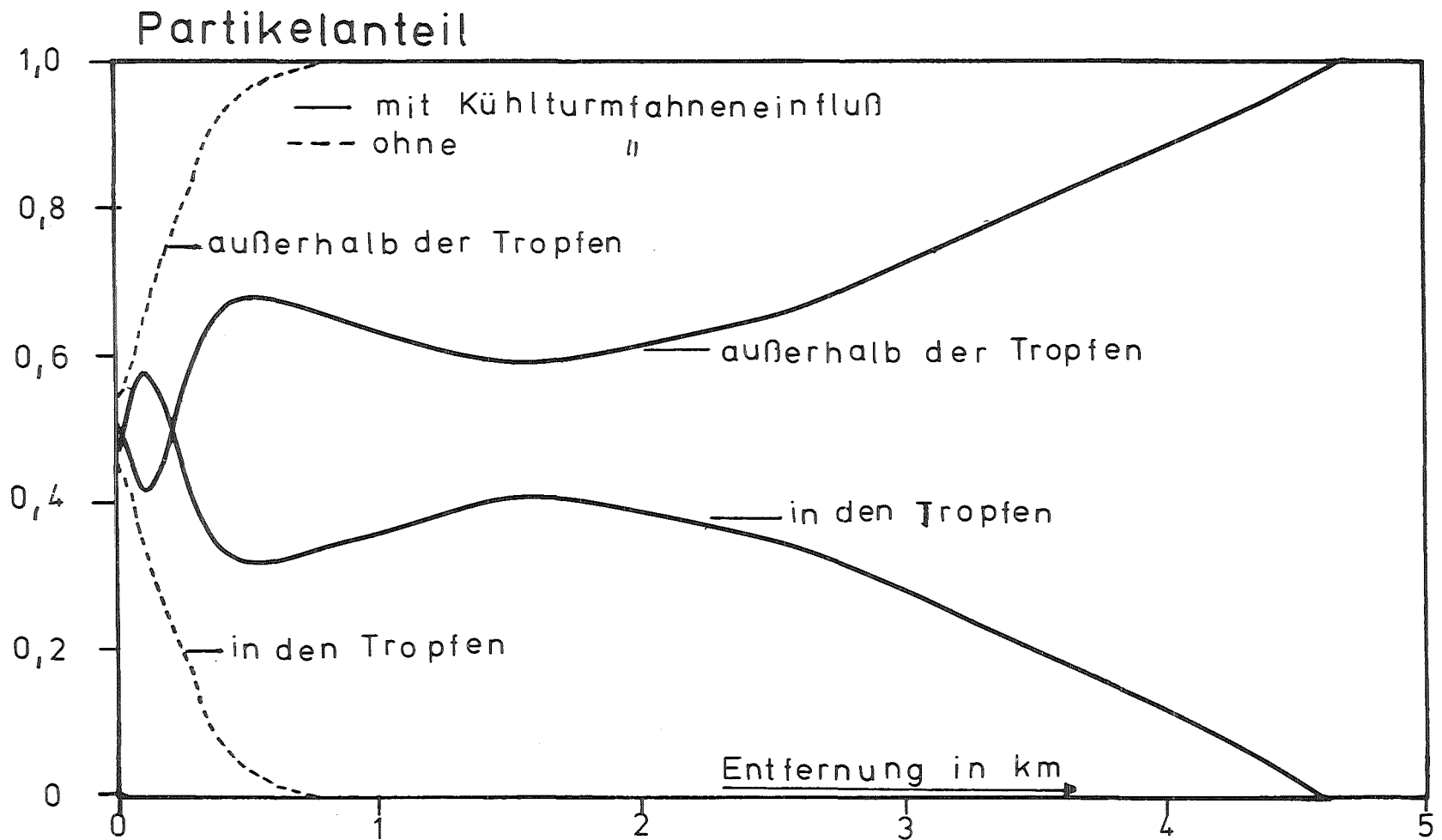


Abb. 27: Partikelanteil bei Naßentschwefelung in und außerhalb der Tropfen, Wetterlage I

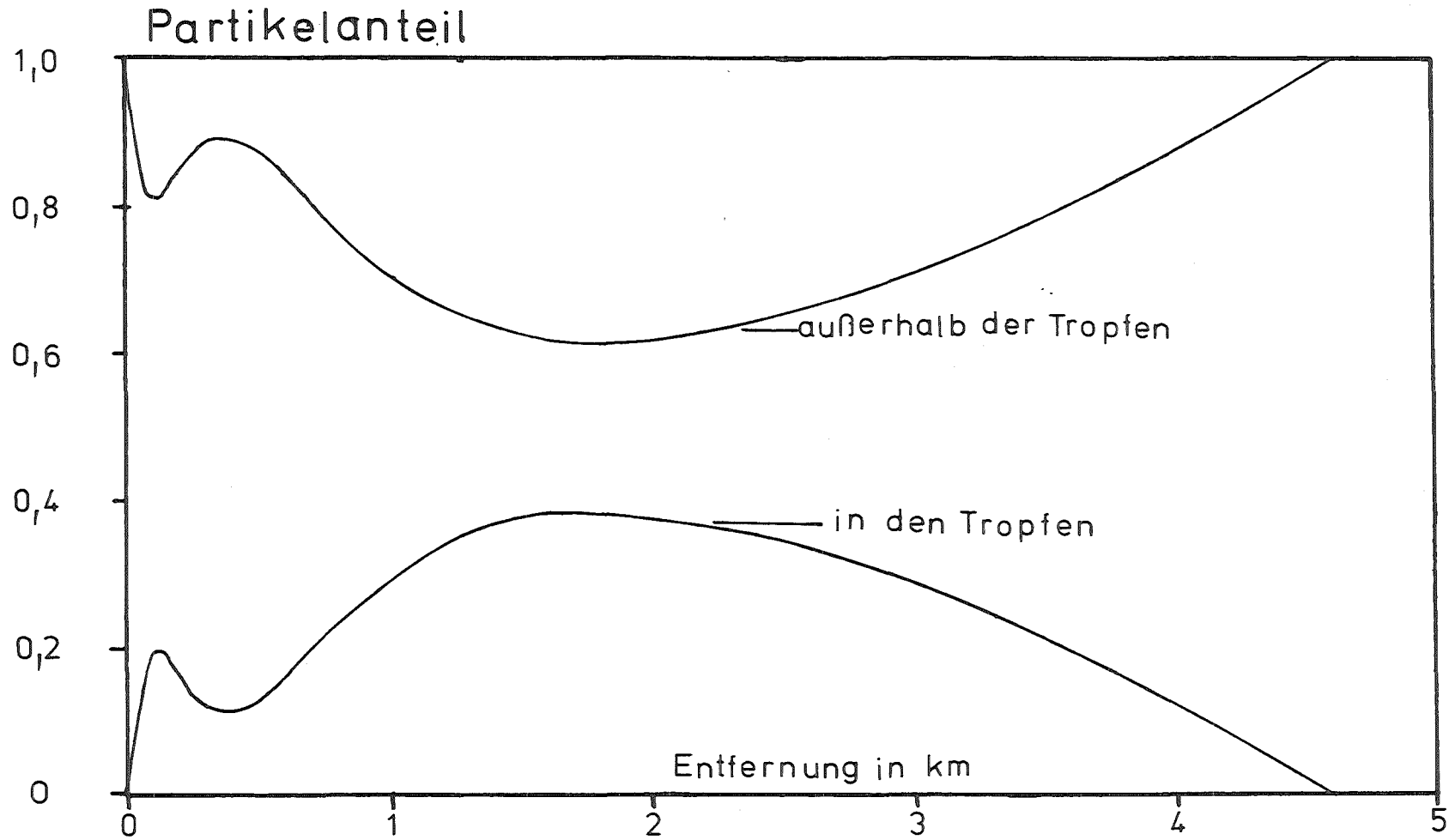


Abb. 28: Partikelanteil in und ausserhalb der Tropfen bei Wetterlage I, ohne Nassentschwefelung

MAXIMALER, MINIMALER PH-WERT

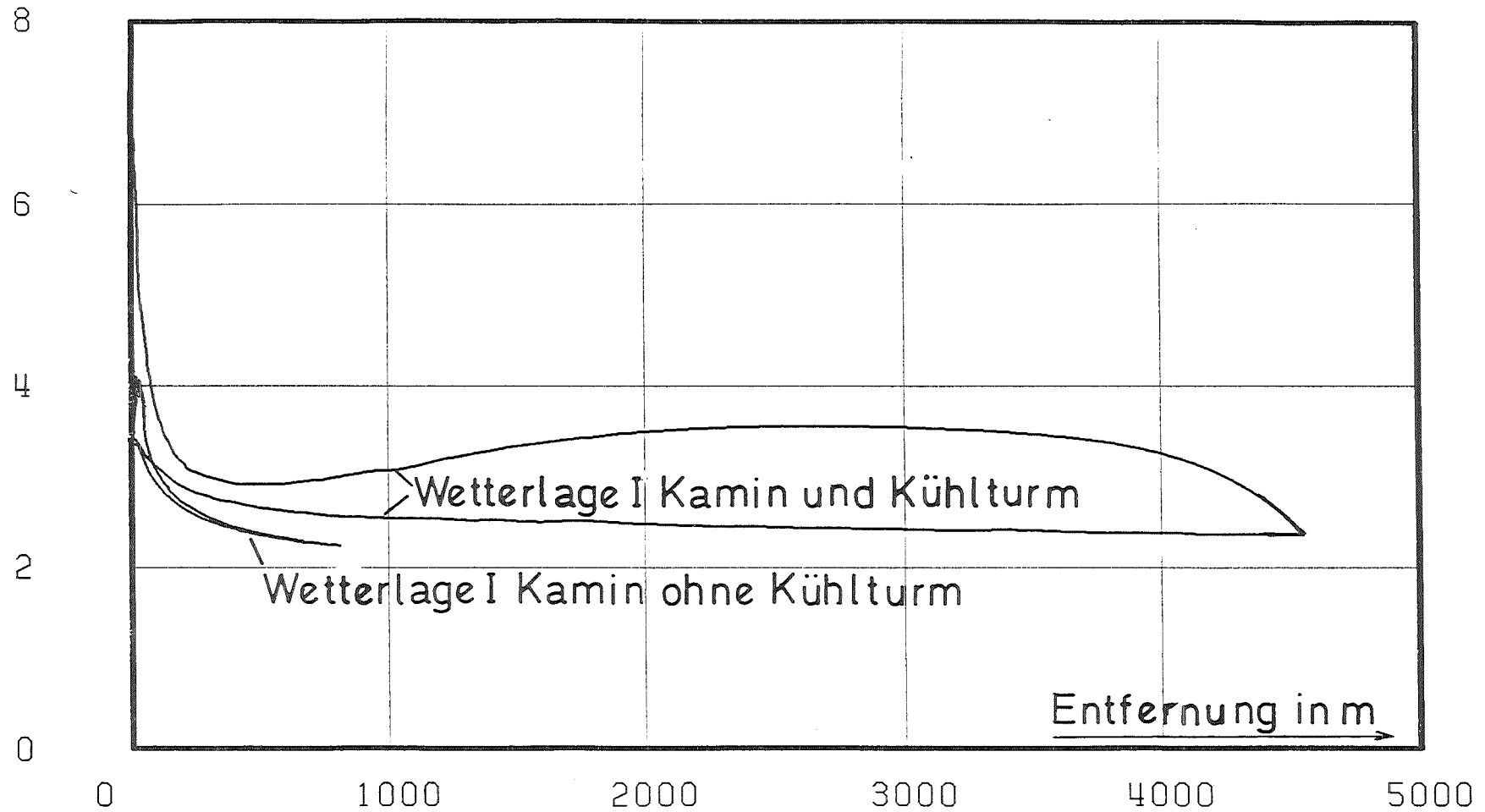


Abb. 29: Maximaler und minimaler pH-Wert bei Wetterlage I (mit Naßentschwefelung)

MAXIMALER, MINIMALER PH-WERT

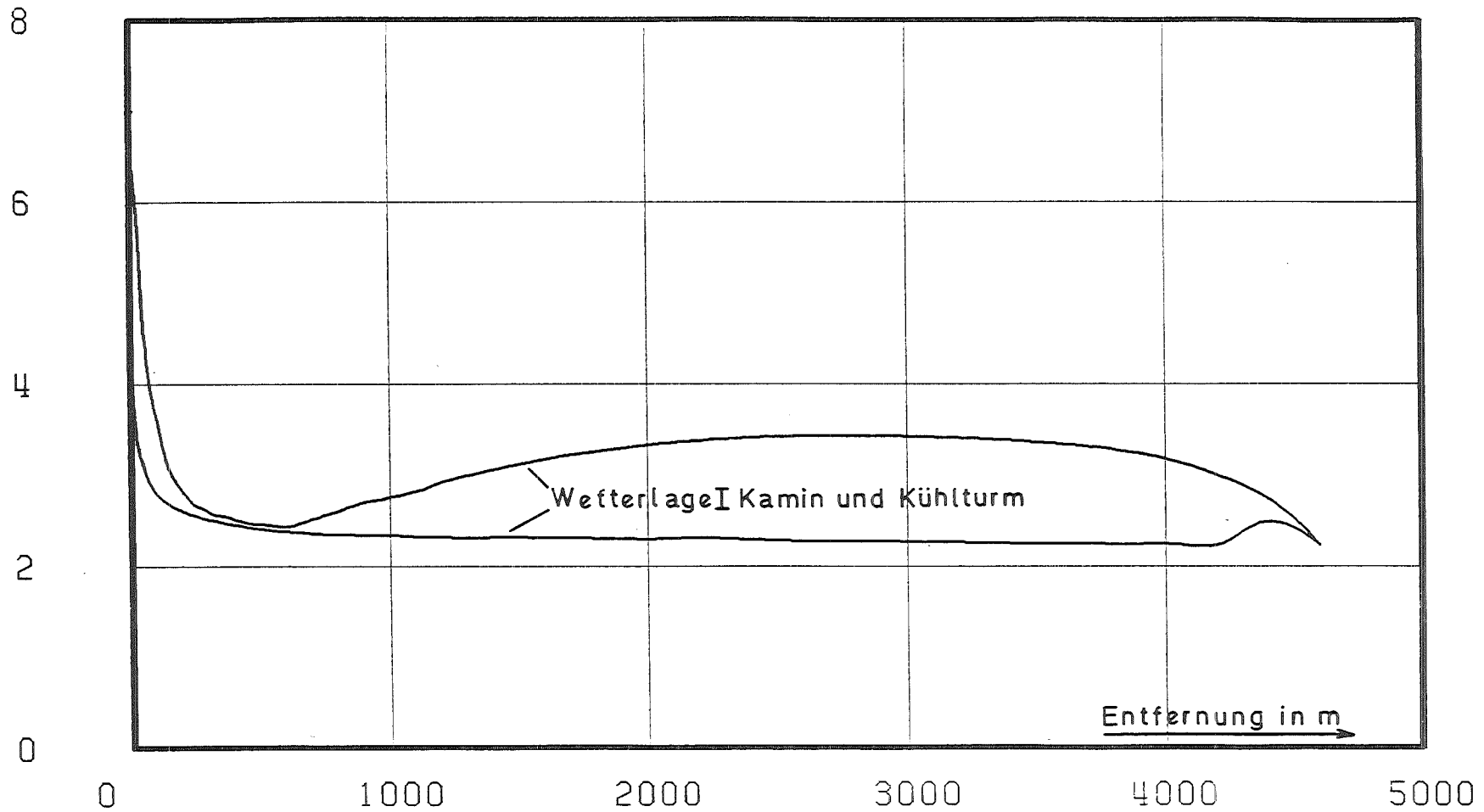


Abb. 30: Maximaler und minimaler pH-Wert bei Wetterlage I (ohne Naßentschwefelung)

niedrigt sich der pH-Wert auf etwa 2,2. Dieser Prozess findet auch bei Mischung beider Fahnen statt. Erst nach vollständiger Mischung beider Fahnen ändert sich der pH-Wert nur noch wenig. Er liegt zwischen 2,5 und 3,5. Ohne Naßentschwefelung erhält man bis auf die Quellnähe keine wesentlichen Unterschiede zum Fall mit Naßentschwefelung. Aus den Ergebnissen kann der Schluß gezogen werden, daß bei Einleitung der Abgase in den Kühlturm ebenfalls Tröpfchen mit pH-Werten zwischen 2,5 und 3,5 entstehen. Diese pH-Werte können unter Umständen bereits an der Mündung des Kühlturms erreicht werden.

5.2 Die Sulfatbildung durch homogene Oxidationsprozesse

Die homogene Oxidation von SO_2 spielt in Quellnähe nur eine untergeordnete Rolle, da die Abgasfahne kaum OH-Radikale enthält. Bei Wetterlage I ist die homogene Bildungsrate erst nach Beendigung der heterogenen Oxidation von Bedeutung. Aber auch in den größeren Entfernungen wird im Vergleich zur heterogenen Oxidation nur wenig Sulfat gebildet. Bei Wetterlage II dominiert bereits nach etwa 1 km die homogene Rate gegenüber der heterogenen. Trotzdem erreicht das durch homogene Oxidation gebildete Sulfat erst ab 10 km Entfernung Werte, die mit denen der heterogenen Oxidation vergleichbar sind (Abb. 25). In noch größeren Distanzen überwiegt das durch homogene Oxidation gebildete Sulfat in der Fahne.

6. Schlußfolgerungen

Der Einfluß der dynamischen Wechselwirkungen zwischen Kamin- und Kühlturmfahnen auf die Bodenkonzentration der Abgase hängt von der Anordnung, Höhe und den Emissionsbedingungen beider Quellen ab. Außerdem spielen die meteorologischen Bedingungen am Standort eine Rolle. Aussagen über die Auswirkungen lassen

sich daher nur im konkreten Fall machen, welcher sich aber nicht verallgemeinern läßt. Bei günstiger Anströmung, d. h. wenn die Windrichtung mit der Verbindungslinie Kamin/Kühlturm fluchtet, kann die bodennahe Konzentration der Kaminabluft durch die dynamische Wechselwirkung deutlich verringert werden; bei ungünstiger Anströmung, d. h. wenn in Windrichtung gesehen ein bestimmter seitlicher Abstand zwischen Kamin und Kühlturm vorliegt, kann die bodennahe Konzentration der Kaminabluft durch die dynamische Wechselwirkung in Einzelfällen um 50 % ansteigen. Bei Langzeitberechnungen, bei der viele Einzelfälle überlagert werden, wird die Erhöhung allerdings deutlich kleiner sein. Wird bei neuen Anlagen der positive Einfluß geschickt ausgenutzt, d. h. z. B. an manchen Standorten: Fällt die Verbindungslinie Kamin-Kühlturm mit der Hauptwindrichtung zusammen, dann kann die bodennahe Schadstoffkonzentration im Hauptbeaufschlagungsgebiet selbst bei Langzeitberechnungen deutlich verringert werden.

Obwohl die Ansätze für die Bildung von Sulfat in der Abgasfahne noch nicht durch Messungen in der Atmosphäre ausgetestet sind, können aus den Ergebnissen einige Aussagen allgemeinerer Art über die chemische Wechselwirkung abgeleitet werden.

Bei hoher atmosphärischer Feuchte und geringer Sonneneinstrahlung wird Sulfat vorwiegend durch heterogene chemische Reaktionen gebildet. Durch die Mischung der Abgasfahne ohne Naßentschwefelung mit der Kühlturmfahne wird die Sulfatbildung erhöht. Die berechneten Abbauraten von SO_2 entsprechen denjenigen, die Dittenhöfer (1979) in mit Kühlturmfahnen und Wolken vermischten Abgasfahnen gemessen hat. Bei geringer atmosphärischer Feuchte und hoher Einstrahlung ist die heterogene Reaktion nach wenigen 100 m vom Kamin abgeschlossen. Danach dominieren die homogenen Abbauprozesse bei der Sulfatbildung besonders im mesoskaligen Bereich.

Der Einsatz der Naßentschwefelung liefert - zunächst ohne Beeinflussung durch einen Kühlturm - zwar eine Verminderung des SO_2 Gehalts der Abgasfahne aber auch eine Erhöhung des Sulfatgehalts durch verstärkte heterogene SO_2 -Reaktionen. Außerdem erhöht sich durch die Reduktion des Kaminfahnenaufstiegs die Abluft-Konzentration in Bodennähe. Um aus der Naßentschwefelung einen größeren Nutzen auch für die nähere Umgebung zu erzielen, muß der Kaminfahnenaufstieg erhöht werden. Dies kann z. B. durch die Einleitung der Abgase in den Kühlturm geschehen. Durch diese Maßnahme wird sowohl der Aufstieg erhöht als auch die Sulfatproduktion gegenüber dem Fall ohne Einleitung vermindert. Nachteil der Einleitung sind die dabei entstehenden sauren Tröpfchen im Kühlturmschwaden mit pH-Werten zwischen 2,5 und 3,5. Es muß deshalb gewährleistet sein, daß derartige Tröpfchen nicht zum Boden oder an Gebäude gelangen. Dies läßt sich durch einen ausreichend hohen und weitgehend freistehenden Naturzug-Naßkühlturm mit hochwirksamen Tropfenabscheidern erreichen. Eine weitere Lösung erscheint in diesem Fall die Verwendung eines Trocken- bzw. Hybridkühlturms.

Symbolliste

a, c	:	Konstanten
c_p	:	spezifische Wärme bei konstantem Druck in $J \cdot kg^{-1} \cdot grad^{-1}$
$\frac{f'}{f}$:	spezifische Feuchtedifferenz (Dampf- und Wolkenströpfchen) zwischen Fahne und Umgebung in $g \cdot kg^{-1}$
g	:	Erdbeschleunigung in $m \cdot s^{-2}$
k	:	turbulente kinetische Energie in $m^2 \cdot s^{-2}$
K_u	:	Umgebungsdiffusionskoeffizient in $m^2 \cdot s^{-1}$
K_{ind}	:	induzierter Diffusionskoeffizient in $m^2 \cdot s^{-1}$
K_{hy}	:	Diffusionskoeffizient für Wärme in y-Richtung in $m^2 \cdot s^{-1}$
K_{hz}	:	Diffusionskoeffizient für Wärme in z-Richtung in $m^2 \cdot s^{-1}$
K_{my}	:	Diffusionskoeffizient für Impuls in y-Richtung in $m^2 \cdot s^{-1}$
K_{mz}	:	Diffusionskoeffizient für Impuls in z-Richtung in $m^2 \cdot s^{-1}$
K_{ry}	:	Diffusionskoeffizient für Regentröpfchen in y-Richtung in $m^2 \cdot s^{-1}$
K_{rz}	:	Diffusionskoeffizient für Regentröpfchen in z-Richtung in $m^2 \cdot s^{-1}$
L	:	latente Verdampfungswärme in $J \cdot kg^{-1}$
\overline{Pr}	:	Produktionsterm aufgrund wolkenphysikalischer Prozesse in $g \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$
$\overline{q_{cf}}$:	spezifischer Wolkenströpfchengehalt der Fahne in $g \cdot kg^{-1}$
$\overline{q_{rf}}$:	spezifischer Regentröpfchengehalt der Fahne in $g \cdot kg^{-1}$
T_u	:	Umgebungstemperatur in K
$\frac{T_v'}{T_v}$:	virtuelle Temperaturdifferenz zwischen Fahne und Umgebung in K
$\frac{T_{vu}}{T_s'}$:	virtuelle Temperatur in der Umgebung in K
$\frac{T_s'}{T_s}$:	spezifische Temperaturdifferenz zwischen Fahne und Umgebung in K (s.Text)
u_u	:	Windgeschwindigkeit in der Umgebung in $m \cdot s^{-1}$
$\frac{v_f}{v_f}$:	Geschwindigkeitskomponente in y-Richtung in der Fahne in $m \cdot s^{-1}$
$\frac{w_f}{w_f}$:	Vertikalgeschwindigkeit in der Fahne in $m \cdot s^{-1}$
x	:	Koordinate in Transportrichtung in m
y	:	horizontale Koordinate senkrecht zur Transportrichtung in m
z	:	vertikale Koordinate senkrecht zur Transportrichtung in m
$\overline{\eta_f}$:	Vorticity in der Fahne in s^{-1}
$\overline{\phi_f}$:	Stromfunktion in der Fahne in $m^2 \cdot s^{-1}$
$\overline{\epsilon}$:	Dissipationsrate der turbulenten kinetischen Energie in $m^2 \cdot s^{-3}$
θ	:	potentielle Temperatur in K
Δx	:	Schrittweite in Transportrichtung in m

7. Literatur

Briggs, G. A. (1969):

Plume rise.

U. S. Atomic Energy Commission Division of Techn. Information

Bringfelt, B. (1968):

Plume rise measurements at industrial chimneys.

Atm. Env. 2, 575-598

Cocks, A. T. and Fletcher, I. S. (1979):

A model of gas-phase chemical reactions of power station plume constituents.

CERL-Report, RD/L/R 1999

CSANADY, G. T. (1973):

Turbulent diffusion in the environment,

R. Reidel, Dordrecht, p. 63

Dittenhoefer, A. C. (1979):

The chemical transformation of sulfur dioxide to sulfate in the plume of the coal burning Keystone power plant.

Thesis, Penn. State University.

Dlugi, R. (1982):

Untersuchung zur Bildung schwefelhaltiger Aerosolteilchen:

Die Bedeutung der heterogenen SO₂-Oxidation.

KfK-Bericht 3329

Dlugi, R. u. a. (1985):

Chemische Reaktionen und Aerosolverhalten in Rauchfahnen mit kondensierter Atmosphäre.

KfK-Bericht 3817

Fisher, B.E.A. (1984):

The long-range transport of air pollutants - some thoughts on the state of modelling.

Atmospheric Environment, Vol. 18, Nr. 3, 553-562

Kessler, E. (1969):

The Distribution and continuity of water substance in atmospheric circulations.

Met. Monographs. Nr. 32, Nov.

Kiefer, H., Koelzer, W., König, L. A. (Hrsg.) (1980):

Jahresbericht 1979 der Hauptabteilung Sicherheit.

KfK 2939, S. 182

Klug, W., Grimm, E. (1979):

Ein Modell zur Simulation von Kühlturmschwaden für klimatologische Zwecke.

Met. Rdsch. 32. 13-17, Febr.

Nester, K. (1976):

WALKÜRE - Simulation der Wirbelstruktur der Abluftströmung Kühltürmen mit einem Rechenprogramm.

Gesellschaft für Kernforschung mbH, Karlsruhe, KfK 2249

Nester, K. (1980):

Simulation von Kühlturmfahnen, in Abwärmeprojekt Oberrheingebiet.

Texte Umweltbundesamt S. 184-241

Nester, K., Hübschmann, W. (1984):

in G. Erst u. a.: Ergebnisse der Schwadenausbreitungsrechnungen,

VDI-Fortschrittsberichte, Reihe 15, Nr. 30, S. 37

Ooms, G. (1972):

A new method for the calculation of the plume path of gases emitted by a stack.

Atm. Env. 6, 899-909

Rudolf, B. (1984):

The Cooling Tower Model SMOKA and its application to a large set of data.

Proc. of the 13th Nato/CCMS-Meeting, Ile des Embiez/France, 223-244

Schatzmann, M. (1979):

An integral model of plume rise.

Atm. Env. 13, 721-731

Schumann, U. (1975):

Über die direkte Lösung der diskretisierten Poisson-Gleichung mittels zyklischer Reduktion.

Ext. Bericht KfK-Ext. 8/75-6

Snell, W. G., Jubach, R. W. (1981):

Atmospheric dispersion models for potential accident consequence assessments at nuclear power plants.

Technical basis for regulatory guide 1.145, NUREG/CR-2260

Stone, H. L. (1968):

Iterative Solution of implicit approximations of multi-dimensional partial differential equations.

SIAM, Journal of Num. Analysis, Vol. 5, 530-558

A N H A N G A

P R O G R A M M B E S C H R E I B U N G

F Ü R D A S M O D E L L

W A L K Ü R E - C

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
2. Handhabung des Programms
 - 2.1 Eingabedaten
 - 2.1.1 Meteorologische Daten, Ausbreitungskategorie
 - 2.1.2 Emissionsdaten, geometrische Anordnung
 - 2.1.3 Parameter für den dynamischen Teil und Numerik
 - 2.1.4 Parameter für das chemische Modell
 - 2.2 Ausgabe des Modells
 - 2.2.1 Ausgabe auf Schnelldrucker
 - 2.2.2 Ausgabe auf Dateien
 - 2.3 Beispiel für einen Rechenlauf
 - 2.3.1 Quellcode
 - 2.3.2 compile-Linkstep
 - 2.3.3 Go-Step
3. Numerische Verfahren
 - 3.1 Diskretisierung und Integrationsschema
 - 3.2 Diskretisierung des Advektions- und Diffusionsterms
 - 3.3 Numerische Integration
 - 3.4 Lösung des Gleichungssystems

- 4. Struktur des Quellcodes
- 4.1 Struktur des Hauptprogramms
- 4.2 Struktur der Subroutinen

- 5. Die wichtigsten Subroutinen

- 6. Erklärung der Variablen
- 6.1 Die Feldvariablen
- 6.2 Eindimensionale Variable

1. Einleitung

Die nachfolgende Programmbeschreibung gibt einen Überblick über das Modell WALKÜRE-C. Sie enthält eine Zusammenstellung der Eingabedaten des Modells. Am Beispiel eines Rechenlaufs wird die Ausgabe demonstriert. Außerdem werden die numerischen Verfahren und die Diskretisierung sowie die Struktur des Quellcodes angegeben.

2. Handhabung des Programms

2.1 Eingabedaten

Die Eingabedaten werden formatfrei von der logischen Einheit 08 gelesen. Die angegebene Reihenfolge ist verbindlich.

2.1.1 Meteorologische Daten

Die meteorologischen Daten müssen folgendermaßen angeordnet sein:

Zeile	Inhalt
(x= zusätzlich)	
<hr/>	
1	IZTP, IZRFP, IZPP, IZUP, ITETAU
2	ZT(N), N= 1, IZTP
3	TW(N), N= 1, IZTP
4	ZP(N), N= 1, IZPP
5	PW(N), N= 1, IZPP
5x	(IZFP, falls IZRFP= 0)
6	ZRF(N), N= 1, IZRFP
7	RFW(N), N= 1, IZRFP
	oder falls IZRFP= 0
6	ZF(N), N=1, IZFP
7	FW(N), N=1, IZFP
8	ZU(N), N= 1, IZUP
9	UW(N), N= 1, IZUP
	falls ITETAU ungleich 0
9x	ZTETAU(N), N= 1, ITETAU
9xx	TETAUW(N), N= 1, ITETAU
10	SOY, PY, SOZ, PZ

Tabelle der meteorologischen Größen

Variable	Erklärung
IZTP	Anzahl der Punkte im Temperaturprofil
IZRFP	~ im Feuchteprofil
IZFP	~ im Feuchteprofil, falls IZRFP= 0
IZPP	~ im Druckprofil
IZUP	~ im Windprofil
ITETAU	~ im Windrichtungsprofil
ZT	Höhen der Punkte im Temperaturprofil [m]
TW	Temperatur [K]
ZP	Höhen der Punkte im Druckprofil [m]
PW	Druck [mb]
ZRF	Höhen der Punkte im Feuchteprofil [m]
RFW	Relative Feuchte [%]
ZF	Höhen der Punkte im spez. Feuchteprofil [m]
FW	Spezifische Feuchte [g kg^{-1}]
ZU	Höhen der Punkte im Windprofil [m]
UW	Windgeschwindigkeit [m s^{-1}]
ZTETAU	Höhen der Punkte im Windrichtungsprofil [m]
TETAUW	Windrichtung [gr]
SOY, SOZ	Ausbreitungsparameter
PY, PZ	$\sigma = \sigma_0 j \quad x^P j \quad \text{für } j = y, z$

2.1.2 Quelldaten

Die Emissionsdaten sowie die geometrische Anordnung werden wie folgt eingegeben:

Zeile	Inhalt
11	IEFA
12	EF(N), N= 1, IEFA
13	JQUELL, (IQ(K), K= 1, JQUELL)
14	IKUEHL(N), FA(N), TA(N), WA(N), QRA(N), CZA(n), A(N), B(N), BH(N), N= 1, JQUELL
15	NQX(N), N= 1, IEFA
16	IZQE, JX(N), N= 1, IZQE
(DO 210	N= 1, IZQE)
16 + 1	IQX(K,N), K= 1, JX(N)
bis 16 + izqe	

Tabelle der Emissionsdaten

Variable	Erklärung
IEFA	Anzahl der Hauptflächen, an denen Feld- querschnitte ausgegeben werden sollen
EF	Entfernung (x) der Hauptfläche in m
JQUELL	Anzahl der Quellen
IQ	seitliche Entfernung der Quelle vom Feld- mittelpunkt, in Gitterpunkteneinheiten
IKUEHL	Information ob Kühlturm oder Kamin IKUEHL= 1 : Kühlturm, Berücksichtigung des Downwash IKUEHL= 0 : Kamin, kein Downwash
FA	Feuchteüberhöhung zur Umgebung in g kg^{-1}
TA	Temperaturüberhöhung in K
WA	vertikale Austrittsgeschwindigkeit in m s^{-1}
QRA	Regentropfengehalt in g kg^{-1}
CZA	Tracerkonzentration
A	halbe horizontale Ausdehnung der Quelle in m
B	halbe vertikale Ausdehnung der Quelle in m
BH	Höhe der Quelle in m
IZQE	
NQX(N)	Angaben über zusätzliche Quellen
JX(N)	
IQX(K,N)	

2.1.3 Parameter für den dynamischen Teil und Numerik

Die Parameter für den dynamischen Teil des Modells werden wie folgt eingegeben:

Zeile	Inhalt
17	TI, BETA, CDPR, CO
18	IZN, EMAMAX, KO
19	IZ(N), N= 1, IZN
20	DSL, DY, DZ, XANF, GG, DXMAX
21	IBANDP, IHAUPT, IS, IZEN
22	INDEX, NMO, MY, NZ, LZG

Variable	Erklärung
TI	Prop. Faktor zur Berechnung der turbulenten kinetischen Energie am Anfang aus WA. $k_0 = (TI WA)^2$
BETA	Prop. Faktor zur Berechnung des Diffusionskoeffizienten am Anfang. $K_0 = \beta R_0 WA$
CDPR	Faktor im Produktionsterm (turb. kin. Energie)
CO	Faktor zur Festlegung der Lage des Vorticity-Maximums bezüglich A
IZN	Anzahl der Parameter für das Verfahren von Stone
EMAMAX	Parameter (Verfahren von Stone)
KO	Anzahl der SOR-Schritte
IZ	Parameter (Verfahren von Stone)
DSL, DY, DZ	Maschenweite $\Delta x, \Delta y, \Delta z$
XANF	Anfangswert für x
GG	Kriterium zum Umschalten in y-Richtung: maximaler Geschwindigkeitsbetrag am seitlichen Rand
DXMAX	maximale Schrittweite in x-Richtung
IBANDP	Ausgabe der Felder auf Datei falls IBANDP= 1
IHAUPT	Ausgabe der Felder nur an Hauptflächen falls IHAUPT= 1
IS	Randbedingung für V, W: IS = 0, V = 0 am seitlichen Rand IS = 1, W = 0 am seitlichen Rand
IZEN	falls IZEN = 1, Umgebungsadvektion zentriert falls IZEN = 2, Umgebungsadvektion Upwind
INDEX	Maximale Anzahl der Integrationsebenen
NMO	Index Mitte des Feldes
MY, NZ	Anzahl Feldpunkte in y-z-Richtung
LZG	Kriterium zum Umschalten in z-Richtung: falls Maximum der turb. kin. Energie höher liegt als Gitterindex LZG, wird in z-Richtung umgeschaltet

2.1.4 Parameter für das chemische Modell

Die Parameter werden wie folgt eingegeben

Zeile	Inhalt
23	CNOXU, SO2U, EMNOX, OXRATE
24	Z11, Z2, Z3, Z4
25	REFMAX, UMUE, A1, VORFAK, TEMTUR
26	BETA3, VDEPOS
27	ITROPF
28	EMCA, EMSO2
29	S6M00, FEM0, CPM0, RAKS6
30	EMNH3, EMHCL, EMHNO3, EMCO2
31	CK11, CK21, CKH1
32	CK12, CK22, CKH2
33	CK13, CK23, CKH3
34	CK14, CK24, CKH4
35	CK15, CK25, CKH5
36	CK16, CK26, CKH6
37	CKW

Variable	Erklärung
CNOXU	Dichte NO_x der Umgebung in g m^{-3}
SO2U	Dichte SO_x der Umgebung in g m^{-3}
EMNOX	Verhältnis NO_x -Emission zu Tracer-Emission
OXRATE	Ratenkonstante homogene Oxidation
Z11, Z2, Z3, Z4	Parameter für das homogene Oxidationsmodell siehe Kap. 3
REFMAX	Maximale relative Feuchte (het. Modell)
UMUE	Massenzuwachskoeffizient (Partikel)
A1	Sulfat/ Trockenmasse am Anfang
VORFAK	Vorfaktor in a_0
TEMPUR	Temperatur für Berechnung Partialdruck SO_2
BETA3	Exponent bei SO_2
VDEPOS	Depositionsgeschwindigkeit in m s^{-1}
EMCA	Verhältnis Staubemission zu Tracer-Emission
EMSO2	Verhältnis SO_2 -Emission zu Tracer-Emission
ITROPF	mit Tropfenchemie (=1), ohne Tropfenchemie (=0)
S6M00	Masse Sulfat/ Tropfentrockenmasse g/ g
FEMO	Masse Eisen (katalytisch)/ Tropfentrockenmasse
CPMO	Masse Metallionen/ Tropfentrockenmasse
RAKS6	Ratenkonstante Tropfenmodell
EMNH3	NH_3 -Emission zu Tracer-Emission
EMHCL	HCL-Emission zu Tracer-Emission
EMHNO3	HNO_3 -Emission zu Tracer-Emission
EMCO2	CO_2 -Emission zu Tracer-Emission
CK11, CK21, CKH1	1., 2. Dissoziations-, Henrykonstante SO_2
CK12, CK22, CKH2	NH_3
CK13, CK23, CKH3	HCL
CK14, CK24, CKH4	HNO_3
CK15, CK25, CKH5	CO_2
CK16, CK26, CKH6	NH_4
CKW	Wasserdissoziationskonstante

2.2 Ausgabe des Modells

2.2.1 Ausgabe auf Schnelldrucker

Die Ausgaben auf den Schnelldrucker sind weitgehend selbsterklärend. Ausgegeben werden :

- eingelesene Werte
- nach jedem Integrationsschritt :
 - Maxima und Lokalisation der Variablen
 - Maxima anderer Größen (z.B. pH-Wert, OH-Konzentration)
 - Anzahl der Iterationen
 - Raten und integrale Werte
 - Feldverteilungen (falls IHAUPT ungleich 1)
- Feldverteilungen an den Hauptebenen
- zum Schluss der Berechnung Tabellenausdruck von Raten, globaler Werte, Max- Min- Werte, Ober- und Untergrenze der sichtbaren Fahne.

2.2.2 Ausgabe auf Dateien

Die folgenden Daten (Bedeutung siehe Kap. 7) werden auf der File-Nr. ausgegeben:

File-Nr.	Daten
12	Felder dynamischer Größen: PHI, TS, F, QCH Anordnung: X, DY, DZ, Feld, usw. Format : 8(1PE10.3)

(Fortsetzung)

File-Nr.	Daten
13	Felder chemischer Größen: SO4, S6, SO4-HO, SO2, CZ, CA, CB, PROZ, RELFEU, PHWERT, OH Anordnung und Format wie File 12
14	Tabelle globaler Werte PRATE, PRATE6, RATSO4, RATES6, RATS4, RATSO2, RATECZ, RATECA, RATECB, S4HGLO, S6HGLO, S4GHOH, S2HGLO, CZHGLO, CAHGLO, CBHGLO, CBNT, CBNPT, CBNMT, SO4MAX, S6MAX, S4MAX, SO4BMX, S6BMX, S4BMX, CZMAX, CBOMAX, PHMIN, PHMAX Anordnung: Ianzahl XENTF(i), i= 1, ianzahl WERT(i), i= 1, ianzahl usw. Formate: I20 und 6(1PE12.4)
15	Depositionswerte DEPOS, DEPOSV, TEGRA, TEGRAV Anordnung und Formate wie File 14

2.3 Beispiel für einen Rechenlauf

Die Rechnungen wurden am Rechenzentrum des Kernforschungszentrums Karlsruhe durchgeführt. Das Rechenzentrum betreibt die Rechner IBM 3033 und Siemens 7890, das eingesetzte Betriebssystem ist MVS/SP 3.1 in Verbindung mit JES3.

2.3.1 Quellcode

Der Quellcode ist in Fortran IV geschrieben. Er befindet sich auf den beiden Dateien:

```
IMK910.KAMINPRO.FORT(SO4CHEM)
IMK910.TOWER4.FORT .
```

Die Anzahl der Statements beträgt ca. 6000 (incl. Comment-Statements).

2.3.2 Compile - Linkstep

Der Quellcode wird mit dem zur Verfügung stehenden Fortran-Compiler (Siemens/Fujitsu) übersetzt, mit dem Linkage-Editor gebunden und das entstandene Load-Module auf die Datei

```
IMK910.KAMINPRO.LOAD(SO4CHEM)
```

abgelegt. Es ist eine Regionangabe von 3000k erforderlich. Als Compiler-Options wird benutzt:

- OPT(3) Optimierungsstufe 3
- XOPT(NOIL, kein Inline-Coding
 NOAMOVE) kein Vorziehen von Statements aus Schleifen

Mit folgender CNTL-Datei wird der Compile-Linkstep ausgeführt:

```
//imk910CF JOB (0910,617,POZ3A),VERENKOTTE,NOTIFY=imk910,MSGCLASS=H,  
//          REGION=3000K  
//*MAIN LINES=15  
//**  
//**      COMPILER- UND LINKSTEP  
//**  
//**  
// EXEC F7CL,PARM.C='XOPT(NOIL,NOAMOVE)',PARM.L='SIZE=3000K'  
/*C.SYSPRINT DD DUMMY  
//C.SYSIN   DD DSN=IMK910.KAMINPRO.FORT(SO4CHEM),DISP=SHR  
//          DD DSN=IMK910.TOWER4.FORT,DISP=SHR  
//L.SYSLMOD DD DSN=IMK910.KAMINPRO.LOAD(SO4CHEM),DISP=SHR  
//L.SYSIN DD *  
          NAME SO4CHEM  
//
```

2.3.2 Go-Step

Als Beispiel zur Ausführung des Loadmodules ist folgende CNTL-Datei angegeben. Es handelt sich um eine Überlagerungsrechnung für einen Kamin und einen Kühlturm. Es wird bis zur maximalen Entfernung von 10 km gerechnet. Der Zeitbedarf beträgt ca. 5 min CPU.

```
//IMK910B1 JOB (0910,617,POZ3A),VERENKOTTE,REGION=4000K,TIME=10,
//          NOTIFY=IMK910,MSGCLASS=H
//*MAIN LINES=10
//**
//**      GO-STEP  SO4CHEM
//**
//**
//**
// EXEC F7G,NAME=SO4CHEM,PARM.G='SIZE=3000K'
//G.STEPLIB DD DSN=IMK910.KAMINPRO.LOAD,DISP=SHR
//*
//G.FT12F001 DD DSN=IMK910.SCHNITT.DYN.DATA(RUN1B),DISP=SHR
//G.FT13F001 DD DSN=IMK910.SCHNITT.CHEM.DATA(RUN1B),DISP=SHR
//G.FT14F001 DD DSN=IMK910.TABELLEN.DATA(RUN1C),DISP=SHR
//G.FT15F001 DD DSN=IMK910.DEPOSIT.DATA(RUN1C),DISP=SHR
/*G.FT16F001 DD DSN=IMK910.AUSGABE.DATA,DISP=SHR
//G.FT16F001 DD SYSOUT=*
//G.FT08F001 DD *,DCB=LRECL=80
  4   4   1   2   2           IZTP, IZRFP, IZPP, IZUP, ITETAU
    0.0  500.0 1000.0 3000.0 6000.0  TEMP AN HOEHEN
283.0  278.0  274.5  264.5   254.5  TEMPERATUREN
0.0
1000.
0.0  600. 1000. 3000.           FEUCHTE AN HOEHEN
85.  85.  85.  85.             REL. FEUCHTE
0.0 3000.           WIND AN HOEHEN
5.0  5.0           WINDGESCHWINDIGKEIT
0.0 3000.           HOEHE WINDRICHTUNG
240.  240.           WINDRICHTUNG
```

(Fortsetzung)

0.104	0.902	0.307	0.734		SOY PY SOZ PZ	KAT. D
4					IEFA, DARUNTER	ENTFERNUNGEN
1000	2000	5000	10000		ENTFERNUNGEN	
2	0	0			JQUELL, IQ	
1	15.5	17.7	5.00	0.00	1.00	28.00 28.00 140.00 KT(972MW)
0	27.1	22.5	6.00	0.00	1.00	13.50 13.50 210.00 MIT REA
0	0	0	0	0	0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 NQX
1	1					
0						
0.2	0.05	1.2	0.875		TI BETA CDPR	CO
9	.01	10			IZN EMAMAX	KO
9	6	3	8	5	2	7 4 1 IZ
10.	10.	10.	0.0	0.25	200.	DSL DZ DY XANF GG DXMAX
1	1	1	2			IBANDP IHAUPT IS IZEN
150	51	101	33	17		INDEX NMO LF LZ LZG
1.4E-5	1.3E-4	0.27	6.1E4			CNOXU SO2U EMNOX OXRATE
1.44E-9	1.755	1.5E5	1.07E4			Z11 Z2 Z3 Z4
.98	0.04	0.08	1.12E-3	273.12		REFMAX UMUE A1 VORFAK TEMTUR
	0.5	0.00				BETA3 VDEPOS
1						ITROPF
18.E-3	0.266	(0.266)	(0.153)			EMCA EMSO2
0.08	56.E-4	0.08	1.1111E-3			S6M00, FEMO, CPMO, RAKS6
0.0	0.0	0.0	0.0			RNH3, RHCL, RHNO3, RCO2
1.60E-5	6.42E-8	1.26E2				CK11, CK21, CKH1 NH3
1.32E-2	6.42E-8	1.242				CK12, CK22, CKH2 HCL
1.32E-2	6.42E-8	1.242				CK13, CK23, CKH3 NO2
1.32E-2	6.42E-8	1.242				CK14, CK24, CKH4 HNO3
3.53E-7	3.52E-19	5.45E-2				CK15, CK25, CKH5 CO2
1.32E-2	6.42E-8	1.242				CK16, CK26, CKH6 SO2
1.0E-14						CKW

/*

//

3. Numerische Verfahren

3.1 Diskretisierung und Integrationschema

Die partiellen Differentialgleichungen (s.Kap.2.1) parabolischen typs haben die allgemeine Form :

$$\begin{aligned}
 u \frac{\partial \Psi}{\partial x} + v \frac{\partial \Psi}{\partial y} + w \frac{\partial \Psi}{\partial z} = & \frac{\partial}{\partial y} K_y \frac{\partial \Psi}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} K_z \frac{\partial \Psi}{\partial z} \\
 & + \frac{\partial \Phi}{\partial x} f_1 + \text{Prod}(\Psi, \dots) . \quad (3.1)
 \end{aligned}$$

Prod(Ψ, \dots) bezeichnet den Produktionsterm. Aufgelöst nach Ableitungen in x lautet Gleichung (3.1):

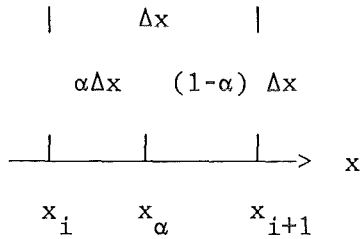
$$u \frac{\partial \Psi}{\partial x} - \frac{\partial \Phi}{\partial x} f_1 = \text{Rad} + \text{Prod} , \quad (3.2)$$

wobei Rad eine Abkürzung für den Advektions- und Diffusionsterm ist:

$$\text{Rad} = - v \frac{\partial \Psi}{\partial y} - w \frac{\partial \Psi}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial y} K_y \frac{\partial \Psi}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} K_z \frac{\partial \Psi}{\partial z}$$

Gleichung (3.2) wird in x-Richtung integriert. Dazu die Diskretisierung:

$$\begin{aligned} x_i &= i \Delta x, \quad i = 0, 1, 2, \dots \\ y_j &= j \Delta y, \quad j = 0, 1, 2, \dots \\ z_k &= k \Delta z, \quad k = 0, 1, 2, \dots \end{aligned}$$



Skizze zur Differenzenbildung.

Zur Differenzenbildung wird zwischen x_i und x_{i+1} ein x_α Punkt gewählt (siehe Skizze). Dann ergibt sich :

Upwind - Differenz :

$$u \frac{\psi_\alpha - \psi_i}{\alpha \Delta x} - f_1 \frac{\phi_\alpha - \phi_i}{\alpha \Delta x} = \text{Rad}_i + \text{Prod}_i$$

Downwind - Differenz :

$$u \frac{\psi_{i+1} - \psi_\alpha}{(1-\alpha)\Delta x} - f_1 \frac{\phi_{i+1} - \phi_\alpha}{(1-\alpha)\Delta x} = \text{Rad}_{i+1} + \text{Prod}_{i+1}$$

Nach Ψ_α aufgelöst ergibt sich:

$$\begin{aligned} \Psi_\alpha &= \frac{\alpha \Delta x}{u} [\text{Rad}_i + \text{Prod}_i + f_1 \frac{\phi_i - \phi_{i-1}}{\alpha \Delta x}] + \Psi_i \\ &= - \frac{(1-\alpha) \Delta x}{u} [\text{Rad}_{i+1} + \text{Prod}_{i+1} + f_1 \frac{\phi_{i+1} - \phi_i}{(1-\alpha) \Delta x}] + \Psi_{i+1} \end{aligned}$$

Daraus folgt für das Gleichungssystem:

$$\begin{aligned} \Psi_{i+1} - \frac{(1-\alpha) \Delta x}{u} [\text{Rad}_{i+1}] &= \\ &= \frac{(1-\alpha) \Delta x}{u} [\text{Prod}_{i+1}] + \frac{f_1}{u} \phi_{i+1} + \\ &+ \Psi_i + \frac{\alpha \Delta x}{u} [\text{Rad}_i + \text{Prod}_i] - \frac{f_1}{u} \phi_i \quad (3.3) \end{aligned}$$

mit der Bedeutung für α :

- $\alpha = 0$: Implizites Verfahren
- $\alpha = 1$: Explizites Verfahren
- $\alpha = 0.5$: Crank - Nicolson

Im Falle $\alpha < 1$ (also implizites Verfahren) stellt (3.3) ein Gleichungssystem dar, das mit einem geeigneten Verfahren gelöst werden muss.

Siehe dazu Kapitel 3.3.

3.2 Diskretisierung des Advektions- und Diffusionsterms

Der Advektions- und Diffusionsterm Rad

$$\text{Rad} = -v \frac{\partial \Psi}{\partial y} - w \frac{\partial \Psi}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial y} K_y \frac{\partial \Psi}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} K_z \frac{\partial \Psi}{\partial z}$$

wird auf die Form gebracht :

$$\begin{aligned} \text{Rad}(\Psi) &= \underline{A} \cdot \Psi = \\ &= A_{j,k} \Psi_{j,k-1} + B_{j,k} \Psi_{j-1,k} + C_{j,k} \Psi_{j,k} + D_{j,k} \Psi_{j+1,k} + E_{j,k} \Psi_{j,k+1} \end{aligned}$$

Die Koeffizienten A - E werden folgendermaßen bestimmt:

a) Advektion

Nach folgendem Schema werden rechts und links vom Punkt y_j die Geschwindigkeiten in y-Richtung bestimmt:

$\begin{array}{ccc} j-1 & j & j+1 \\ & & \\ \hline & \uparrow & \uparrow \\ & v_p = & v_m = \end{array}$	$\begin{array}{ccc} j-1 & j & j+1 \\ & & \\ \hline & \longrightarrow & \longleftarrow \\ & \frac{v_p + v_p }{2} & \frac{v_m - v_m }{2} \end{array}$
$\frac{v_j + v_{j+1}}{2} \quad \frac{v_{j+1} + v_j}{2}$	$\text{immer} \geq 0, \quad \text{immer} \leq 0$

Nach der Skizze ist der Windvektor links von $y_j \geq 0$, der Windvektor rechts von $y_j \leq 0$. Der Advektionsterm wird durch Upwind - Differenzenquotienten ersetzt:

Die Upwind - Differenz bezüglich v_p :

$$\frac{v_p + |v_p|}{2} \cdot \frac{\Psi_j - \Psi_{j-1}}{\Delta y}$$

Die Upwind - Differenz bezüglich v_m :

$$\frac{v_m - |v_m|}{2} \cdot \frac{\Psi_{j+1} - \Psi_j}{\Delta y}$$

Mit diesen Ausdrücken wird

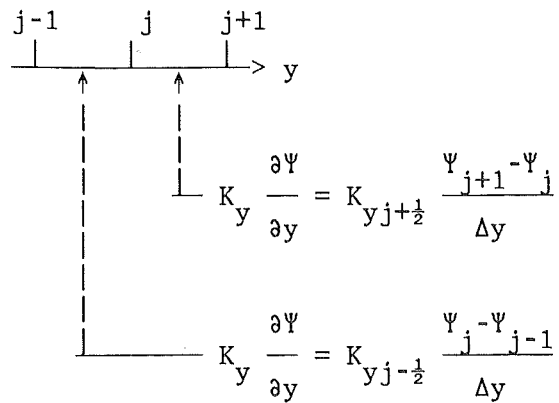
$$\begin{aligned} v \frac{\partial \Psi}{\partial y} &= \frac{v_p + |v_p| - v_m + |v_m|}{2 \Delta y} \Psi_j + \\ &+ \frac{-v_p - |v_p|}{2 \Delta y} \Psi_{j-1} + \frac{v_m - |v_m|}{2 \Delta y} \Psi_{j+1} \end{aligned}$$

Entsprechendes für den Advektionsterm in z-Richtung :

$$\begin{aligned} w \frac{\partial \Psi}{\partial z} &= \frac{w_p + |w_p| - w_m + |w_m|}{2 \Delta z} \Psi_k + \\ &+ \frac{-w_p - |w_p|}{2 \Delta z} \Psi_{k-1} + \frac{w_m - |w_m|}{2 \Delta z} \Psi_{k+1} \end{aligned}$$

b) Diffusion

Die Diskretisierung des Diffusionsterms veranschaulicht folgende Skizze:



Die nochmalige Ableitung liefert :

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial y} \left[K_y \frac{\partial \Psi}{\partial y} \right] &= \frac{1}{\Delta y} \left(\left[K_y \frac{\partial \Psi}{\partial y} \right]_{j+\frac{1}{2}} - \left[K_y \frac{\partial \Psi}{\partial y} \right]_{j-\frac{1}{2}} \right) \\ &= \frac{1}{\Delta y^2} \left(K_{y,j+\frac{1}{2}} [\Psi_{j+1} - \Psi_j] - K_{y,j-\frac{1}{2}} [\Psi_j - \Psi_{j-1}] \right) \end{aligned}$$

Entsprechend lautet der Diffusionsterm in z-Richtung :

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial z} \left[K_z \frac{\partial \Psi}{\partial z} \right] &= \frac{1}{\Delta z} \left(\left[K_z \frac{\partial \Psi}{\partial z} \right]_{k+\frac{1}{2}} - \left[K_z \frac{\partial \Psi}{\partial z} \right]_{k-\frac{1}{2}} \right) \\ &= \frac{1}{\Delta z^2} \left(K_{zk+\frac{1}{2}} [\Psi_{k+1} - \Psi_k] - K_{zk-\frac{1}{2}} [\Psi_k - \Psi_{k-1}] \right) \end{aligned}$$

Die Auflösung nach Ψ liefert :

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial y} K_y \frac{\partial \Psi}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} K_z \frac{\partial \Psi}{\partial z} = \\ & = \frac{K_{y_{j+\frac{1}{2}}}}{\Delta y} \Psi_{j+1} + \frac{K_{y_{j-\frac{1}{2}}}}{\Delta y} \Psi_{j-1} \\ & + \frac{K_{z_{k+\frac{1}{2}}}}{\Delta z} \Psi_{k+1} + \frac{K_{z_{k-\frac{1}{2}}}}{\Delta z} \Psi_{k-1} \\ & + \left[- \frac{K_{y_{j+\frac{1}{2}}} + K_{y_{j-\frac{1}{2}}}}{\Delta y^2} - \frac{K_{z_{k+\frac{1}{2}}} + K_{z_{k-\frac{1}{2}}}}{\Delta z^2} \right] \Psi_{jk} \end{aligned}$$

Die Koeffizienten A - E lauten somit:

$$\begin{aligned} A &= \frac{K_{z_{k-\frac{1}{2}}}}{\Delta z} + \frac{w_p + |w_p|}{2 \Delta z} \\ B &= \frac{K_{y_{j-\frac{1}{2}}}}{\Delta y} + \frac{v_p + |v_p|}{2 \Delta y} \\ D &= \frac{K_{y_{j+\frac{1}{2}}}}{\Delta y} - \frac{v_m - |v_m|}{2 \Delta y} \\ E &= \frac{K_{z_{k+\frac{1}{2}}}}{\Delta z} - \frac{w_m - |w_m|}{2 \Delta z} \\ C &= - \frac{K_{y_{j+\frac{1}{2}}} + K_{y_{j-\frac{1}{2}}}}{\Delta y} - \frac{K_{z_{k+\frac{1}{2}}} + K_{z_{k-\frac{1}{2}}}}{\Delta z} \\ & \quad - \frac{v_p + |v_p| - v_m + |v_m|}{2 \Delta y} - \frac{w_p + |w_p| - w_m + |w_m|}{2 \Delta z} \end{aligned}$$

Die Diffusionskoeffizienten an den Gitterzwischenpunkten werden berechnet mit :

$$K_{yj+\frac{1}{2}} = 0.5 (K_{yj} + K_{yj+1})$$

$$K_{yj-\frac{1}{2}} = 0.5 (K_{yj} + K_{yj-1})$$

$$K_{zk+\frac{1}{2}} = 0.5 (K_{zk} + K_{zk+1})$$

$$K_{zk-\frac{1}{2}} = 0.5 (K_{zk} + K_{zk-1})$$

und damit auch :

$$K_{yj+\frac{1}{2}} + K_{yj-\frac{1}{2}} = 0.5 (K_{yj+1} + 2 K_{yj} + K_{yj-1})$$

$$K_{zk+\frac{1}{2}} + K_{zk-\frac{1}{2}} = 0.5 (K_{zk+1} + 2 K_{zk} + K_{zk-1})$$

Die Koeffizienten lauten in ihrer endgültigen Form :

$$A = \frac{1}{2\Delta z} \left[\frac{K_{zk} + K_{zk-1}}{\Delta z} + w_p + |w_p| \right]$$

$$B = \frac{1}{2\Delta y} \left[\frac{K_{yj} + K_{yj-1}}{\Delta y} + v_p + |v_p| \right]$$

$$D = \frac{1}{2\Delta y} \left[\frac{K_{yj} + K_{yj+1}}{\Delta y} - v_m + |v_m| \right]$$

$$E = \frac{1}{2\Delta z} \left[\frac{K_{zk} + K_{zk+1}}{\Delta z} - w_m + |w_m| \right]$$

$$C = \frac{1}{2\Delta y} \left[- \frac{K_{yj+1} + K_{yj} + K_{yj-1}}{\Delta y} - v_p - |v_p| + v_m - |v_m| \right]$$

$$+ \frac{1}{2\Delta z} \left[- \frac{K_{zk+1} + K_{zk} + K_{zk-1}}{\Delta z} - w_p - |w_p| + w_m - |w_m| \right]$$

3.3 Numerische Integration

Zur weiteren numerischen Behandlung von Gl. 3.3 wird ihre linke Seite als Summe von Termen geschrieben, die Ψ^{i+1} als Faktor enthalten:

$$\begin{aligned} A_1 \cdot \Psi_{j,k-1}^{i+1} + B_1 \cdot \Psi_{j-1,k}^{i+1} + C_1 \cdot \Psi_{j,k}^{i+1} + \\ + D_1 \cdot \Psi_{j+1,k}^{i+1} + E_1 \cdot \Psi_{j,k+1}^{i+1} = q_{j,k}^i \end{aligned} \quad (3.4)$$

q ist die rechte Seite von Gl. 3.3, die alle Terme enthält, die nicht von x^{i+1} abhängen. Die A_1 bis E_1 berechnen sich aus:

$$\begin{aligned} A_1 &= - (1-\alpha) \Delta x/u \cdot A \\ B_1 &= - (1-\alpha) \Delta x/u \cdot B \\ C_1 &= 1 - (1-\alpha) \Delta x/u \cdot C \\ D_1 &= - (1-\alpha) \Delta x/u \cdot D \\ E_1 &= - (1-\alpha) \Delta x/u \cdot E \end{aligned} \quad (3.5)$$

3.4 Lösung des Gleichungssystems

Gleichungssystem 3.4 wird in Matrixform geschrieben:

$$M \cdot \Psi - q = 0 ,$$

Das erweiterte Gleichungssystem

$$(M + N) \cdot \Psi = (M + N) \cdot \Psi - (M \cdot \Psi - q)$$

führt zu einer Gauss-Seidel Iteration:

$$(M + N) \cdot \Psi^{\nu+1} = (M + N) \cdot \Psi^{\nu} - (M \cdot \Psi^{\nu} - q) , \nu = 0, 1, 2, \dots$$

Mit den Abkürzungen :

$$\delta^{\nu+1} = \Psi^{\nu+1} - \Psi^{\nu}$$

$$R^{\nu} = q - M \cdot \Psi^{\nu}$$

kann man schreiben:

$$(M + N) \delta^{\nu+1} = R^{\nu} .$$

Die Einführung von N ermöglicht eine einfache Dreieckszerlegung von $M + N$.

Nach der Dreieckszerlegung

$$M + N = L \cdot U$$

L = Lower-Matrix

U = Upper-Matrix

ist zu lösen:

$$(L \cdot U) \delta^{v+1} = R^v . \quad (3.6)$$

Falls man zur Abkürzung den Vektor V definiert :

$$U \cdot \delta^{v+1} = V ,$$

dann kann die Auflösung von Gl. 3.6 in zwei Schritten erfolgen:

1. $L \cdot V = R^v$, auflösen nach V,
2. $U \cdot \delta^{v+1} = V$.

Die Dreieckszerlegung geschieht nach dem Verfahren von Stone.

4. Die Struktur des Quellcodes

4.1 Struktur des Hauptprogramms

Das Hauptprogramm ist folgendermaßen strukturiert:

1. Einlesen der Eingabedaten
2. Berechnung der meteorologischen Umgebungsbedingungen
3. Berechnung der Anfangsfelder bei $X = X_{ANF}$
4. Schleifeneingang:
Berechnung der rechten Seite q^i an der Stelle X
5. Lösung der Differentialgleichungen:
 - a. Schleife 1: Berechnung der Variablen η , T_s , F , T_{KE} , DPR , QR , CZ an der Stelle $X_H = X + DX$
 - b. Berechnung des Wolkentropfengehalts QC , Staubgehalt in Tropfen CB und Reststaubgehalt CA
 - c. Schleife 2: Berechnung der Variablen $SOSSUM$, SO_4H_0 , SO_2 an der Stelle $X_H = X + DX$.
Berechnung SO_4 , S_6
6. Berechnung arithmetisch gemittelter Werte (Raten, Flüsse) aus den Felddaten

7. Bei Bedarf Umschaltroutine
8. Umspeichern der Felder, setze $X = XH$
9. Bei Erreichen der maximalen Entfernung Programm Stop
10. Sprung zu 4.

4.1.1 Berechnung der rechten Seiten (Punkt 4)

1. Berechnung der Stromfunktion PHI
2. Berechnung der Geschwindigkeitsfelder V und W
3. Berechnung der Koeffizienten A - E
4. Berechnung des Rad^i - Terms
5. Berechnung des Prod^i - Terms
6. Berechnung q^i

4.2 Struktur der Subroutinen zur Lösung der partiellen Differentialgleichungen

Die Subroutinen zur Lösung der partiellen Differentialgleichungen sind ähnlich aufgebaut. Sie unterscheiden sich in der Berechnung des Produktionsterms und in der Behandlung von Randbedingungen.

1. Berechnung von Prodb^{i+1} , Berechnung der $A_1 - E_1$ aus den $A - E$
2. Berechnung von r^{i+1} und vollständige rechte Seite
3. Lösung des Gleichungssystems
4. Abfrage ob Genauigkeit erreicht ist
5. Rückkehr zum Hauptprogramm

5. Die wichtigsten Subroutinen

Im folgenden werden die Subroutinen aufgelistet, mit denen die Variablen berechnet werden. Im Argumententeil sind nur die Hauptargumente aufgeführt. Für Details siehe Quellcodeausdruck.

Subroutine STROMF (ETA, .., PHI, ..)

Berechnung der Stromfunktion PHI aus der Vorticity ETA

Subroutine VWFELD (PHI, V, W, .., IS)

Berechnung des v-w-Feldes aus der Stromfunktion PHI

IS= 1: $w=0$ am seitlichen Rand

IS= 0: $v=0$ am seitlichen Rand

Subroutine ABCDEC (AMC, BMC, .., AHC, BHC, .., DKY, DKZ, U, V, W, ..)

Berechnung der Koeffizienten A - E,

AMC, BMC, .. für Impulsgleichung

AHC, BHC, .. für übrige Gleichungen,

Berechnen eines neuen DX (Schrittweite)

Subroutine IMPULS (... , RESETA, ETA, ..)

löst Gleichung für Vorticity ETA,

RESETA ist rechte Seite

Subroutine ENERGI (... , RESTS, TS, ..)

löst Gleichung für spezifische Enthalpie TS,

RESTS ist rechte Seite

Subroutine FEUCHT (... , RESF, F, ..)

löst Gleichung für spezifische Feuchte F,

RESF ist rechte Seite

Subroutine REGEN (... , RESQC, QR, ..)

löst Gleichung für spezifischen Regentropfengehalt QR

RESQR ist rechte Seite

Subroutine TURBKE (... , RESTKE, TKE, DPR..)

löst Gleichung für turbulente kinetische Energie TKE

RESTKE ist rechte Seite

Subroutine DISSIP (... , RESDPR, TKE, DPR..)

löst Gleichung für Dissipationsrate DPR

RESDPR ist rechte Seite

Subroutine TRACER (... , RESC, CZ, ..)

löst Gleichung für passiven Tracer CZ

RESC ist rechte Seite

Subroutine SO4SUM (... , RESSUM, SU, ..)

löst Gleichung für Summe des Sulfats auf Partikeln und in
Tropfen

RESSUM ist rechte Seite

Subroutine SO4GLH (... , RESO4H, SO4OH, ..)

löst Gleichung für Sulfat in der Gasphase

RESO4H ist rechte Seite

Subroutine SO4S6 (SO4, S6, SU, ..)

berechnet aus der Sulfat-Summe (SU) das Sulfat auf Partikeln
und in Tropfen (SO4, S6)

Subroutine SO2GLh (... , RESSO2, SO2, ...)

löst Bilanzgleichung für SO_2

RESSO2 ist rechte Seite

Subroutine HPLUS (FP, PSO2, CB, CZ, S6, QC, HP, HSO3)

berechnet die H^+ - und die HSO_3^- - Ionenkonzentration [MOL/ l].
(eindimensional).

Tropfeninhaltsstoffe werden proportional zu CB, die Gaskonzentrationen
proportional zu CZ gesetzt.

Subroutine KUBIK (A, B, C, X)

löst die kubische Gleichung $x^3 + a x^2 + b x + c = 0$.

X ist die größte positive Lösung.

Subroutine PTERM (P, PHI, T, TU, ...)

berechnet den Term P für die Gleichungen der turbulenten kinetischen
Energie und der Dissipationsrate.

Subroutine PRTERM (PR, QC, QSD, QR, ...)

berechnet den Term PR für die Bilanzgleichung für Regentropfen.

Subroutine TEMP (... , TH, TSH, TUH, FH, FUH, PUH, QCH, QSDH, RELFEU, TSU)

berechnet den Wolkentropfengehalt QC und die relative Feuchte RELFEU.

6. Erklärung der Variablen

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Variablen aufgeführt.

6.1 Die Feldvariablen

Variable	Erklärung
ETA, ETAH	Vorticity an Stelle x^i bzw. x^{i+1} in $m s^{-2}$
TS, TSH	spezifische Entalpy/ cp in K
QR, QRH	Regentropfengehalt in $g kg^{-1}$
TKE, TKEH	turbulente kinetische Energie in $m^2 s^{-2}$
DPR, DPRH	Dissipationsrate der turb. kinetischen Energie in $m^2 s^{-3}$
F, FH	spezifische Feuchte in $g kg^{-1}$
SO2, SO2H	SO ₂ - Konzentration in $g m^{-3}$
SO4HO, SO4HOH	Sulfatkonzentration in der Gasphase in $g m^{-3}$
SO4, SO4H	Sulfatkonzentration auf Partikeln in $g m^{-3}$
S6, S6	Sulfatkonzentration in Tropfen in $g m^{-3}$
SU, SUH	Summe aus SO4 und S6
CZ, CZH	Tracer- Konzentration
CA, CAH	Staubpartikelkonzentration in $g m^{-3}$
CB, CBH	Partikelkonzentration in Tropfen $g m^{-3}$
RESETA	rechte Seite Impuls-(Vorticity) Gleichung
RESTS	rechte Seite Energiegleichung
RESF	rechte Seite Feuchtegleichung
RESTKE	rechte Seite Gleichung der turb. kin. Energie
RES DPR	rechte Seite Gleichung Dissipationsrate
RESQR	rechte Seite Gleichung Regentropfen
RESCZ	rechte Seite Gleichung Tracer

(Fortsetzung)

Variable	Erklärung
RESSO2	rechte Seite Gleichung SO ₂
RESO4H	rechte Seite Gleichung Sulfat in Gasphase
RESSUM	rechte Seite Gleichung Summe Sulfat
PHI, PHIH	Stromfunktion in m ² s ⁻¹
V, VH	Geschwindigkeit in y- Richtung
W, WH	Geschwindigkeit in z- Richtung
WPKL, WMKL	
DKIDH, DKIDHH	Diffusionskoeffizienten in y- Richtung
DKIDV, DKIDVH	Diffusionskoeffizienten in z- Richtung
P	P- Term (für Gleichung TKE und DPR)
AMC, BMC, CMC, DMC, EMC	Koeffizienten A - E für Impulsgleichung bei x ⁱ
AMCH, BMCH, CMCH, DMCH, EMCH	Koeffizienten an der Stelle x ⁱ⁺¹
AHC, BHC, CHC, DHC, EHC	Koeffizienten A - E für übrige Gleichungen bei x ⁱ
AHCH, BHCH, CHCH, DHCH, EHCH	Koeffizienten an der Stelle x ⁱ⁺¹
TV, TVH	virtuelle Temperatur
TE, TEH	Temperatur
QC, QCH	Wolkentropfengehalt in g kg ⁻¹
QSD, QSDH	Sättigungsdefizit in g kg ⁻¹
SDQ	= QCH-QSDH
PR	Umwandlungsterm Regentropfen
RELFEU	relative Feuchte in %
ACONST	Ratenkonstante Sulfatproduktion auf Partiken
GRENZH	maximales Verhältnis SO ₄ H/ CAH
PROZ	Verhältnis SO ₄ H/ CAH/ Grenzh
PROD	Produktionsterm (chemisch) für SO ₄

(Fortsetzung)

Variable	Erklärung
HP	H^+ - Ionenkonzentration in Mol l^{-1}
PHWERT	ph- Wert der Tropfen
PRSO4	Produktionsterm (chemisch) für S6
PRSO4H	Gesamtproduktionsterm für Sulfat (für Abbau von SO_2)
OH	OH- Radikalkonzentration in g m^{-3}
R, RH	normiertes Anfangsfeld, normiertes Anfangsvoticityfeld
HELF	Hilfsfeld

6.2 Eindimensionale Variable

Variable	Erklärung
Z	Höhe Gitterpunkt in m
U	Windgeschwindigkeit in x- Richtung
TU	virtuelle Temperatur der Umgebung in $^{\circ}\text{K}$
TEU	Temperatur der Umgebung in $^{\circ}\text{K}$
TSU	spezifische Temperatur Umgebung
FU	spezifische Umgebungsfeuchte in g kg^{-1}
PU	Umgebungsdruck in mb
UST	$\partial u / \partial z$
USTU	$\partial u / \partial z u^{-1}$
TUA	$\partial TU / \partial z$
TEUA	$\partial TEU / \partial z$
FUA	$\partial FU / \partial z$
	jeweils an den Stellen x^i und x^{i+1}

(Fortsetzung)

Variable	Erklärung
DKMY, DKMYH	Diffusionskoeffizient Umgebung in y-Richtung
DKMN, DKMNH	Diffusionskoeffizient Umgebung in z-Richtung
Y	Hilfsfeld
IQ, EF, IQX, JX, NQX	siehe Kap. 2
IKUEHL, FA, TA, WA,	siehe Kap. 2
QRA, CZA, A, B, BH	siehe Kap. 2
TSA	spezifische Temperatur Quellmündung
TKEA	turb. kin. Energie Quellmündung
DPRA	Dissipationsrate Quellmündung
FAK, FAKRH	$\alpha \Delta x/ u, (1-\alpha) \Delta x/ u$
XENTF	Entfernung in x- Richtung
PRATE	analytische Rate SO ₄ in % h ⁻¹ bezogen auf SO ₂ -Konzentration
PRATE6	analytische Rate S6 in % h ⁻¹
RATSO4	Rate SO ₄ in % h ⁻¹
RATES6	Rate S6 in % h ⁻¹
RATS4	Rate homogenes Sulfat in % h ⁻¹
RATSO2	Abbaurrate SO ₂
RATECZ	Rate Tracer (zur Überprüfung der Massenerhaltung)
RATECA	Rate CA in % h ⁻¹ bezogen auf emittierte Staubmasse
RATECB	Rate CB in % h ⁻¹ bezogen auf emittierte Staubmasse
CZGLO, CZHGLO	mittlerer normierter Fluss CZ bei X, XH
CAGLO, CAHGLO	mittlerer normierter Fluss CA bei X, XH
CBGLO, CBHGLO	mittlerer normierter Fluss CB bei X, XH
SO4GLO, S4HGLO	mittlerer normierter Fluss SO ₄ bei X, XH
S6GLO, S6HGLO	mittlerer normierter Fluss S6 bei X, XH
S4GHO, S4GHOH	mittlerer normierter Fluss SO ₄ HO bei X, XH
SO2GLO, S2HGLO	mittlerer normierter Fluss SO ₂ bei X, XH

(Fortsetzung)

Variable	Erklärung
SO4TOT	Summe normierter Fluss SO4 und S6 bei XH
SO4TP	= S4HGLO
SO4TT	= S6HGLO
SOVER	SO4TT/SO4TP
RATKAR	(PRATE6/PRATE)/ (CBHGLO/CAHGLO)
GLOKAR	(SO4TT/SO4TP)/ (CBHGLO/CAHGLO)
QCGLOB	mittlerer normierter Fluss von QC bei XH
RFMIN	minimale relative Feuchte
RFMAX	maximale relative Feuchte
CZMAX	Maximum CZ
SO4MAX	Maximum SO4
S6MAX	Maximum S6
S4MAX	Maximum SO4HO
CBOMAX	Maximum am Boden CZ
SO4BAX	Maximum am Boden SO4
S6BMXX	Maximum am Boden S6
S4BMXX	Maximum am Boden SO4HO
PHMIN	minimaler ph-Wert
PHMAX	maximaler ph-Wert
RANDO	Randwerte der sichtbaren Fahne oben
RANDU	Randwerte der sichtbaren Fahne unten

(Fortsetzung)

Variable	Erklärung
DEPOS	Depositionsfluss am Boden von SO ₄ zw. X und XH
DEPOSV	= DEPOS/ Gesamtfluss SO ₄
TEGRA	Depositionsfluss zwischen XANF und XH
TEGRAV	= TEGRA/ Gesamtfluss SO ₄
ZFAHNE	Höhe des Kühlturmfahnenzentrums in m

A N H A N G B

Die Gleichungen des chemischen Modells

Inhaltsverzeichnis

1. Die homogene Oxidation von SO_2
2. Die heterogene Oxidation von SO_2 auf Partikeln und in Tropfen
3. Die Bilanzgleichung für den Staubgehalt
4. Die Berechnung der (H^+) und (HSO_3^-) -Ionenkonzentration
5. Die Bilanzgleichung für die SO_2 -Konzentration
6. Symboltabelle

1. Die homogene Oxidation von SO₂

Gleichung (15) in Kap. 4.2.1 wird einer Mittelbildung unterzogen. Mit Vernachlässigung von Termen mit Abweichungen vom Mittelwert erhält man für stationäre Bedingungen:

$$\begin{aligned} \bar{u} \frac{\partial}{\partial x} [\text{SO}_4^{2-}]_h + \bar{v} \frac{\partial}{\partial y} [\text{SO}_4^{2-}]_h + \bar{w} \frac{\partial}{\partial z} [\text{SO}_4^{2-}]_h = \\ \frac{\partial}{\partial y} K_Y \frac{\partial}{\partial y} [\text{SO}_4^{2-}]_h + \frac{\partial}{\partial z} K_Z \frac{\partial}{\partial z} [\text{SO}_4^{2-}]_h + k_4 [\text{OH}] [\text{SO}_2] \end{aligned} \quad (\text{B1})$$

$[\text{SO}_4^{2-}]_h$ = Sulfatkonzentration in der Gasphase.

Die Größe [OH] wird aus Gleichung (16) bestimmt.

2. Die heterogene Oxidation von SO₂ auf Partikeln und in Tropfen

Für die Summe Sulfat auf Partikeln und in Tropfen erhält man aus Gleichung (33) nach einer Mittelbildung und Vernachlässigung von Termen mit Abweichungen vom Mittelwert für stationäre Bedingungen:

$$\begin{aligned} \bar{u} \frac{\partial}{\partial x} [\text{SO}_4^{2-}]_s + \bar{v} \frac{\partial}{\partial y} [\text{SO}_4^{2-}]_s + \bar{w} \frac{\partial}{\partial z} [\text{SO}_4^{2-}]_s = \\ \frac{\partial}{\partial y} K_Y \frac{\partial}{\partial y} [\text{SO}_4^{2-}]_s + \frac{\partial}{\partial z} K_Z \frac{\partial}{\partial z} [\text{SO}_4^{2-}]_s + [\text{U}]_p (1+a) a_o \end{aligned} \quad (\text{B2})$$

$$\left(1 - \frac{[\text{SO}_4^{2-}]_p}{[\text{U}]_p^o} G^{-1} a^{-1}\right)^2 + A_t ([\text{SO}_4^{2-}]_t)^{\epsilon} [\text{FE(III)}]^{\lambda} [\text{H}^+]^{\phi} [\text{HSO}_3^-]^w$$

mit

$$A_t = K_z \cdot 1000^{\varepsilon+\lambda-1} \cdot \mu_{\text{SO}_4^{2-}}^{1-\varepsilon} \cdot \mu_{\text{FE}}^{-\lambda} \cdot \rho_w^{1-\varepsilon-\lambda}$$

3. Die Bilanzgleichung für den Staubgehalt

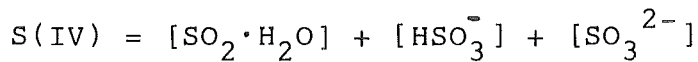
Die Staubkonzentration wird nach Gleichung (38) berechnet. Nach einer Mittelbildung lautet sie:

$$\bar{u} \frac{\partial [U]}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial [U]}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial [U]}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial y} K_y \frac{\partial}{\partial y} [U] + \frac{\partial}{\partial z} K_z \frac{\partial}{\partial z} [U] \quad (\text{B3})$$

Die in Gleichung (B2) benötigten Größen $[U]_t$ und $[U]_p$ werden mit den Gleichung (40) und (41) berechnet.

4. Die Berechnung des (H^+) und (HSO_3^-) -Ionenkonzentration

Zur Berechnung der (H^+) - und (HSO_3^-) -Konzentration im Tropfen wird davon ausgegangen, daß SO_2 in wässriger Lösung (als S(IV) bezeichnet) in drei Arten vorkommt:



$[\text{SO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}]$ ist die hydratisierte Form von SO_2 , HSO_3^- das Bisulfit-, SO_3^{2-} das Sulfit-Ion. Nach dem Henry'schen Gesetz ist

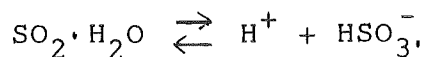
$$[\text{SO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}] = K_H \cdot P_{\text{SO}_2}$$

wobei

K_H = Henrykonstante

P_{SO_2} = Partialdruck von SO_2 .

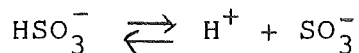
$[SO_2 \cdot H_2O]$ dissoziiert nach der Reaktionsgleichung



Im Gleichgewicht gilt:

$$[HSO_3^-] = K_{D1} \frac{[SO_2 \cdot H_2O]}{[H^+]} = K_H K_{D1} \frac{P_{SO_2}}{[H^+]} = \frac{\phi_1}{[H^+]}$$

K_{D1} ist die 1. Dissoziationskonstante. $[HSO_3^-]$ dissoziiert nach der Reaktionsgleichung



wobei im Gleichgewicht gilt:

$$[SO_3^-] = K_{D2} \frac{[HSO_3^-]}{[H^+]} = K_H K_{D1} K_{D2} \frac{P_{SO_2}}{[H^+]^2} = \frac{\phi_2}{[H^+]^2}$$

K_{D2} ist die 2. Dissoziationskonstante.

Die noch einzige Unbekannte (H^+) wird aus der Ionenneutralitätsbedingung berechnet. Es gilt:

$$(H^+) = (I^-) - (I^+)$$

wobei (I^-) die Summe der negativen, (I^+) die Summe der positiven Ionen (ohne H^+) bedeutet.

Im Modell werden folgende negativen Ionen berücksichtigt:

$$[I^-] = [\text{HSO}_3^-] + 2[\text{SO}_3^{2-}] + 2[\text{SO}_4^{2-}] + [\text{HCO}_3^-] \\ + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{Cl}^-] + [\text{NO}_3^-] + [\text{OH}^-].$$

Die noch unbekanntenen Ionenkonzentrationen werden berechnet nach:

$$[\text{HCO}_2^-] = K_{12} K_{H2} \frac{p_{\text{CO}_2}}{[\text{H}^+]} = \frac{\phi_3}{[\text{H}^+]}$$

$$[\text{CO}_3^{2-}] = K_{12} K_{22} k_{H2} \frac{p_{\text{CO}_2}}{[\text{H}^+]^2} = \frac{\phi_4}{[\text{H}^+]^2}$$

$$[\text{Cl}^-] = K_{13} K_{H3} \frac{p_{\text{HCL}}}{[\text{H}^+]} = \frac{\phi_5}{[\text{H}^+]}$$

$$[\text{NO}_3^-] = K_{14} K_{H4} \frac{p_{\text{HNO}_3}}{[\text{H}^+]} = \frac{\phi_6}{[\text{H}^+]}$$

$$[\text{OH}^-] = K_w \frac{1}{[\text{H}^+]}$$

Die Summe der positiven Ionen lautet:

$$[I^+] = [NH_4^+] + 2[Me^{2+}].$$

mit

$$[NH_4^+] = \frac{K_{15} K_{45} P_{NH_3}}{K_w} [H^+] = \phi_7 [H^+]$$

Die Metallionenkonzentration $[Me^{2+}]$ wird im Modell vorgegeben und proportional zu $[U]_t$ angenommen. Die Gleichung für $[H^+]$ lautet dann:

$$[H^+] = \frac{1}{[H^+]^2} (\phi_2 + \phi_4) + \frac{1}{[H^+]} (\phi_1 + \phi_3 + \phi_5 + \phi_6 + K_w) + 2[SO_4^{2-}] - 2[Me^{2+}] - \phi_7 [H^+]$$

Daraus folgt eine kubische Gleichung für $[H^+]$:

$$[H^+]^3 (1 + \phi_7) + [H^+]^2 (2[Me^{2+}] - 2[SO_4^{2-}])$$

(B4)

$$- [H^+] (\phi_1 + \phi_3 + \phi_5 + \phi_6 + K_w) - (\phi_2 + \phi_4) = 0$$

5. Die Bilanzgleichung für die SO_2 -Konzentration

Gleichung (42) lautet nach einer Mittelbildung und Vernachlässigung von Termen mit Abweichungen vom Mittelwert:

$$\begin{aligned} & \bar{u} \frac{\partial}{\partial y} [\text{SO}_2] + \bar{v} \frac{\partial}{\partial y} [\text{SO}_2] + \bar{w} \frac{\partial}{\partial z} [\text{SO}_2] \\ & = \frac{\partial}{\partial y} K_y \frac{\partial}{\partial y} [\text{SO}_2] + \frac{\partial}{\partial z} K_z \frac{\partial}{\partial z} [\text{SO}_2] \\ & - \frac{1}{1,5} (P_{\text{OH}} + P_p + P_t) \end{aligned} \tag{B5}$$

6. Symboltabelle Anhang B

a	Sulfat/Staubkonzentration an der Quelle
a_o	Ratenkonstante der Oxidation auf Partikeln
FE(III)	Eisen-III-Ionenkonzentration g m^{-3}
G	Maximales Sulfat zu Sulfat an der Quelle (Oxidation auf Partikeln)
$[\text{H}^+]$	H^+ -Ionenkonzentration MOL L^{-1}
$[\text{HSO}_3^-]$	HSO_3^- -Ionenkonzentration MOL L^{-1}
K_H, K_{D1}, K_{D2}	Henry-, Dissoziationskonstanten von SO_2
$K_{Hi}, K_{1i}, K_{2i},$ $i = 2, \dots, 5$	Henry-, Dissoziationskonstanten der Gase $\text{CO}_2, \text{HCL}, \text{HNO}_3, \text{NH}_4$
K_t	Ratenkonstante der Oxidation in Tropfen MOL s^{-1}
K_4	Ratenkonstante der homogenen Oxidation $\text{m}^3 \text{g}^{-1} \text{s}^{-1}$
K_y, K_z	Diffusionskoeffizienten in y-, z-Richtung
(ME^+)	Metallionenkonzentration MOL L^{-1}
$[\text{OH}]$	OH-Radialkonzentration in g m^{-3}
P_{GAS}	Partialdruck eines Gases in atm
P_{OH}	Rate der homogenen Oxidation

P_p	Rate der Oxidation auf Partikeln
P_t	Rate der Oxidation in Tropfen
q_c	spezifischer Wolkentropfengehalt g kg^{-1}
$[\text{SO}_2]$	SO_2 -Konzentration g m^{-3}
$[\text{SO}_4^{2-}]_p$	Partikelsulfatkonzentration g m^{-3}
$[\text{SO}_4^{2-}]_t$	Tropfensulfatkonzentration g m^{-3}
$[\text{SO}_4^{2-}]_s$	Summe der Sulfatkonzentration
$[\text{SO}_4^{2-}]_h$	Sulfatkonzentration durch homogene Oxidation g m^{-3}
$[U]_p$	Partikelkonzentration g m^{-3}
$[U]_t$	Partikelkonzentration in Tropfen g m^{-3}
$[U]$	Gesamtpartikelkonzentration g m^{-3}
u, v, w	Komponenten der Geschwindigkeit in x, y, z -Richtung
x, y, z	Richtungskoordinaten
$\epsilon, \lambda, \phi, \omega$	Reaktionsordnungen der Oxidation in Tropfen
ρ_L	Dichte der Luft g m^{-3}
ρ_w	Dichte des Tropfenwassers g m^{-3}

A N H A N G C

Das eindimensionale Fahnenmodell

1. Das Gleichungssystem

Zur Simulation des Aufstiegs und der Ausbreitung einer Kamin-
fahne in Quellnähe wird ein eindimensionales Fahnenmodell ver-
wendet, das an die Modelle von Ooms (1972), Klug, Grimm
(1979), Rudolf (1982) angelehnt ist. Die Gleichungen sind er-
weitert, um auch die Wirkung einer Vertikalgeschwindigkeit in
der Umgebung auf die Fahnenausbreitung berücksichtigen zu kön-
nen. Die Gleichungen lauten:

$$\frac{d}{ds}(\rho u b^2/2) = \rho_a u_e b \quad (C1)$$

$$\frac{d}{ds}(\rho u h b^2/2) = \rho_a h_a u_e b \quad \text{mit } h = C_p T + L_q + g z \quad (C2)$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{ds}(\rho u^2 \cos^2 \beta b^2/2) = \rho_a u_a u_e b + C_d/2 b \rho_a - \\ (u_a \sin \beta - w_a \cos \beta) |u_a \sin \beta - w_a \cos \beta| \sin \beta \end{aligned} \quad (C3)$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{ds}(\rho u^2 \sin^2 \beta b^2/2) = g(\rho_a - \rho) b^2/2 + \rho_a w_a u_e b - C_d/2 b \rho_a - \\ (u_a \sin \beta - w_a \cos \beta) \cos \beta |u_a \sin \beta - w_a \cos \beta| \end{aligned} \quad (C4)$$

$$\frac{d}{ds}(\rho u q b^2/2) = \rho_a q_a u_e b \quad (C5)$$

Die Bedeutung der Symbole können der Symboltabelle entnommen
werden.

Die Entrainmentgeschwindigkeit u_e wird wie folgt beschrieben:

$$u_e = a_1 |u^*| + a_2 u_a \sin \beta \cos \beta + a_3 u',$$

wobei $u^* = u - u_a \cos \beta$ ist, u' bedeutet die Wurzel der turbulenten kinetischen Energie. a_1 - a_3 sind Konstanten.

Kondensation von Wasserdampf in der Fahne wird angenommen, falls

$$q \geq q_s$$

ist, wobei q_s die Sättigungsfeuchte darstellt:

$$q_s = \frac{a_4}{p} 10^{\frac{a_5 T}{a_6 + T}}$$

p = Druck; a_4 - a_6 Konstanten

In diesem Fall berechnet sich die Temperatur nach:

$$T = (h - Lq_s - g z) / c_p,$$

d. h. die freiwerdende Wärme bei der Kondensation der Feuchtemenge $q - q_s$ erhöht die Temperatur.

2. Vergleichsrechnungen

Messungen von Bringfelt (1968) von Kaminfahnenaufstiegen wurden zu Vergleichsrechnungen herangezogen. Abb. C 1 zeigt die Ergebnisse des Experimentes Nr. 11 b. Die Symbole bezeichnen den gemessenen Fahnenaufstieg. Zur Modellrechnung (durchgezogen)

gene Linie) wurde die externe Turbulenz gleich null gesetzt ($u' = 0$), da in der Anfangsphase die intern erzeugte Turbulenz überwiegt. Außerdem trägt aufgrund des geringen Fahnenradius die Umgebungsturbulenz nicht zur relativen Fahnenverbreiterung bei. Der Fahnenaufstieg nach der Briggs'schen Überhöhungsformel (Briggs (1969))

$$\Delta h = 1.6 F^{1/3} x^{2/3}$$

$$F = w R_o^2 g (T_p - T_E) / T_p$$

ist gestrichelt eingetragen. Die Übereinstimmung der Rechnungen mit dem Experiment ist recht gut.

3. Literatur

Siehe Literaturverzeichnis im Hauptteil

FAHNENUEBERHOEHUNG IN M

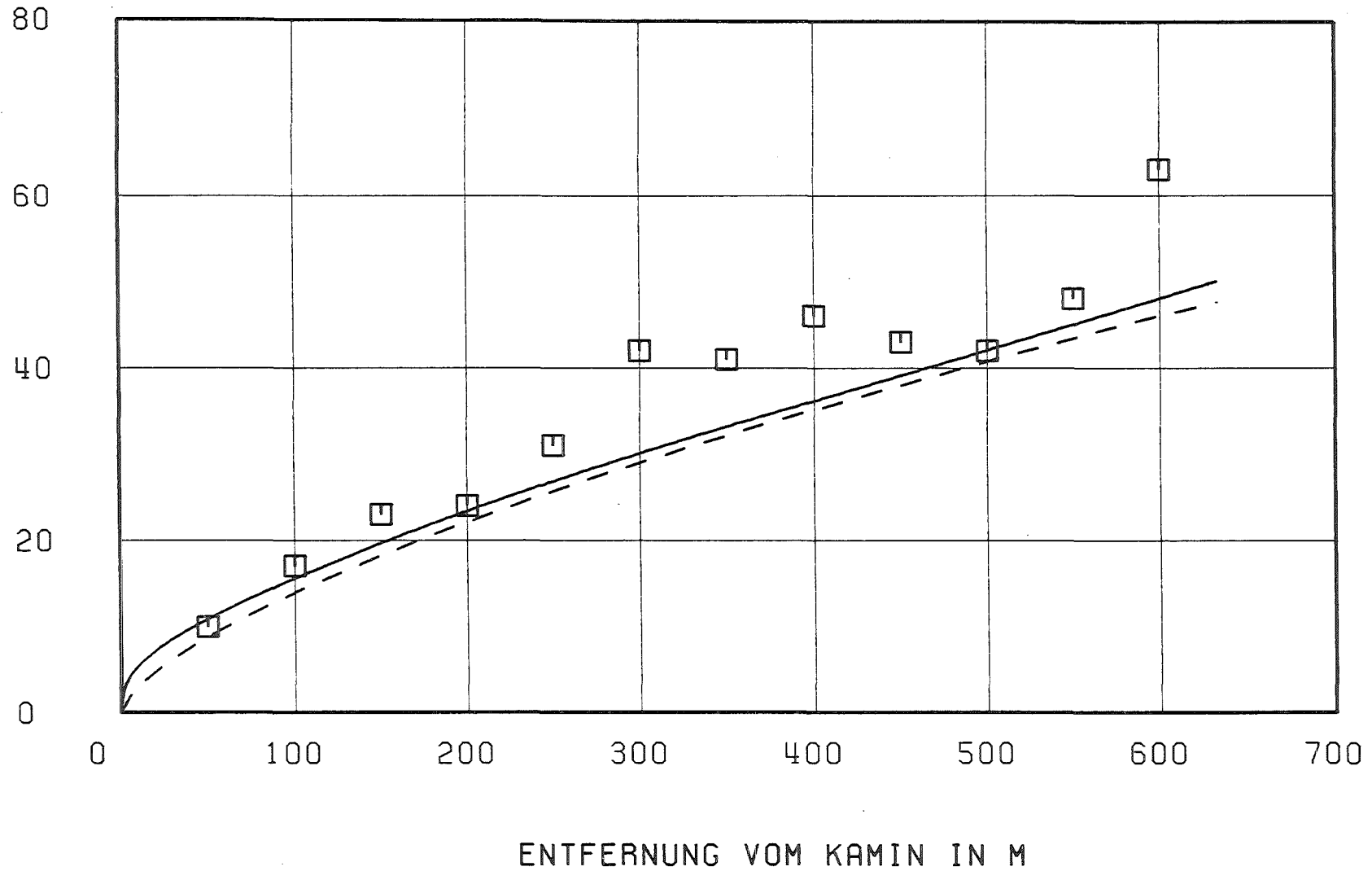


Abb. C1: Vergleich für einen Fahnenaufstieg

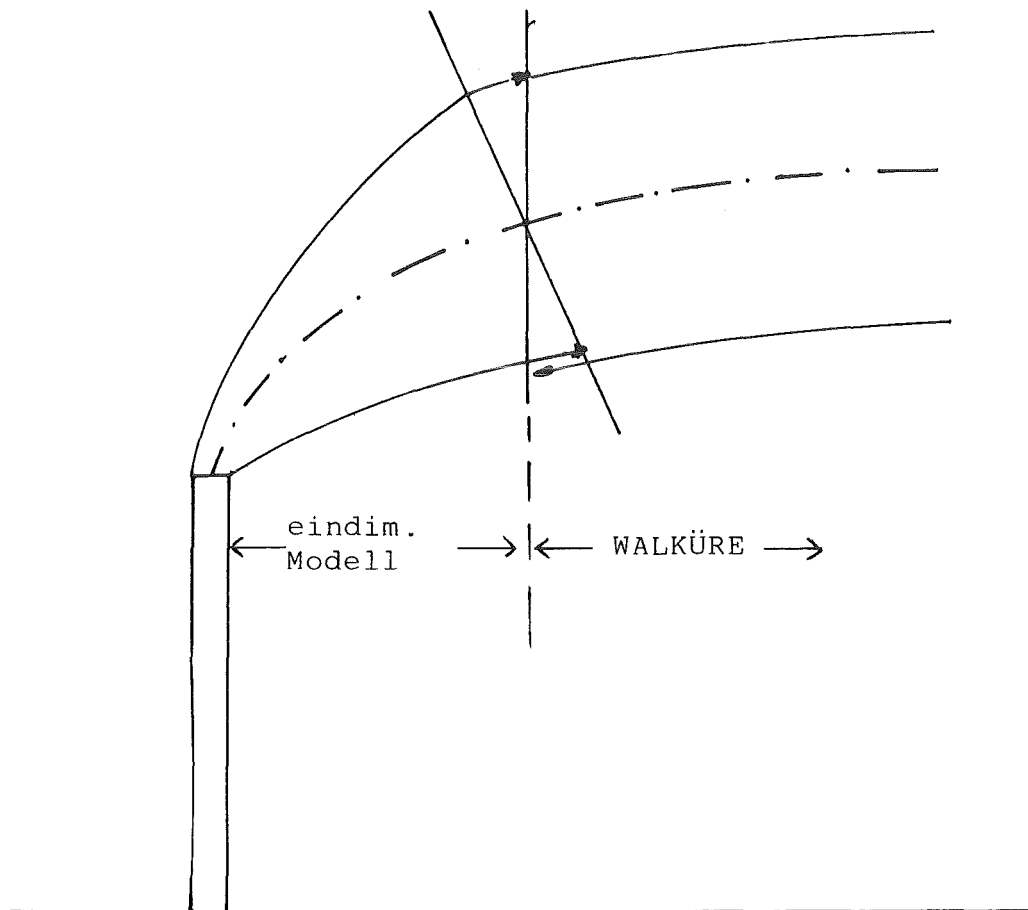
□ experimentell nach Bringfelt

— Modellrechnung

-- Formel nach Briggs

3. Übergang zum Modell Walküre

Der Aufstieg der Kaminfahne wird so lange gerechnet, bis der Winkel β den Wert 45° unterschreitet. Die dabei berechneten Fahnenparameter werden dann als Eingangsgrößen in das dreidimensionale Modell, wie in der folgenden Skizze dargestellt, übernommen.



Symboltabelle Anhang C

s	Koordinate längs der Fahnenachse
b	charakteristischer Fahnenradius
β	Winkel zwischen Fahnenachse und der Horizontalen
u	Windgeschwindigkeit längs s
ρ	Luftdichte
h	spez. Enthalpie
q	spez. Feuchte
c_d	Widerstandsbeiwert
u_e	Entrainmentgeschwindigkeit
u_a	Horizontale Windgeschwindigkeit der Umgebung
w_a	Vertikale Windgeschwindigkeit der Umgebung
ρ_a	Luftdichte der Umgebung
q_a	spez. Feuchte in der Umgebung
h_a	spez. Enthalpie in der Umgebung
c_p	spez. Wärmekapazität bei konst. Druck
L	spez. Verdampfungswärme

A N H A N G D

Windkanaluntersuchungen über die Wirkung eines
Kühlturmschwadens auf eine nahegelegene Rauch-
gasfahne

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

	Seite
1. PROBLEMSTELLUNG	140
2. ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE	141
3. EINGANGSDATEN	143
4. VERSUCHSAUFBAU	145
5. MESSPROGRAMM UND MESSTECHNIK	152
6. VERSUCHSERGEBNISSE	156
6.1 Kühlturmschwaden	156
6.2 Abgasfahnen in Ebenen quer zur Strömungsrichtung	163
7. UNTERSUCHUNG DER ERGEBNISSE BEZÜGLICH ZIELSETZUNG	182
8. UNTERSUCHUNG DER ERGEBNISSE AUF PLAUSIBILI- TÄT UND ÜBERPRÜFUNG DER MESSUNGEN	184
8.1 Ausbreitungsparameter	184
8.2 Trajektorie des Kühlturmschwadens	186
8.3 Kontinuitätsgleichung	187
8.4 Reproduzierbarkeit	189
9. ANHANG-MODELLGESETZE	191
10. LITERATUR	193
11. TABELLENANHANG	194

1. PROBLEMSTELLUNG

Bei Kraftwerken, die mit Kühltürmen und hohen Schornsteinen ausgerüstet sind, kann die Ausbreitung der Rauchgasfahne durch den Kühlturmschwaden beeinflusst werden.

Es wurden Windkanalversuche durchgeführt, welche am Beispiel von 6 Kombinationen Kühlturm/Schornstein feststellen sollten, wie stark die Anwesenheit eines Kühlturmschwadens die Ausbreitung der Rauchgase beeinflusst. Den Untersuchungen vorgeschaltet wurden Versuche, welche klären sollten, ob das im Kühlturmschwaden in der Natur vorhandene Wirbelpaar auch bei Windkanalversuchen vorhanden ist.

2. ZUSAMMENFASSUNG

Es wurden 6 Fälle untersucht, in denen ein Schornstein der Höhe H seitlich bzw. im Luv oder im Lee von einem 140 m hohen Kühlturm steht. Diese Fälle sind in Abb. 3 auf Seite 9 dargestellt.

1. Situation: Schornstein ($H = 200$ m), 100 m querab vom Kühlturm
2. Situation: Schornstein ($H = 200$ m), 200 m querab vom Kühlturm
3. Situation: Schornstein ($H = 200$ m), 300 m querab vom Kühlturm
4. Situation: Schornstein ($H = 200$ m), 400 m querab vom Kühlturm
5. Situation: Schornstein ($H = 200$ m), 300 m im Luv vom Kühlturm
6. Situation: Schornstein ($H = 140$ m), 300 m im Lee vom Kühlturm

Die Versuchsergebnisse für den Kühlturmschwaden lassen darauf schließen, daß in Strömungsrichtung gesehen links unten in der Fahne ein linksdrehender und rechts unten ein rechtsdrehender Wirbel vorhanden ist. Es kann deshalb davon ausgegangen werden, daß die vom Kühlturmschwaden erzeugten Sekundärströmungen auch im Windkanal vorhanden sind.

Die Abb. 31 zeigt zusammenfassend, daß der Kühlturmschwaden die Rauchgasfahne in solchen Fällen einsaugt, in denen der Schornstein 100 m querab vom Kühlturm sowie 300 m im Luv oder im Lee des Kühlturms steht. Bei einem Abstand von 200 m, 300 m und 400 m querab vom Kühlturm wird die Trajektorie der Rauchgasfahne verschoben, was die in Abb. 32 dar-

gestellte Veränderung der Bodenkonzentration zu Folge hat. Für die untersuchten Fälle wird die Bodenkonzentration zum Teil um 50 % erhöht, zum Teil wird sie aber auch um bis zu eine Zehnerpotenz abgesenkt, und zwar dann, wenn die Rauchgasfahne in den Kühlturmschwaden eingesaugt wird.

3. EINGANGSDATEN

Im folgenden sind die Kühlturm-, Schornstein- sowie Winddaten angegeben, für welche die Windkanaluntersuchung gemacht wurde. Diese sind:

a) Kühlturm:

- Höhe $H = 140$ m
- Austrittsdurchmesser $D = 70$ m
- Austrittsgeschwindigkeit $u_a = 4,14$ m/s
- Austrittsfroudezahl $Fr = 1,0$

wobei $Fr = u_a / \sqrt{(1 - \rho_a / \rho_L) g \cdot R}$

mit ρ_a = Dichte des Schwadens am Austritt

ρ_L = Dichte der Umgebungsluft

R = Radius der Austrittsöffnung

g = Erdbeschleunigung

b) Schornstein:

- Quellkoordinaten für das Rauchgas, wenn sich der Punkt $x_K = y_K = z_K = 0$ in der Mitte am Boden der Kühlturmtasse befindet (Abb. 3).

Fall Nr.	x_K m	y_K m	z_K m
1	0	100	200
2	0	200	200
3	0	300	200
4	0	400	200
5	-300	0	200
6	+300	0	140

- Austrittsbedingungen der Rauchgase: Auftriebslos, ohne Vertikalimpuls, isokinetisch in Richtung des Windes

- Austrittsdurchmesser $d = 1,6 \text{ m}$

c) Atmosphäre:

- Stabilitätszustand neutral

- Exponent des Windprofils $p = 0,23$

- Grenzschichtdicke $\delta = 420 \text{ m}$

- Windgeschwindigkeit in
420 m Höhe $u_{\infty} = 7 \text{ m/s}$

4. VERSUCHSAUFBAU

Es wurde ein Windkanalmodell im Maßstab 1:1150 gebaut. Die Abbildung 1 zeigt ein Foto der Situation 2, (Schornstein 200 m querab vom Kühlturm) aufgenommen quer zur Strömungsrichtung. Die Abb. 2 ist ein Foto der Situation 2, aufgenommen entgegen der Strömungsrichtung. Die Abb. 3 zeigt den Versuchsaufbau in perspektivischer Darstellung sowie die Definition der beiden karthesischen Koordinatensysteme mit Index S (=Schornstein) sowie K (=Kühlturm).

Um beim 400 m seitlich versetzten Schornstein in 3.000 m Entfernung keine Randeefekte von der Windkanalwand zu haben, wurde der Kühlturm nicht in die Kanalmitte gesetzt, sondern 200 m in die positive y-Richtung verschoben.

Die horizontale Austrittsgeschwindigkeit der Rauchgase war gleich der Windgeschwindigkeit am Emissionspunkt. Der lange horizontale Teil des Modellschornsteins wurde für nötig erachtet, um die Rauchgase so freizusetzen, daß sie nicht vom Nachlauf des vertikalen Teils des Schornsteins beeinflußt werden.

Die Abb. 4 zeigt die Abmessungen des Windkanals, der für die Untersuchung benutzt wurde.

Die Abb. 1 und 2 zeigen, wie der Boden des Windkanals mit Legogrundplatten und Legosteinen ausgelegt war um das gewünschte atmosphärische Grenzschichtprofil aufzubauen. Um ausgeprägte Strömungsfelder zu vermeiden, wurden die Legosteine auf den Grundplatten nicht regelmäßig sondern zufallsverteilt angeordnet.

Die Abb. 5 zeigt linear aufgetragen das vertikale Geschwin-

digkeitsprofil wie es im Windkanal an der Stelle vorhanden war, an der später der Kühlturm stand.

Die Abb. 6 zeigt in doppelt-logarithmischer Darstellung das Geschwindigkeitsprofil bei $x = 0$ m und $x = 3.000$ m. Es ist über diese Strecke keine Änderung im Profil festzustellen. Die doppelt-logarithmische Darstellung zeigt, daß für den Exponenten p des Geschwindigkeitsprofils nach dem Potenzansatz

$$\frac{u}{u_{\text{ref}}} = \left(\frac{z}{z_{\text{ref}}} \right)^p$$

ein $p = 0.23$ vorhanden war.

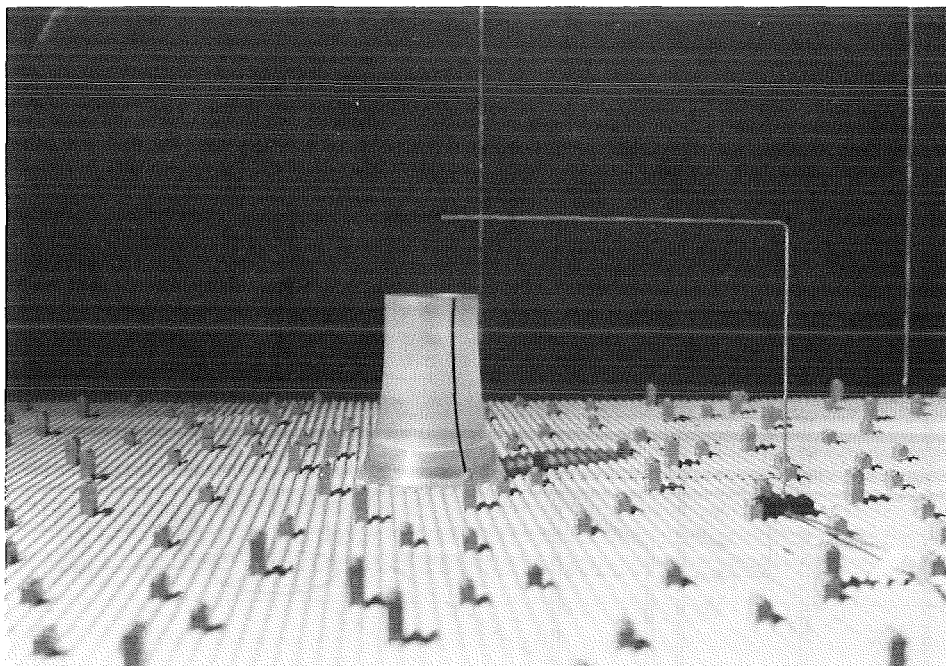


Abb. 1: Foto des Versuchsaufbaus (Situation Nr. 2).
Blick quer zur Windrichtung. Wind kommt von
rechts.

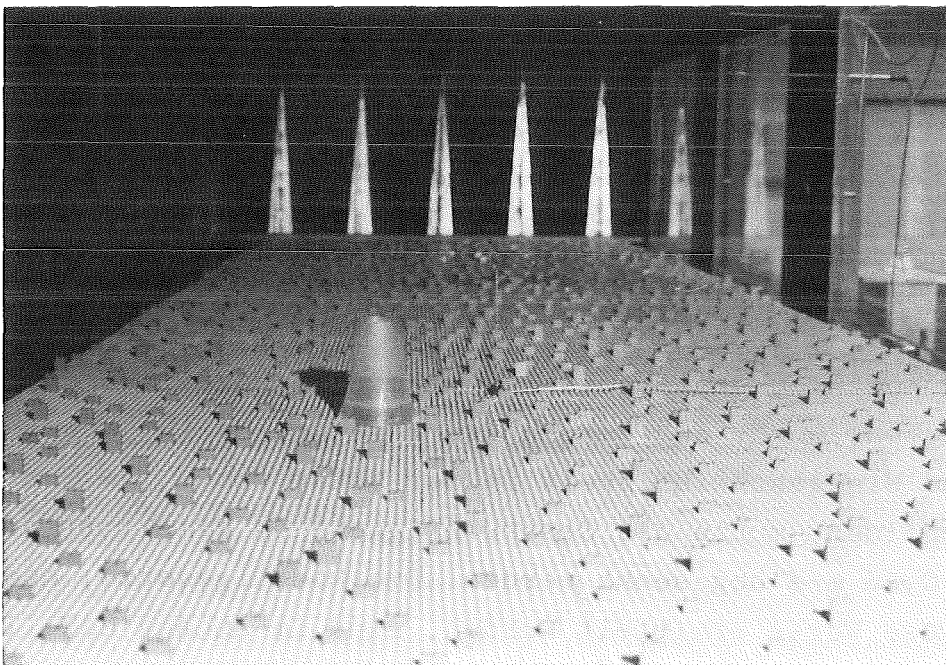


Abb. 2: Foto des Versuchsaufbaus (Situation Nr. 2).
Blick entgegen der Windrichtung.

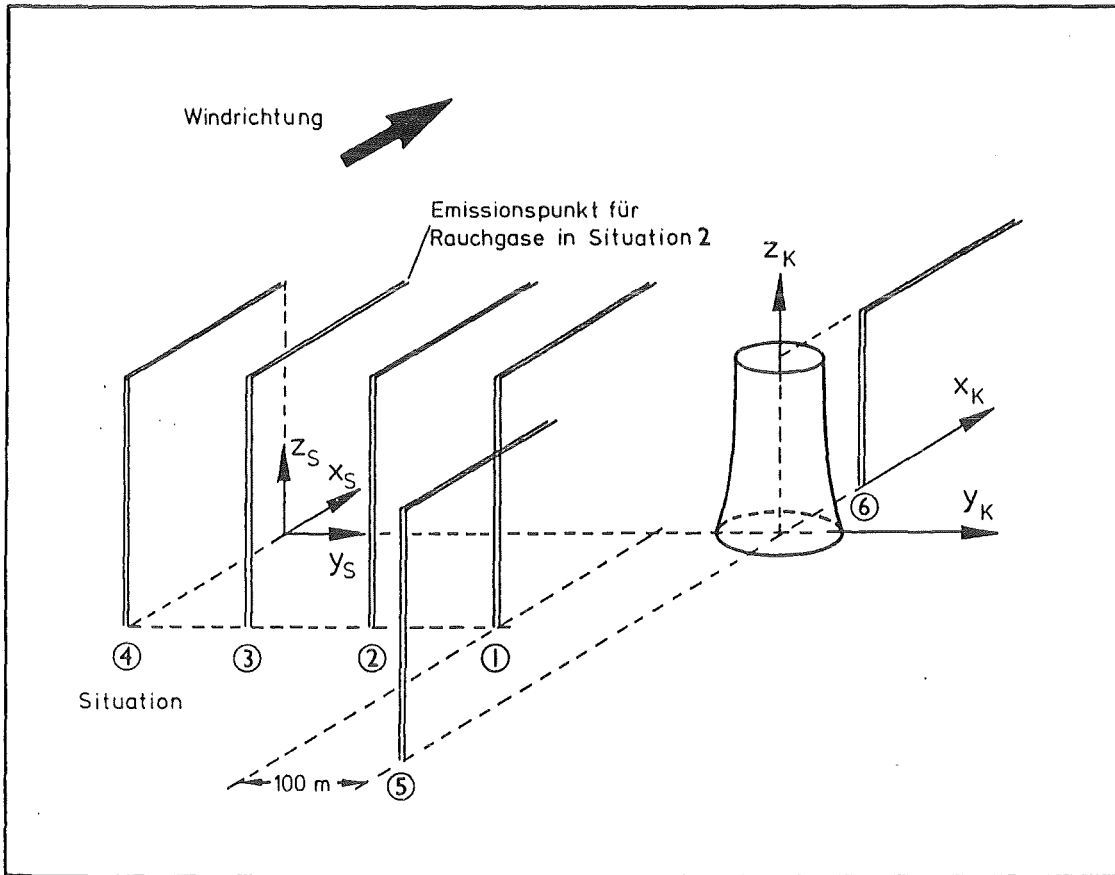


Abb. 3: Perspektivische Darstellung der untersuchten Situationen sowie Definition der beiden Koordinatensysteme.

Um den Auftrieb des Kühlturmschwadens im Modell korrekt zu simulieren, wurde aus dem Kühlturm reines Helium abgegeben. Um eine Windgeschwindigkeit in der Natur von $u_\infty = 7 \text{ m/s}$ nachzubilden, mußte die Geschwindigkeit im Windkanal auf $u_\infty = 0,85 \text{ m/s}$ abgesenkt werden. Die Modellgesetze, nach denen diese Werte ermittelt wurden, sind im Anhang Modellgesetze dargestellt.

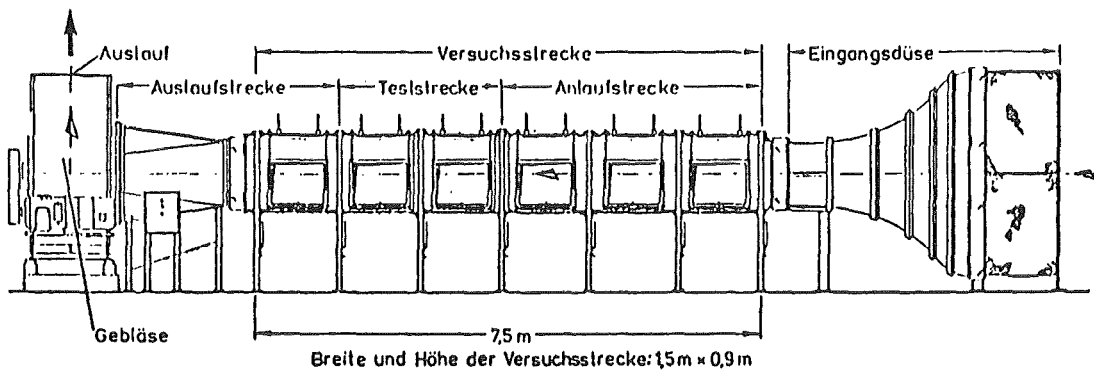
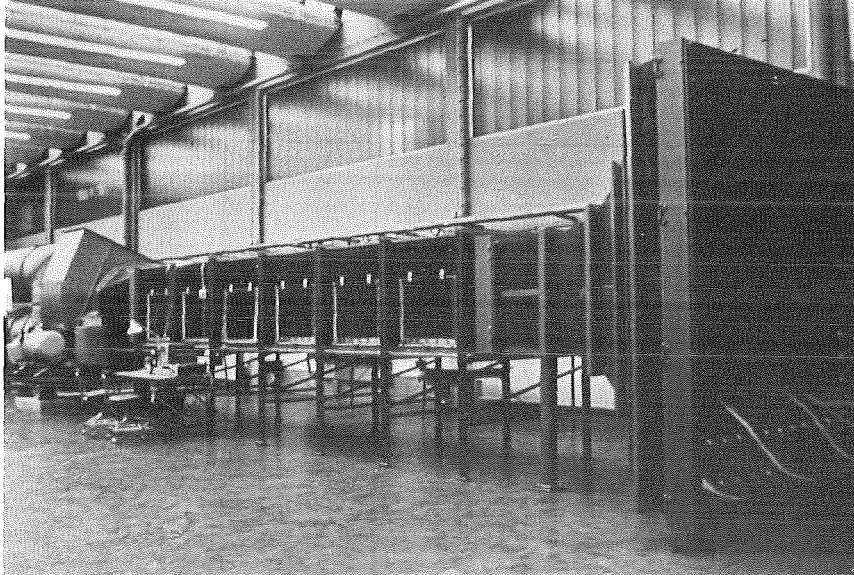


Abb. 4: Grenzschichtwindkanal des Instituts für Hydrologie und Wasserwirtschaft der Universität Karlsruhe (Professor Plate).

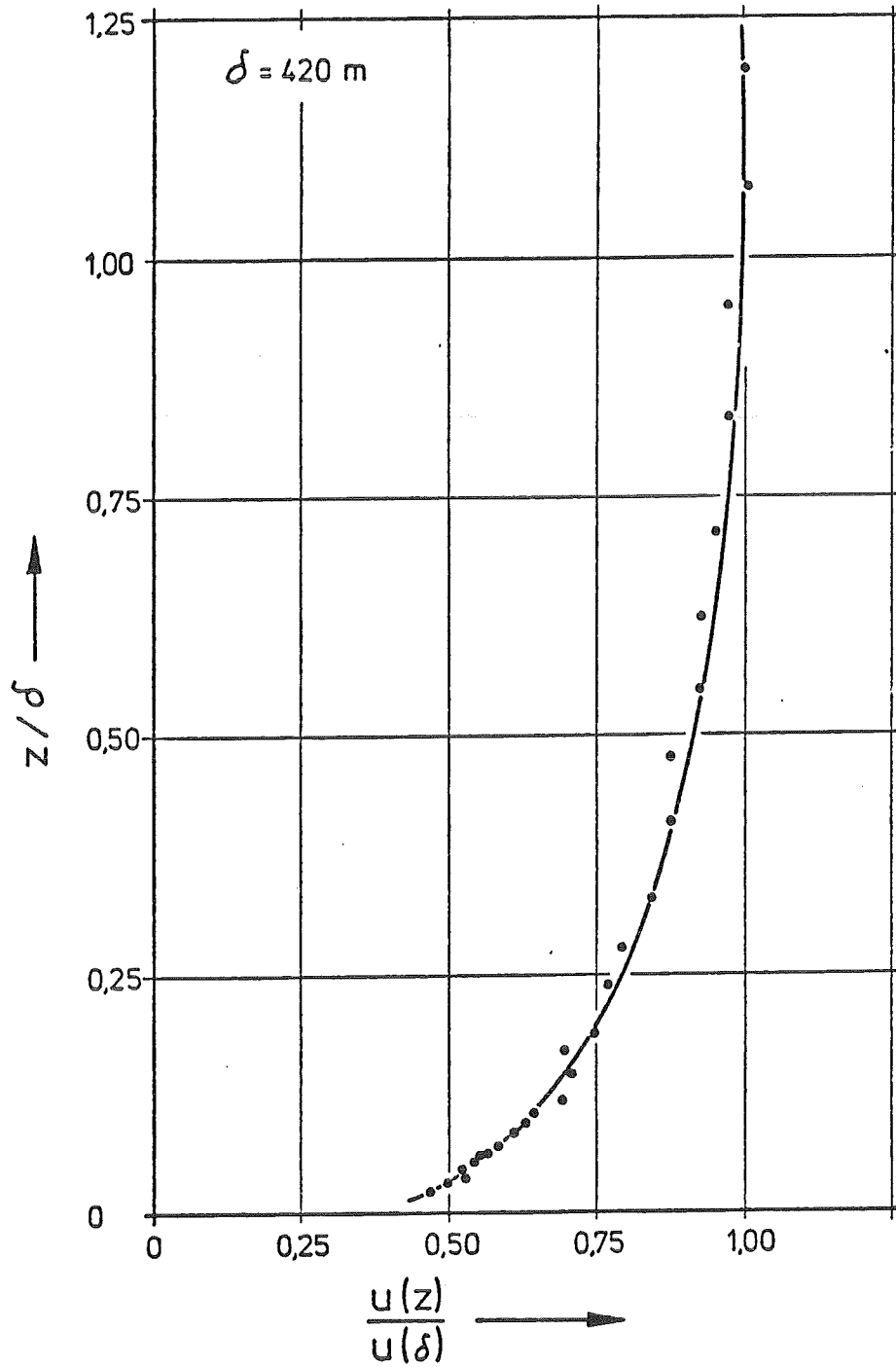


Abb. 5: Geschwindigkeitsprofil bei $x_K = 0 \text{ m}$, $y_K = 0 \text{ m}$.

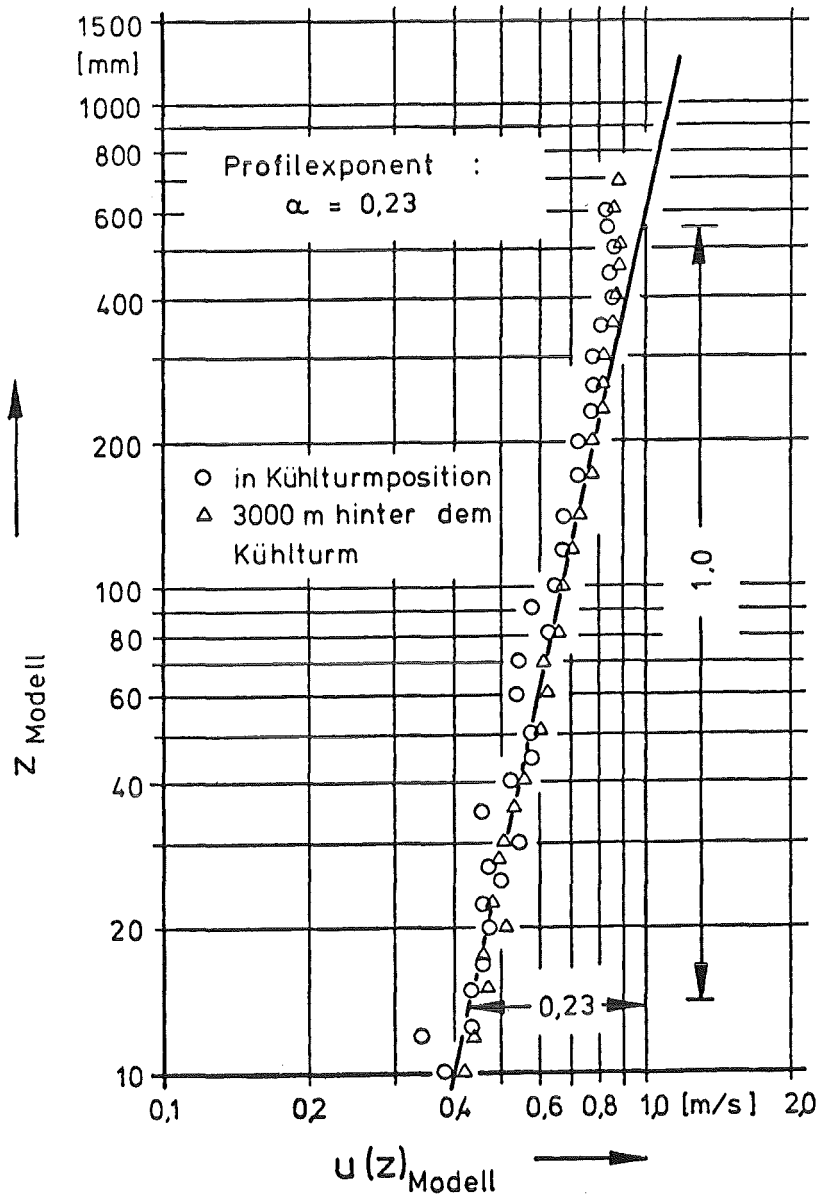


Abb. 6: Geschwindigkeitsprofil bei $x = 0$ und $x = 3.000$ m. Doppelt-logarithmisch aufgetragen zur Bestimmung des Profilexponenten nach dem Potenzansatz.

5. MESSPROGRAMM UND MESSTECHNIK

In Schritt 1 der Untersuchung sollte der Kühlturmschwaden vermessen werden um festzustellen, ob im Windkanal ebenso wie in der Natur im Lee des Kühlturms ein Doppelwirbel mit Wirbelachsen in x-Richtung vorhanden ist. Anhaltspunkte für die Anwesenheit des Doppelwirbels sollten aus den Iso-konzentrationslinien in der $y_K z_K$ - Ebene gewonnen werden. Es wurde deshalb bei $x_K = 500$ m, 1.000 m und 2.000 m die $y_K z_K$ - Ebene mit jeweils 72 Meßpunkten vermessen.

Um den Einfluß des Kühlturmschwadens auf die Rauchgasfahne zu bestimmen, wurde bei $x = 1.000$ m, 2.000 m und 3.000 m für die Schornsteinpositionen 100 m querab, 300 m im Luv und 300 m im Lee vom Kühlturm jede Ebene mit 144 Meßstellen und für 200, 300 und 400 m querab vom Kühlturm jede Ebene mit 72 Meßstellen vermessen. Jede Meßstelle wurde einmal mit Kühlturm anwesend, aber nicht in Betrieb und dann anschließend mit Kühlturm in Betrieb gemessen.

Für jeden der 3 Meßquerschnitte wurde eine Meßharfe gebaut, welche etwa so groß wie die interessierende Fahnenbreite in der jeweiligen Ebene war. Siehe Abb. 7 und 8. Damit konnte an 18 Stellen gleichzeitig gemessen werden. Durch 4-maliges Versetzen der Meßharfe in y- oder z-Richtung um den halben Gitterabstand (G), konnte eine genügende Anzahl von Meßstellen pro Querschnitt erfaßt werden. Der Gitterabstand beträgt bei der kleinen Harfe 100 m, bei der mittleren Harfe 166 m und bei der großen Harfe 245 m.

Zur Kontrolle der Reproduzierbarkeit sind 2 der 18 Meßstellen einer Harfe derart angebracht, daß beim Versetzen der Harfe je 2 Meßstellen aus der vorherigen Meßreihe mitgemessen werden (Abb. 8).

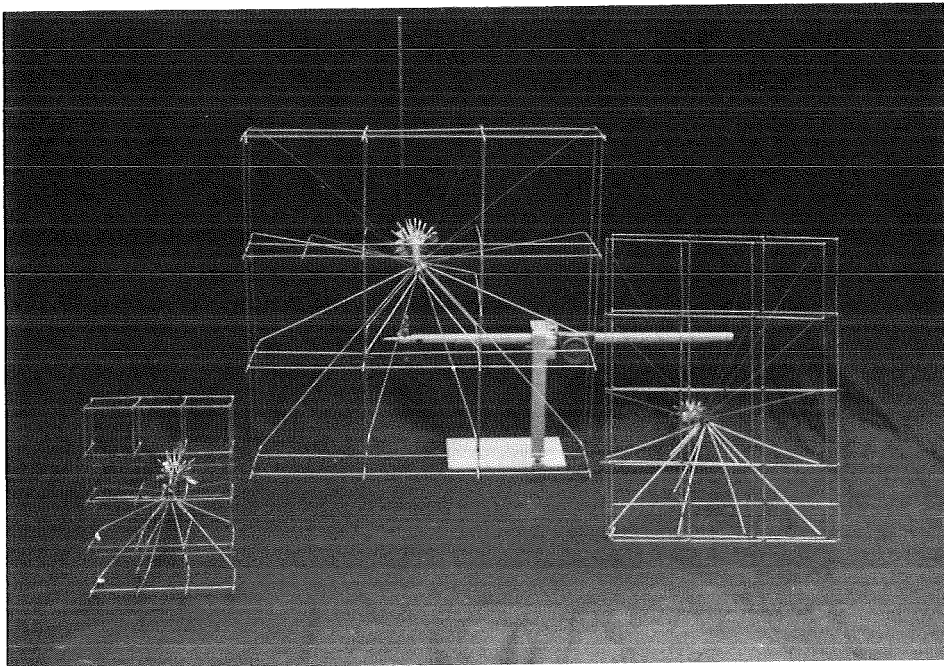
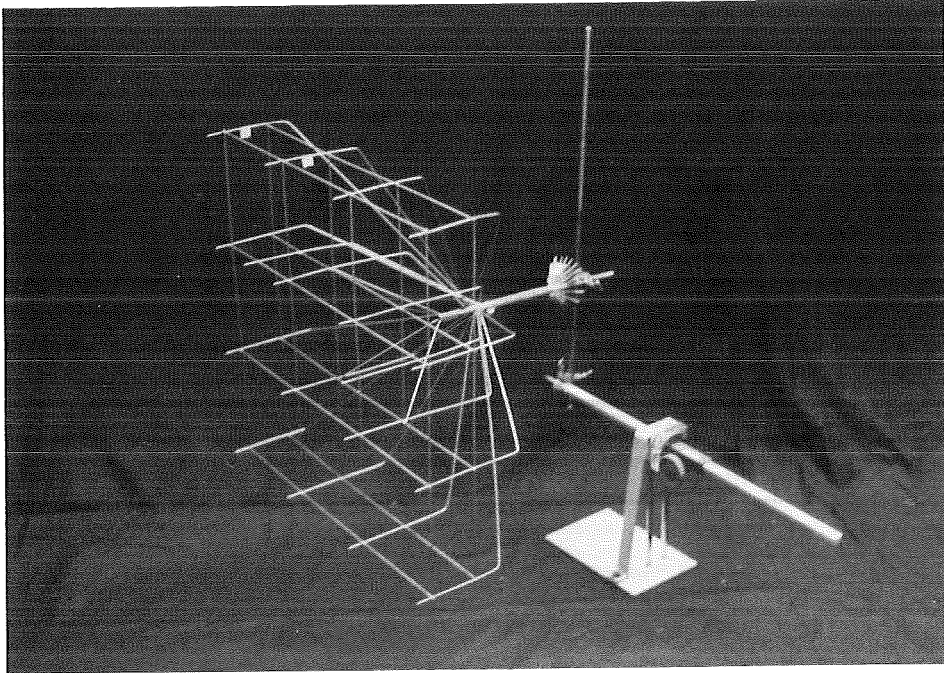


Abb. 7: Fotografien der Meßharfen.

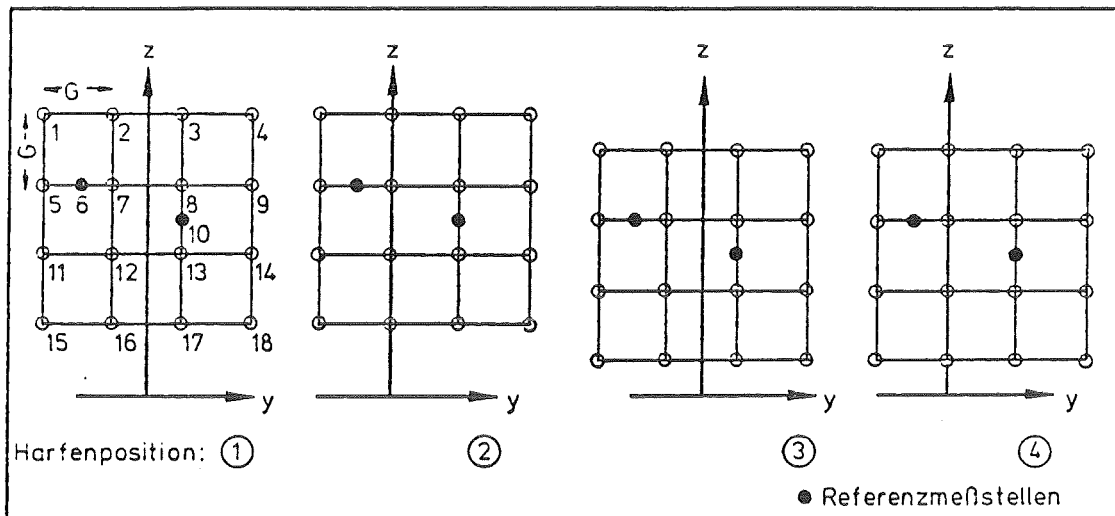


Abb. 8: Die 4 Positionen der Meßharfe im Windkanal

Sowohl die Kühlturmschwadenkonzentration als auch die Rauchgaskonzentration wurde bestimmt, indem an den interessierenden Stellen im Windkanal für etwa 3 min. Gas entnommen, gesammelt und dann analysiert wurde (3 min. im Modell ist die Zeit, die man braucht um einen reproduzierbaren Mittelwert zu bekommen).

Der Kühlturmschwaden wurde durch Zugabe von maximal 0,05 % SF_6 als Tracer meßbar gemacht, die Rauchgasfahne durch Zugabe von 10 bis 50 % SF_6 . Die Tracerkonzentration wurde mit einem Elektroneneinfangdetektor der Firma Meltron Typ LH 108 bestimmt (Meßbereich: 0,01 bis 6 ppm SF_6). Der Tracervolumenstrom wurde für jeden auszumessenden Querschnitt derart gewählt, daß der Elektroneneinfangdetektor im Fahnenzentrum möglichst im Bereich des Vollausschlages arbei-

tet. Um Abtriebseffekte zu vermeiden, wurde aber eine SF_6 -Zugabe von 50 % nicht überschritten. Die densimetrische Froudezahl Fr des aus dem Schornstein austretenden Rauchgases hat den Wert $Fr = 12,3$ bei 10 % SF_6 -Zugabe, bzw. $Fr = 5,5$ bei 50 % SF_6 -Zugabe.

Nach den Untersuchungen von Viollet (1977) und Meroney (1982) ist der Einfluß der Dichte auf die Strahlausbreitung bei Froudezahlen $Fr > 3$ vernachlässigbar.

6. VERSUCHSERGEBNISSE

Im folgenden werden zunächst die Ergebnisse der Versuche mit dem Kühlturmschwaden gezeigt, anschließend die Versuche zur Untersuchung der Rauchgasausbreitung.

6.1 Kühlturmschwaden

Die Abb. 9a bis 9f zeigen Fotos des Kühlturmschwadens. Diesem wurde zur Sichtbarmachung Rauch beigemischt.

Die Momentaufnahme auf Bild 9a zeigt eine Seitenansicht des Kühlturmschwadens.

Die Abb. 9b zeigt eine Momentanaufnahme des in der $y_K z_K$ -Ebene mit dem Lichtschnittverfahren sichtbar gemachten Kühlturmschwadens bei $x_K = 500$ m.

Die Abb. 9c und 9d sowie 9e und 9f zeigen ebenfalls je eine Langzeit- und eine Kurzaufnahme eines Schnittes in der $y_K z_K$ -Ebene durch den Kühlturmschwaden jedoch hier im Abstand $x_K = 1.500$ und 2.000 m vom Kühlturm.

Die Abb. 10, 11 und 12 zeigen die Linien gleicher Schwadenkonzentration in der $y_K z_K$ -Ebene bei $x_K = 500$, 1.000 und 2.000 m. Eine Konzentration von z.B. 1 % heißt, daß eine Probe an der betreffenden Stelle 1 % Schwaden aus dem Kühlturm und 99 % Umgebungsluft enthält.

Die Versuchsergebnisse, mit deren Hilfe die Abb. 10 bis 12 erstellt wurden, sind im Tabellenanhang in Tabelle A1 bis A3 gegeben.



Abb. 9a: Seitenansicht des Kühlturmschwadens. Momentaufnahme.

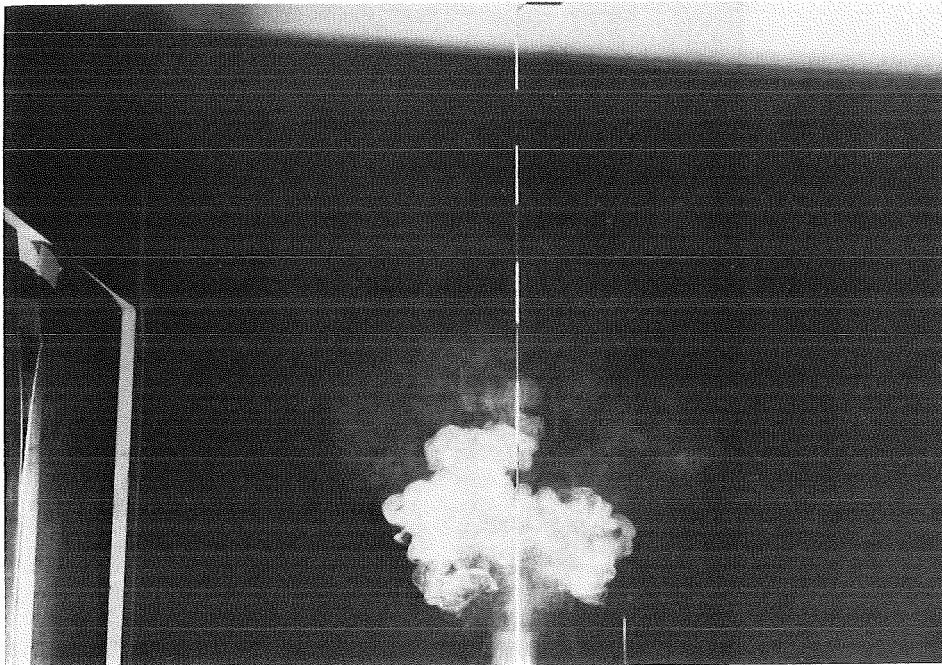


Abb. 9b: Schnitt durch den Kühlturmschwaden in der $y_K z_K$ -Ebene, bei $x_K = 500$ m. Momentaufnahme.

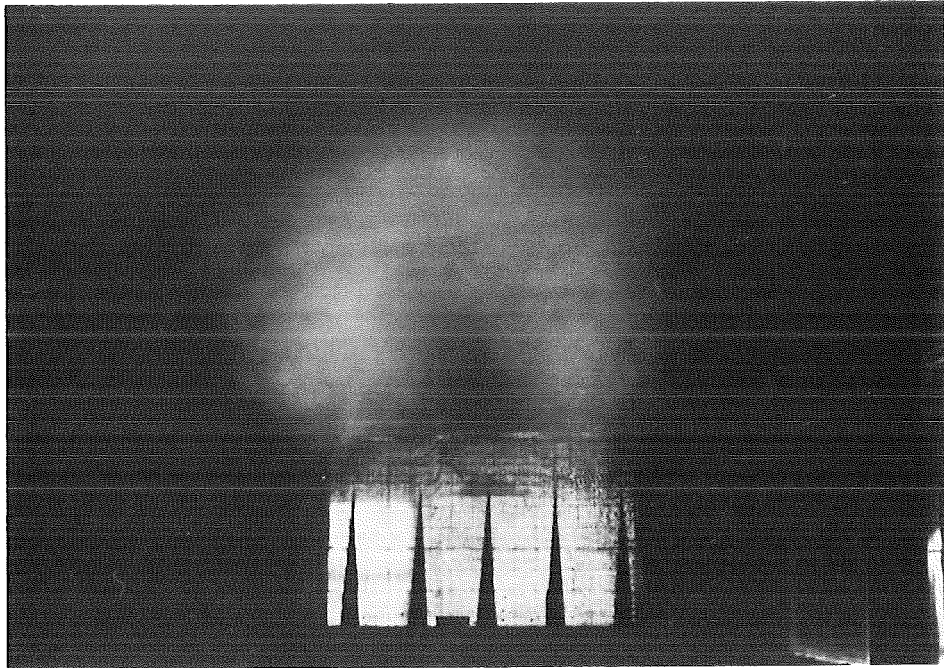


Abb. 9c: Schnitt durch den Kühlturmschwaden in der $y_K z_K$ -Ebene, bei $x_K = 1.500$ m. Langzeitaufnahme.

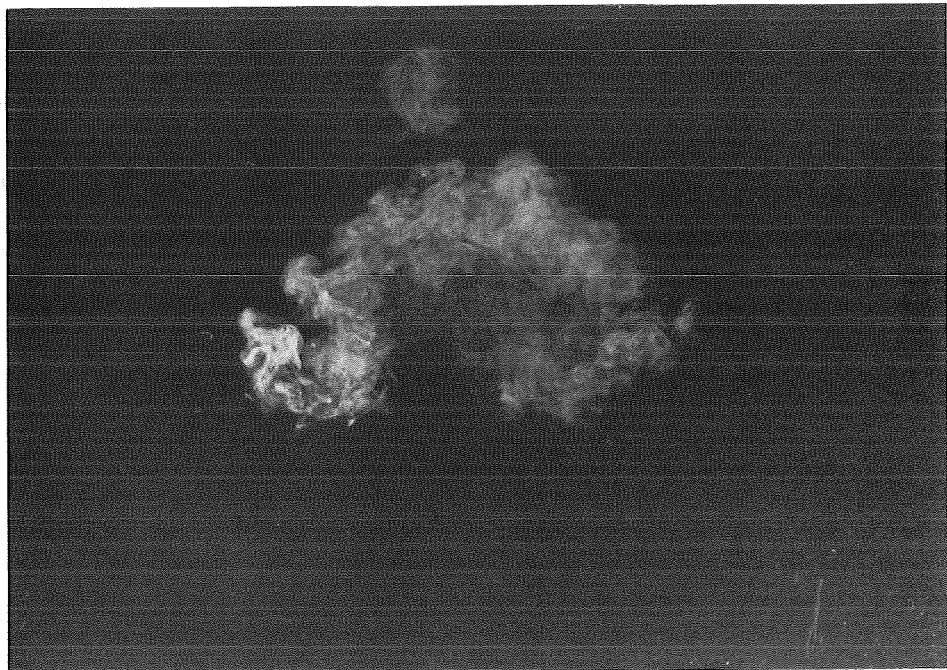


Abb. 9d: Schnitt durch den Kühlturmschwaden in der $y_K z_K$ -Ebene, bei $x_K = 1.500$ m. Momentaufnahme.

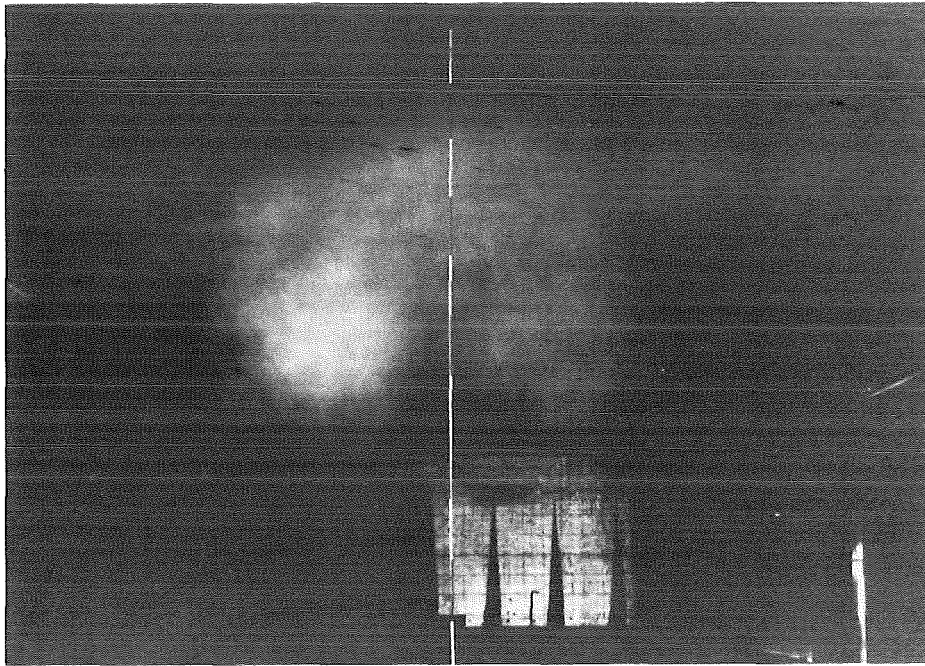


Abb. 9e: Schnitt durch den Kühlturmschwaden in der $y_K z_K$ - Ebene, bei $x_K = 2.000$ m. Langzeitaufnahme.

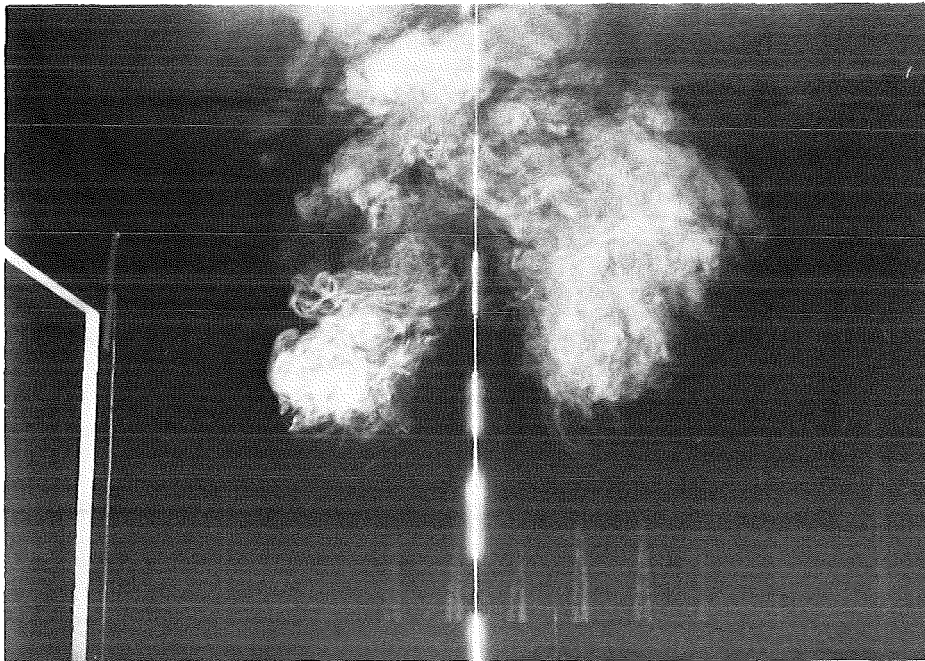


Abb. 9f: Schnitt durch den Kühlturmschwaden in der $y_K z_K$ - Ebene, bei $x_K = 2.000$ m. Momentaufnahme.

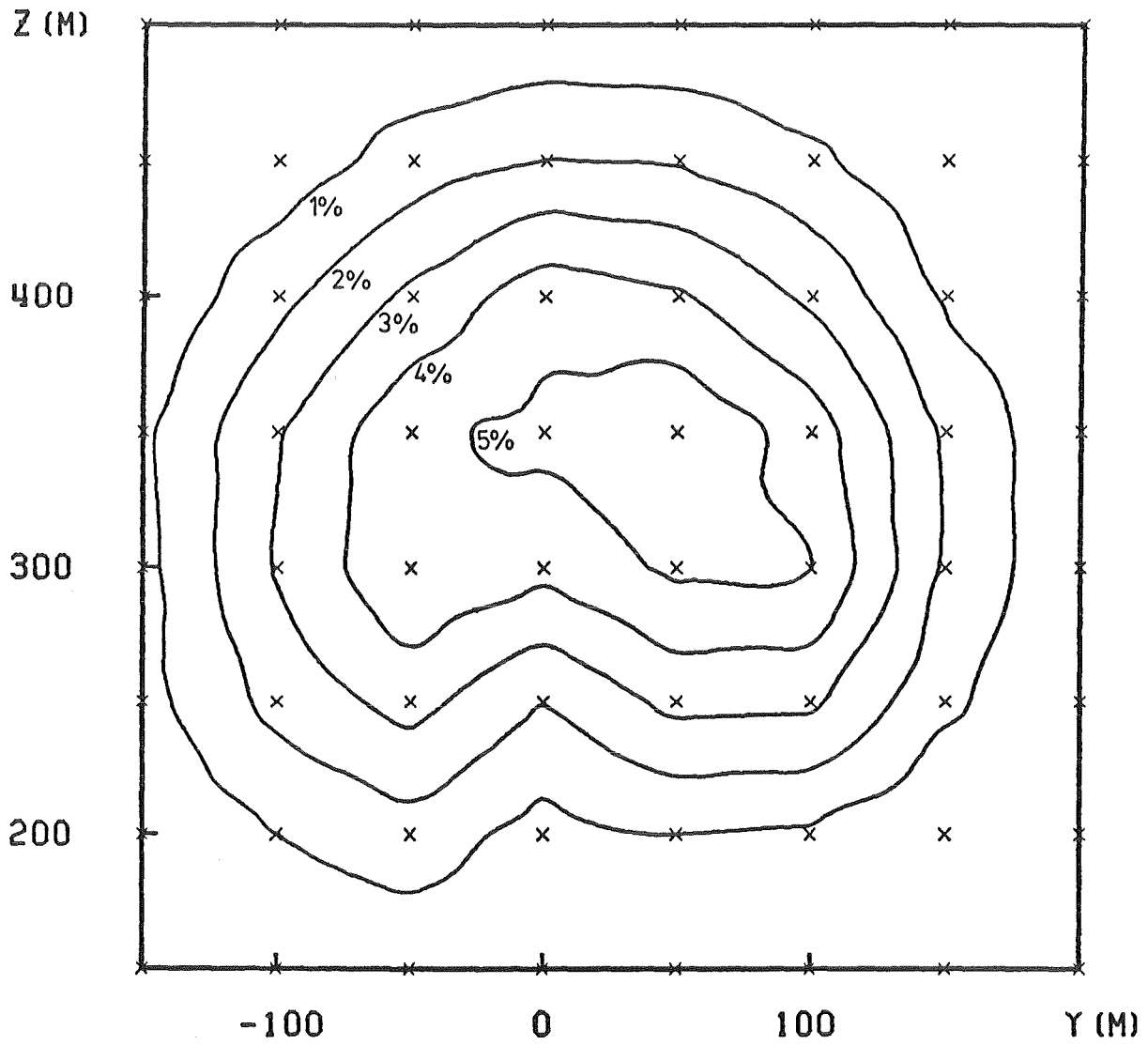


Abb. 10: Linien gleicher Konzentration im Kühlturmschwaden in der $y_K z_K$ -Ebene bei $x_K = 500$ m.

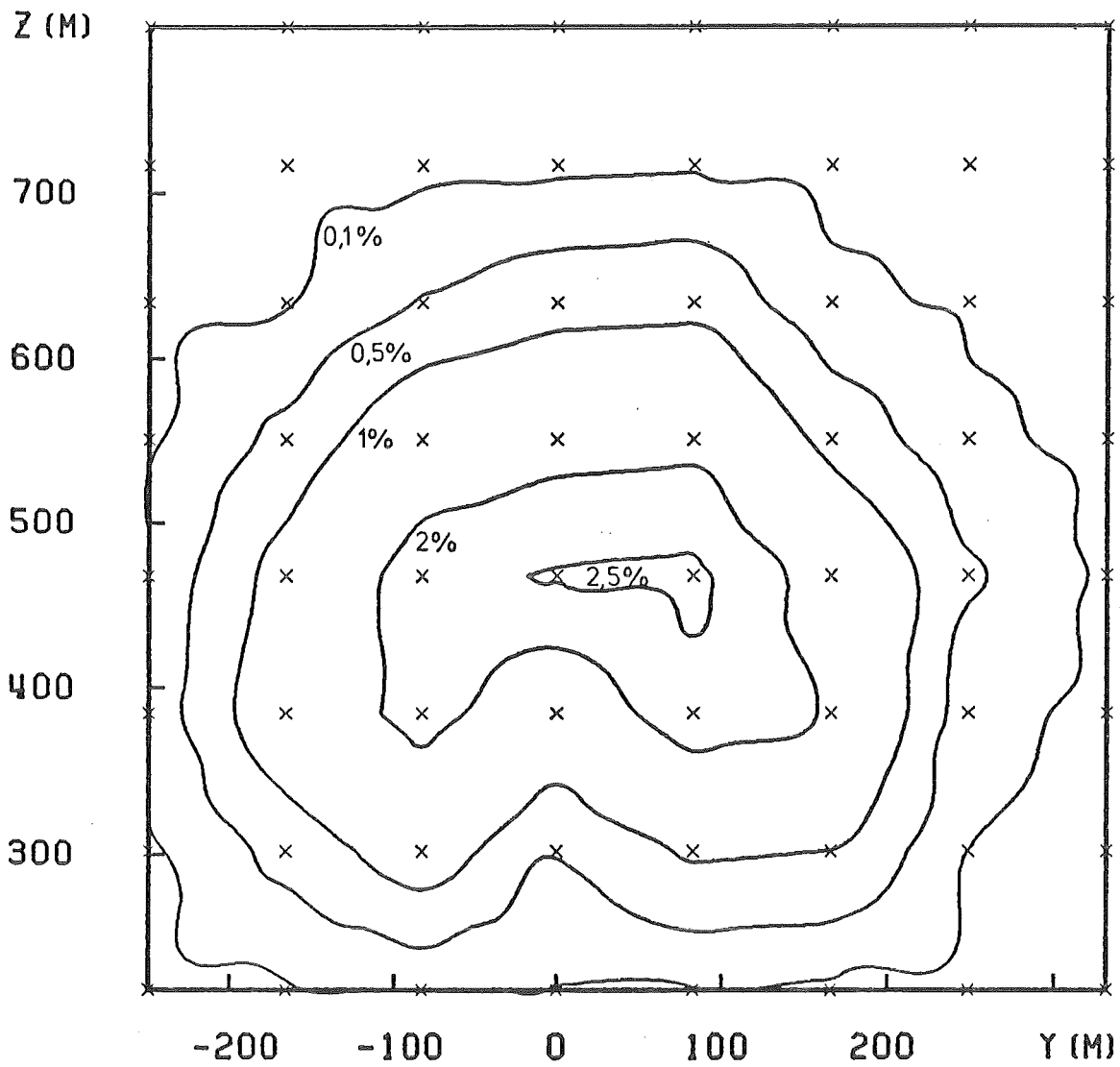


Abb. 11: Linien gleicher Konzentration im Kühlturmschwaden in der $y_K z_K$ -Ebene bei $x_K = 1.000$ m.

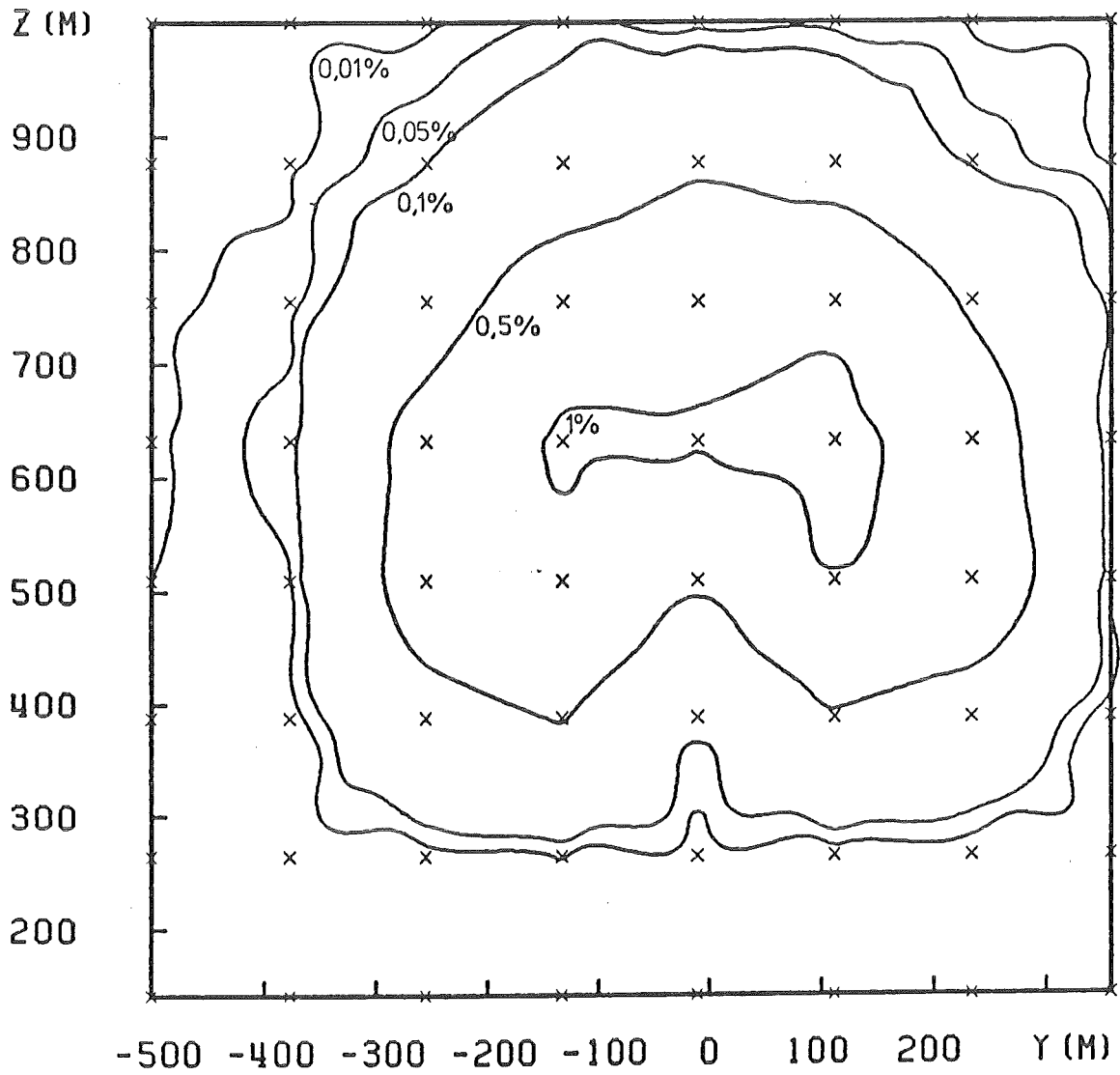


Abb. 12: Linien gleicher Konzentration im Kühlturmschwaden
in der $y_K z_K$ -Ebene bei $x_K = 2.000$ m.

6.2 Abgasfahne in Ebenen quer zur Strömungsrichtung

Die Abb. 13 bis 30 zeigen die Linien gleichen Stackfaktors in der $y_s z_s$ -Ebene im Abstand $x_s = 1.000, 2.000$ und 3.000 m von der Emissionsstelle. Für jede der 6 Kombinationen Kühlturm/Schornstein ist die Konzentration bei Kühlturm nicht in Betrieb (gestrichelte Linien) und Kühlturm in Betrieb (durchgezogene Linien) mit Linien gleichen Stackfaktors dargestellt.

Abb. 13, 14, 15	:	Schornstein 100 m	querab v. Kühlturm		
" 16, 17, 18	:	" 200 m	" " "		
" 19, 20, 21	:	" 300 m	" " "		
" 22, 23, 24	:	" 400 m	" " "		
" 25, 26, 27	:	" 300 m	im Luv	"	"
" 28, 29, 30	:	" 300 m	im Lee	"	"

Der Stackfaktor ist hier definiert mit

$$\text{Stackfaktor} = \frac{c \cdot u}{Q} \left| \frac{1}{m^2} \right|$$

dabei ist

c = Abgaskonzentration an der Meßstelle | - |
|
= gemessene Tracerkonzentration/Tracerkonzentration
in der Emission

u = Windgeschwindigkeit in 420 m Höhe |m/s|

Q = Quellstärke der Emission |m³/s|

Die Abb. 10 bis 30 wurden vom Auftraggeber anhand der im Tabellenanhang gegebenen Tabellen A1 bis A 51 erstellt.

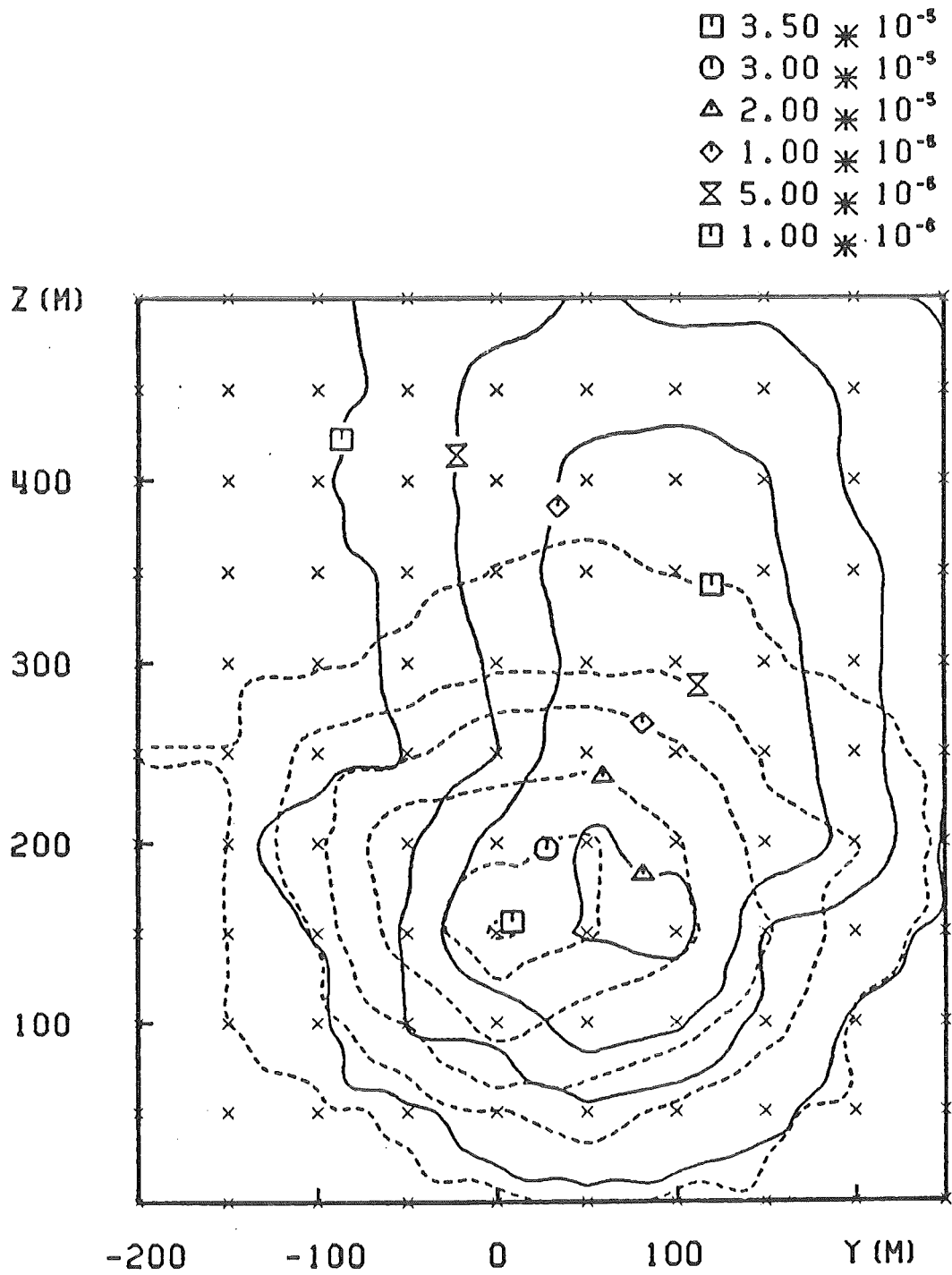


Abb. 13: Linien gleichen Stackfaktors bei $x_s = 1.000$ m. Schornstein 100 m querab vom Kühlturm.
Kühlturm nicht in Betrieb (gestrichelte Linie).
Kühlturm in Betrieb (durchgezogene Linie).

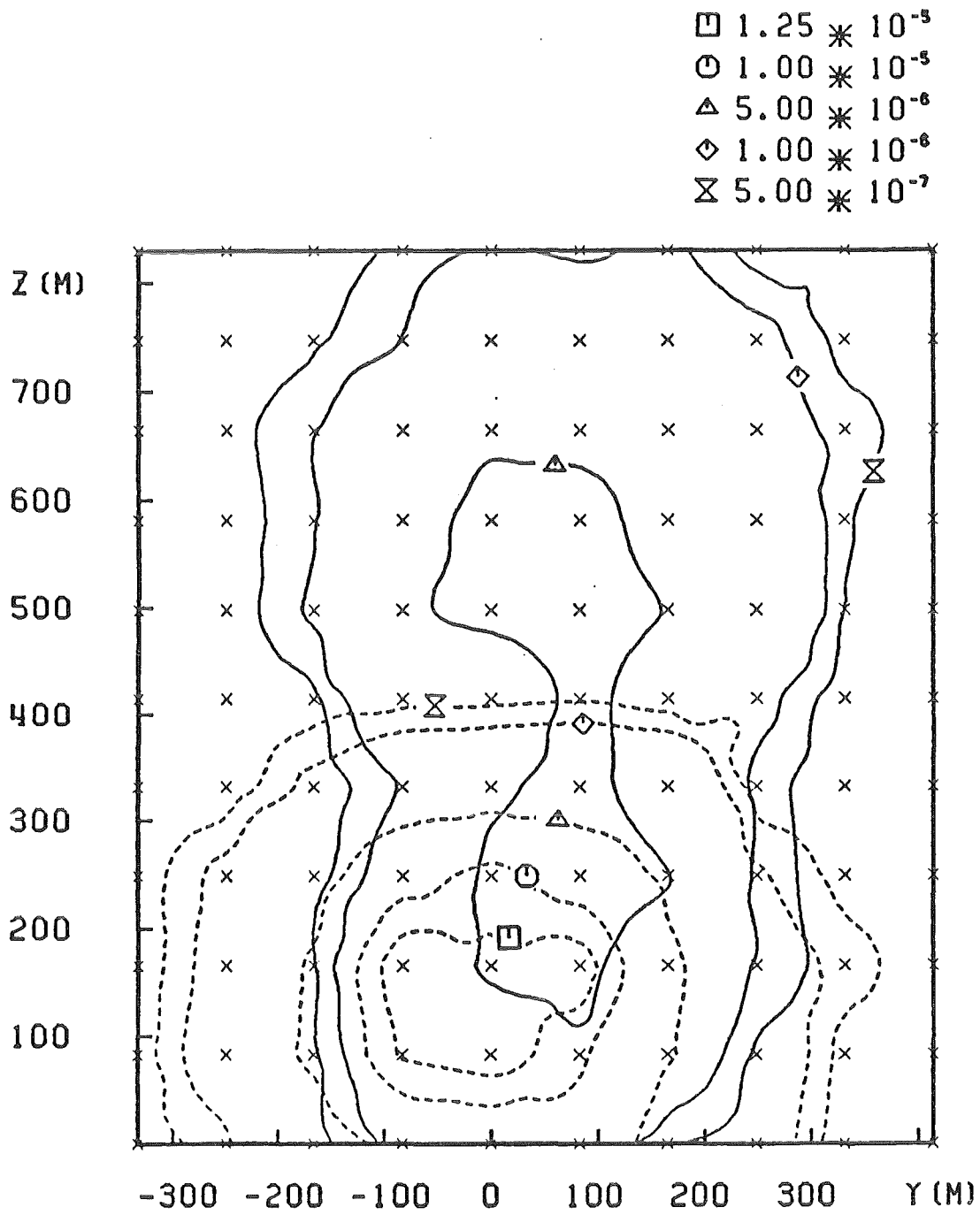


Abb. 14: Linien gleichen Stackfaktros bei $x_s = 2.000$ m. Schornstein 100 m querab vom Kühlturm.
Kühlturm nicht in Betrieb (gestrichelte Linie).
Kühlturm in Betrieb (durchgezogene Linie).

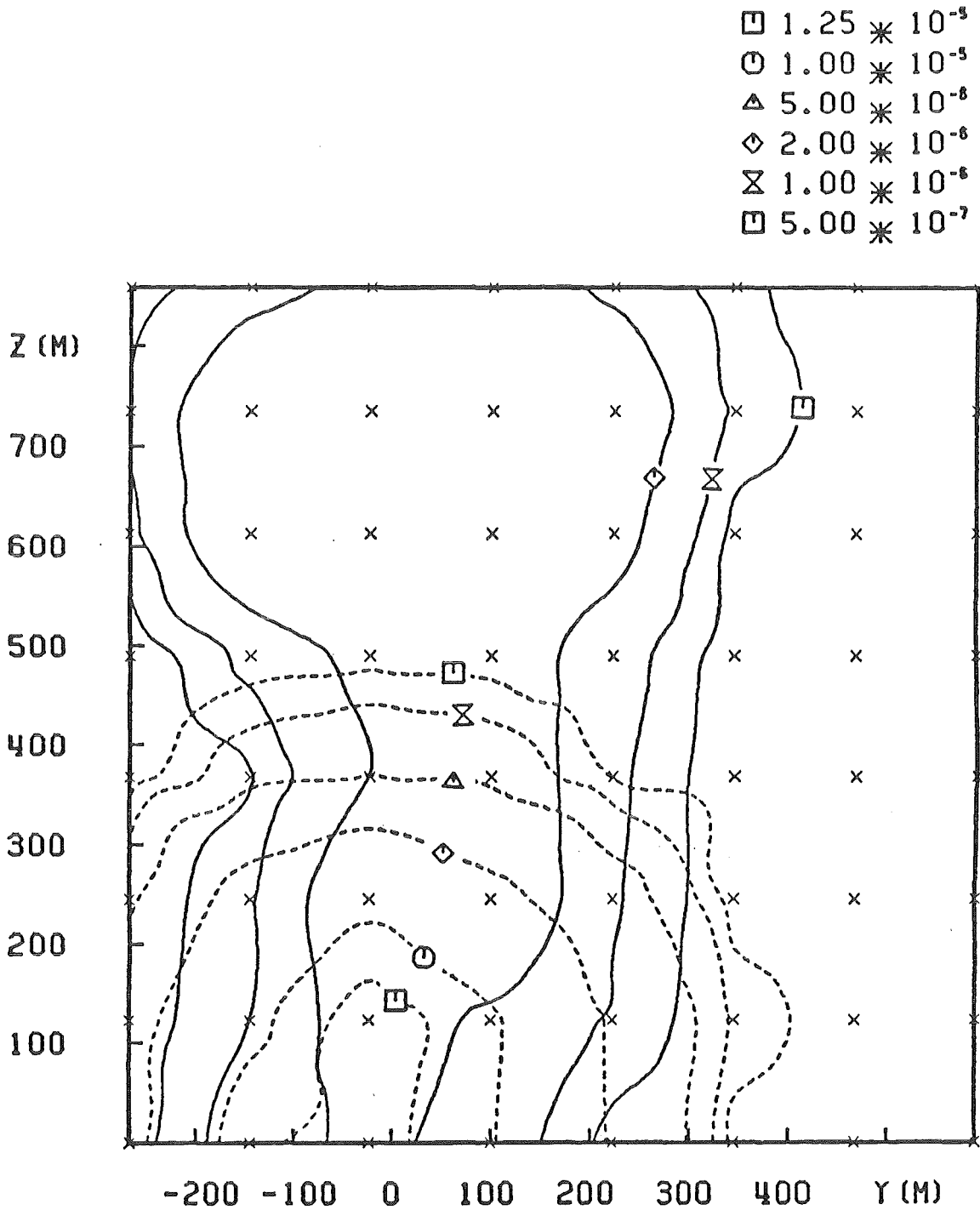


Abb. 15: Linien gleichen Stackfaktors bei $x_s = 3.000$ m. Schornstein
100 m querab vom Kühlturm.
Kühlturm nicht in Betrieb (gestrichelte Linie).
Kühlturm in Betrieb (durchgezogene Linie).

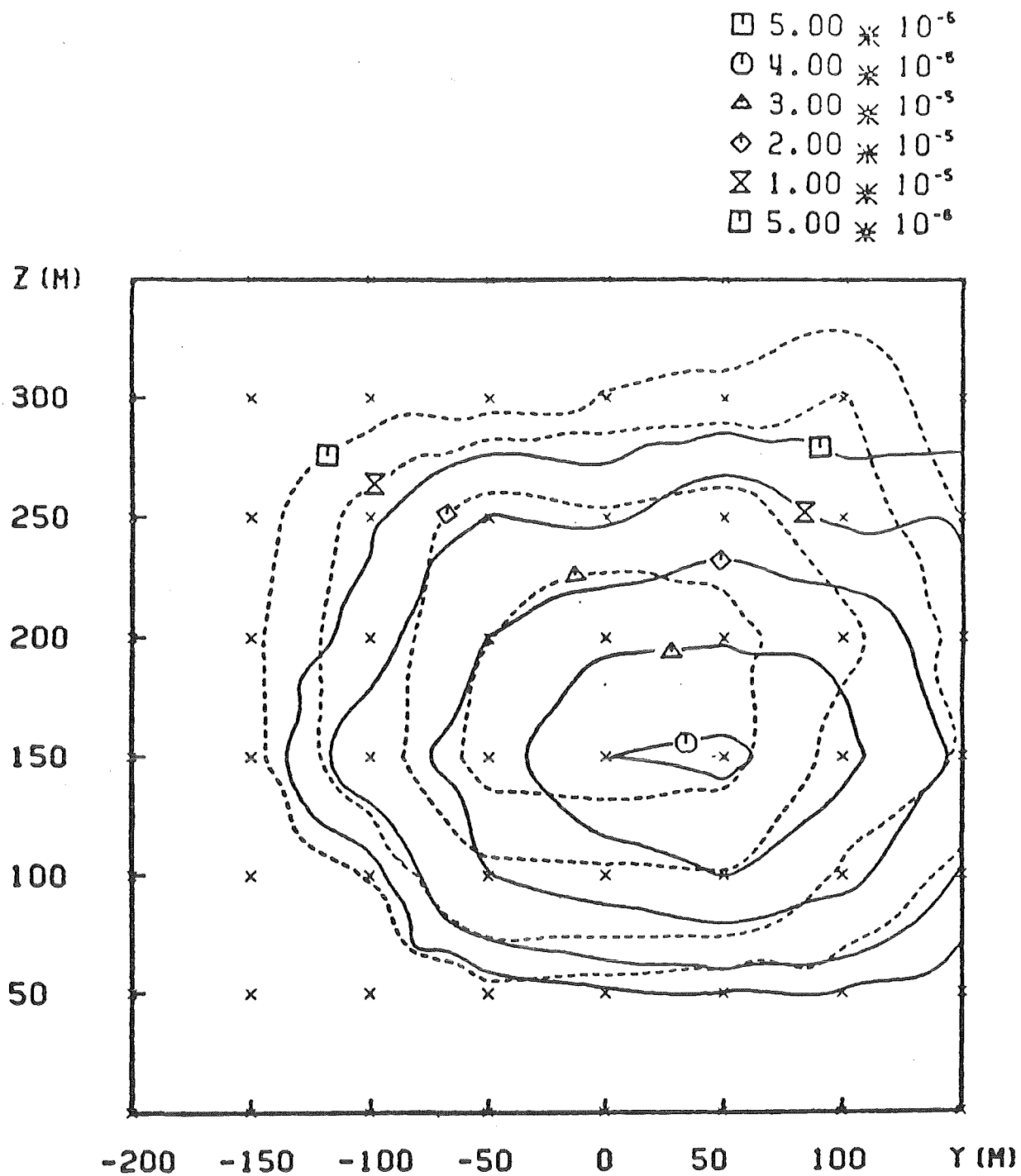


Abb. 16: Linien gleichen Stackfaktors bei $x_s = 1.000$ m. Schornstein 200 m querab vom Kühlturm.
Kühlturm nicht in Betrieb (gestrichelte Linie).
Kühlturm in Betrieb (durchgezogene Linie).

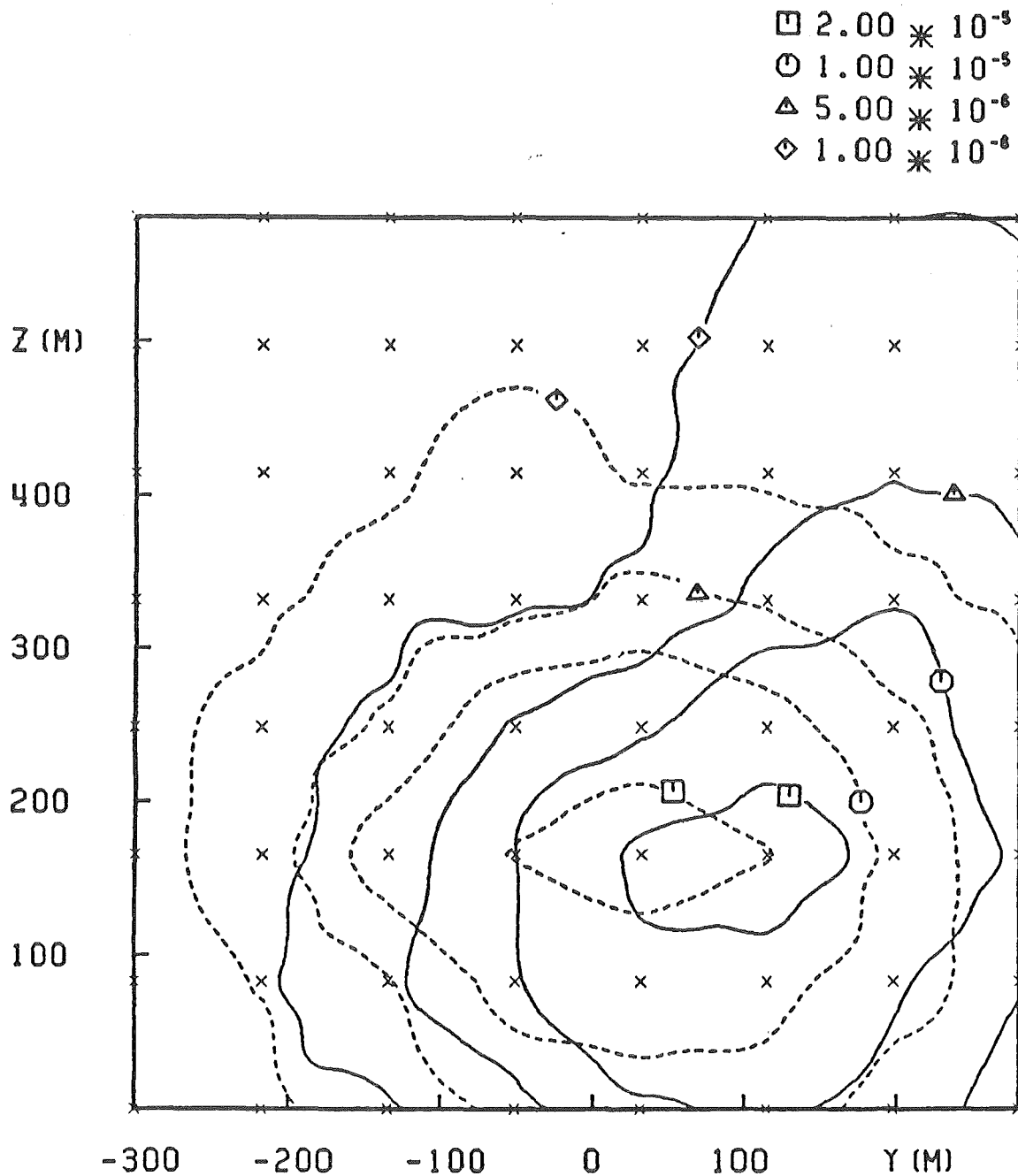


Abb. 17: Linien gleichen Stackfaktors bei $x_s = 2.000$ m. Schornstein 200 m querab vom Kühlturm.
Kühlturm nicht in Betrieb (gestrichelte Linie).
Kühlturm in Betrieb (durchgezogene Linie).

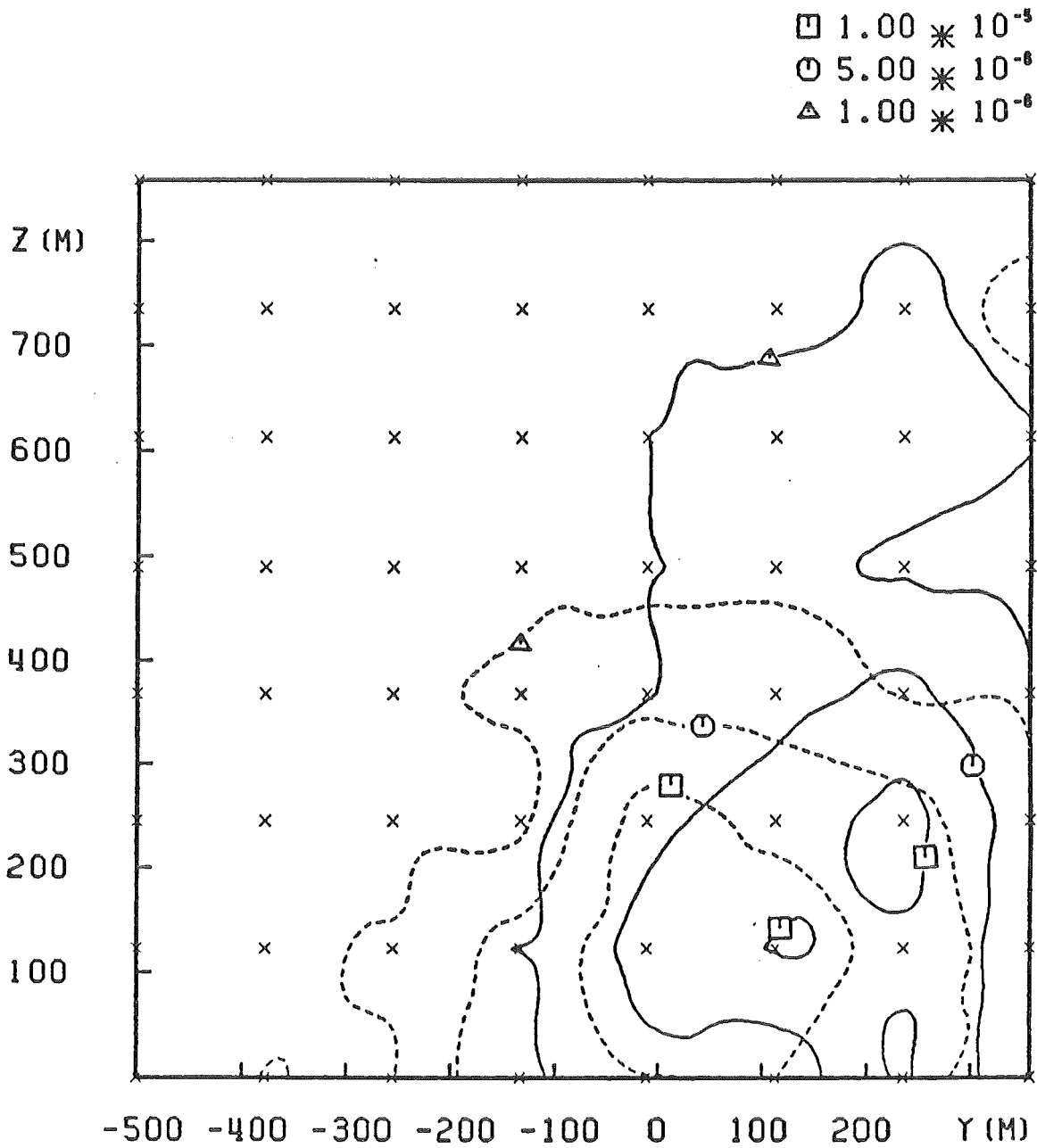


Abb. 18: Linien gleichen Stackfaktors bei $x_s = 3.000$ m. Schornstein 200 m querab vom Kühlturm.
Kühlturm nicht in Betrieb (gestrichelte Linie).
Kühlturm in Betrieb (durchgezogene Linie).

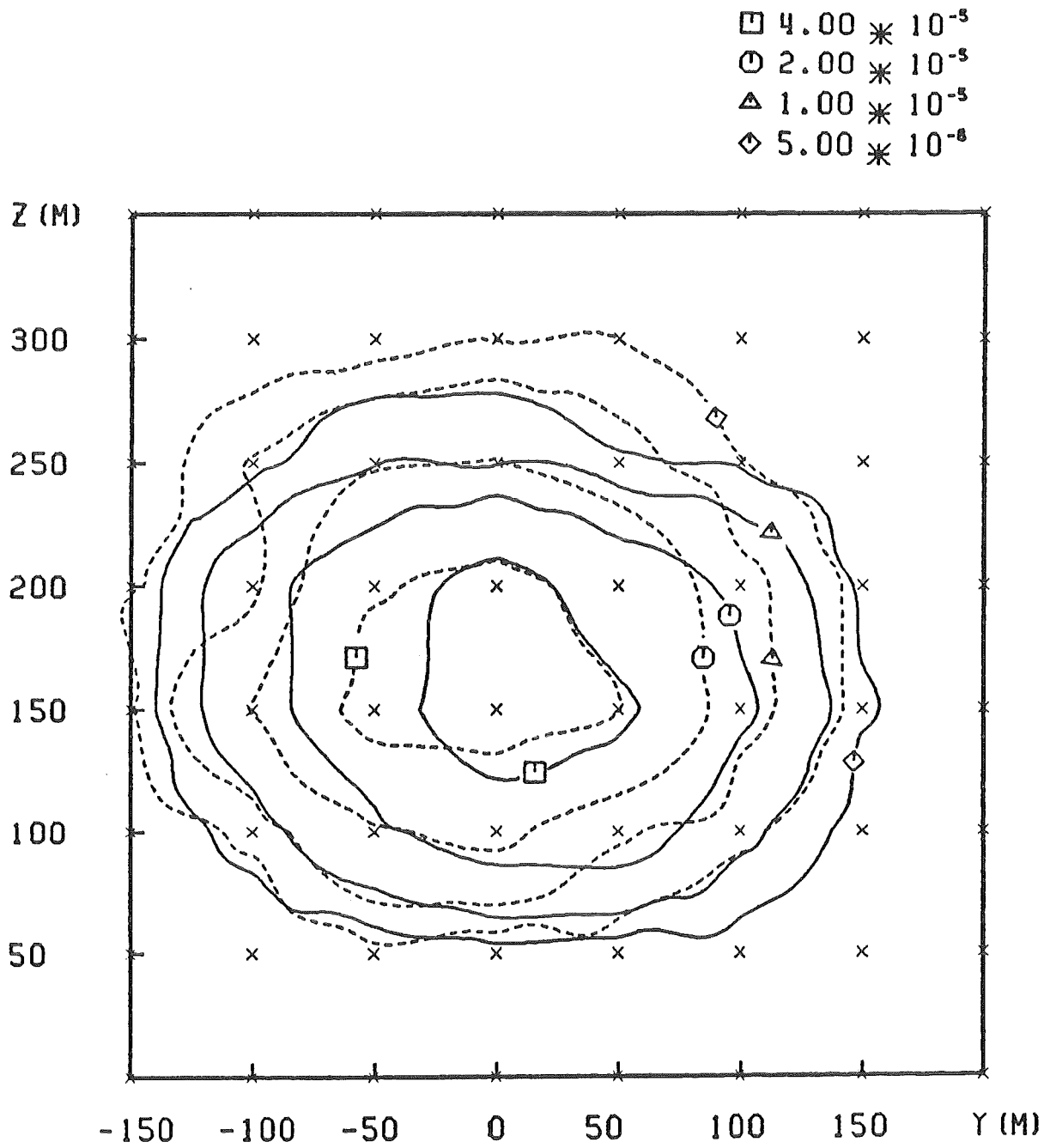


Abb. 19: Linien gleichen Stackfaktors bei $x_s = 1.000$ m. Schornstein 300 m querab vom Kühlturm.
Kühlturm nicht in Betrieb (gestrichelte Linie).
Kühlturm in Betrieb (durchgezogene Linie).

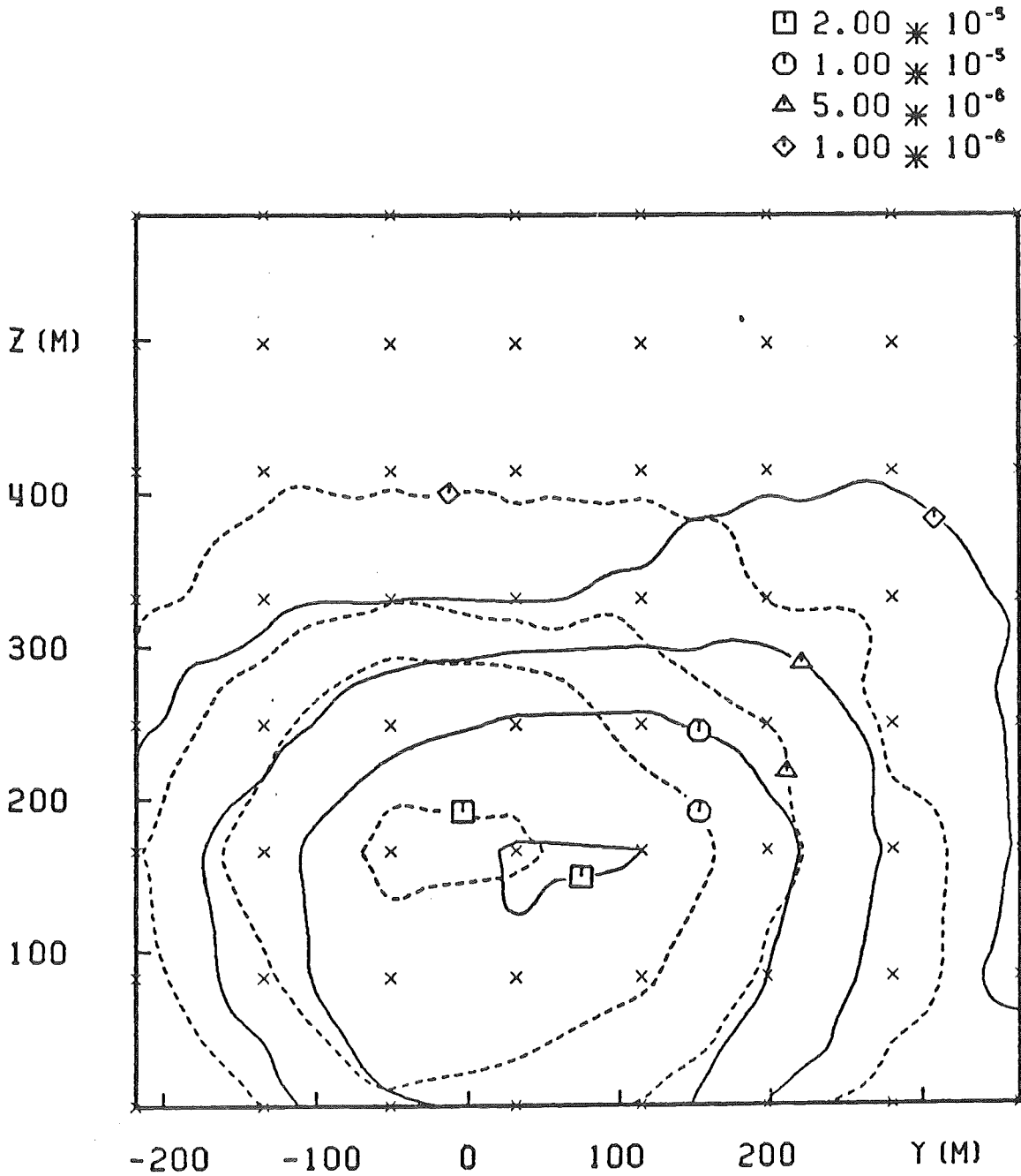


Abb. 20: Linien gleichen Stackfaktors bei $x_s = 2.000$ m. Schornstein 300 m querab vom Kühlturm.
Kühlturm nicht in Betrieb (gestrichelte Linie).
Kühlturm in Betrieb (durchgezogene Linie).

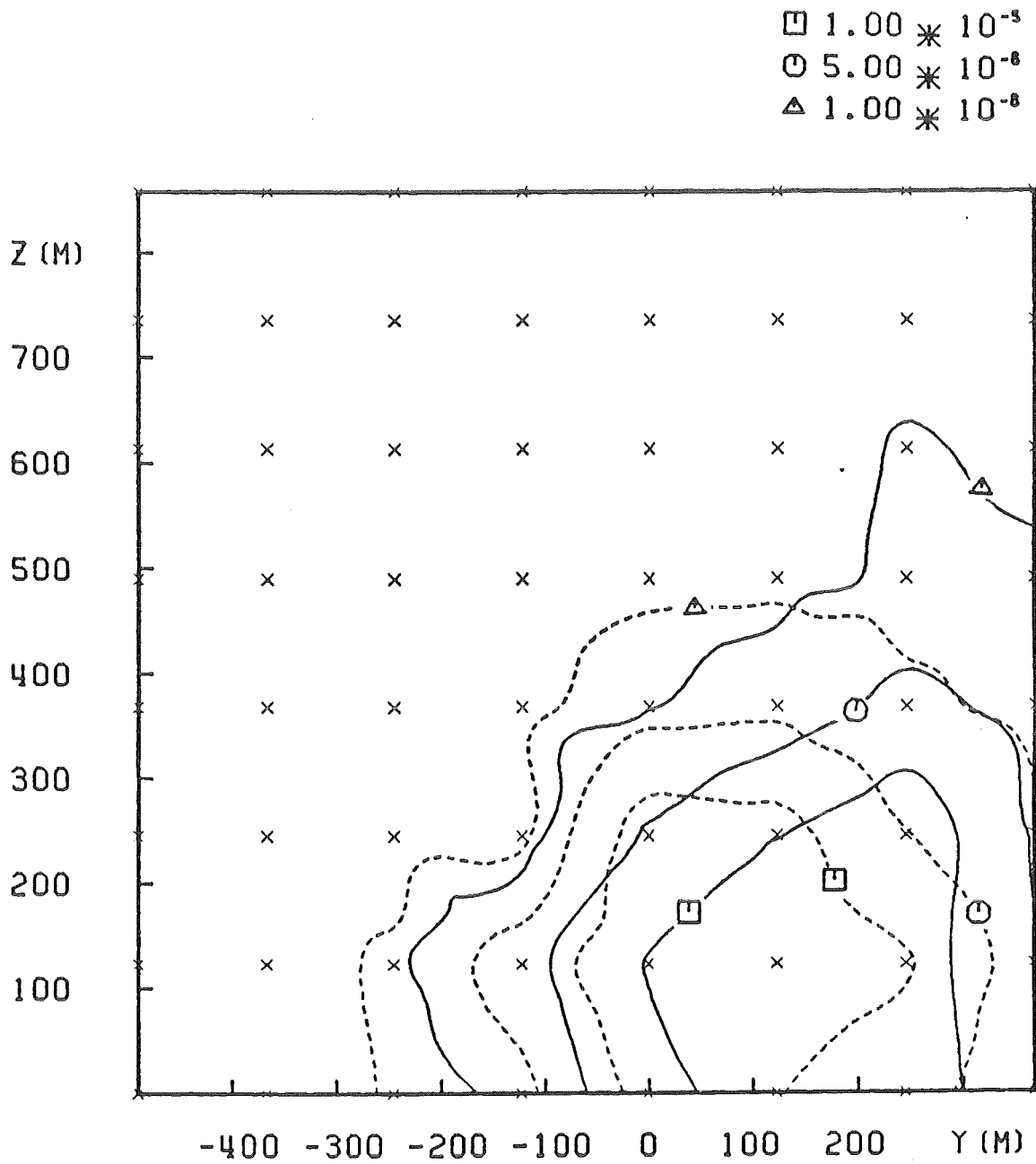


Abb. 21: Linien gleichen Stackfaktors bei $x_s = 3.000$ m. Schornstein 300 querab vom Kühlturm.
Kühlturm nicht in Betrieb (gestrichelte Linie).
Kühlturm in Betrieb (durchgezogene Linie).

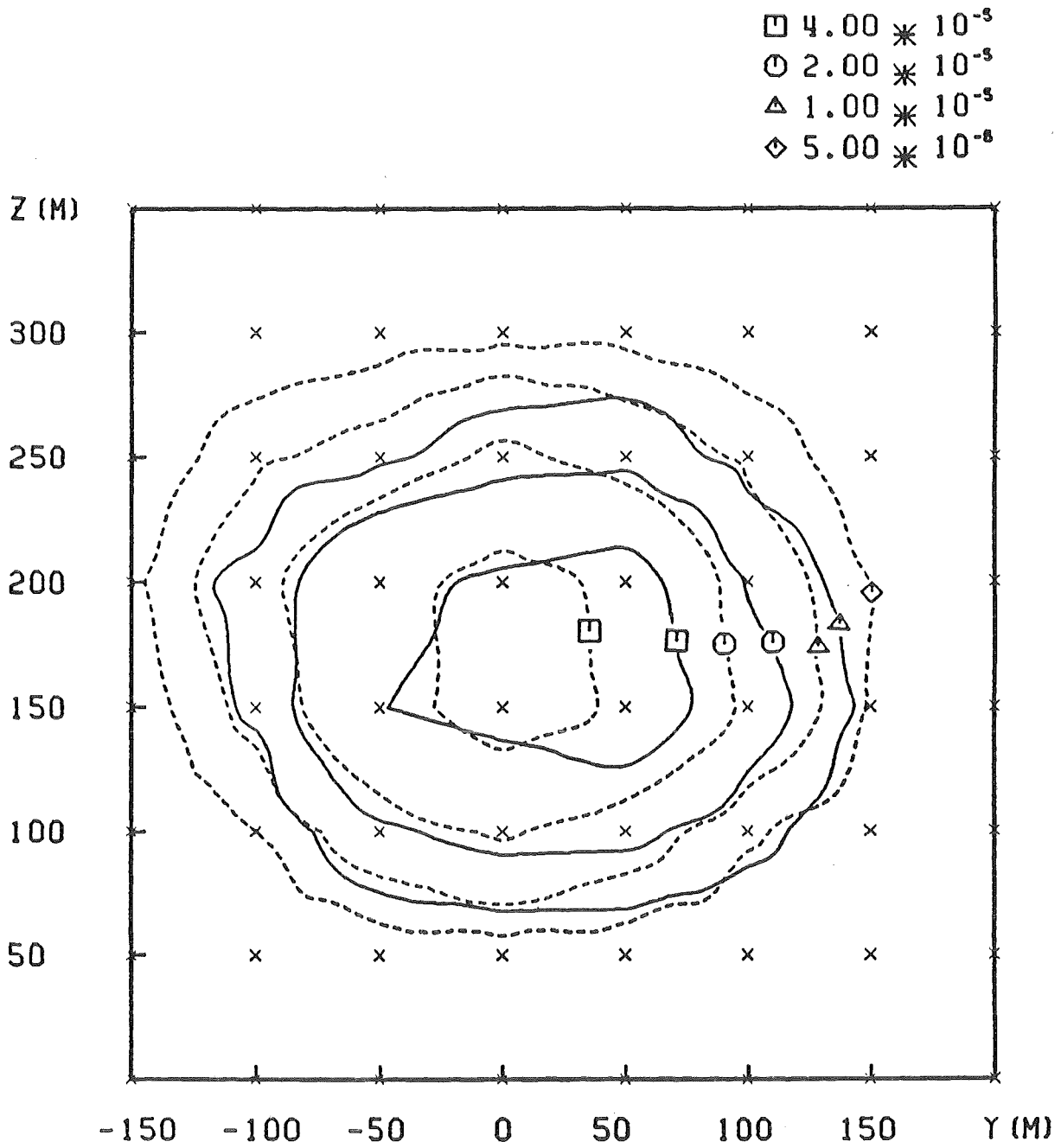


Abb. 22: Linien gleichen Stackfaktors bei $x_s = 1.000$ m. Schornstein 400 m querab vom Kühlturm.
Kühlturm nicht in Betrieb (gestrichelte Linie).
Kühlturm in Betrieb (durchgezogene Linie).

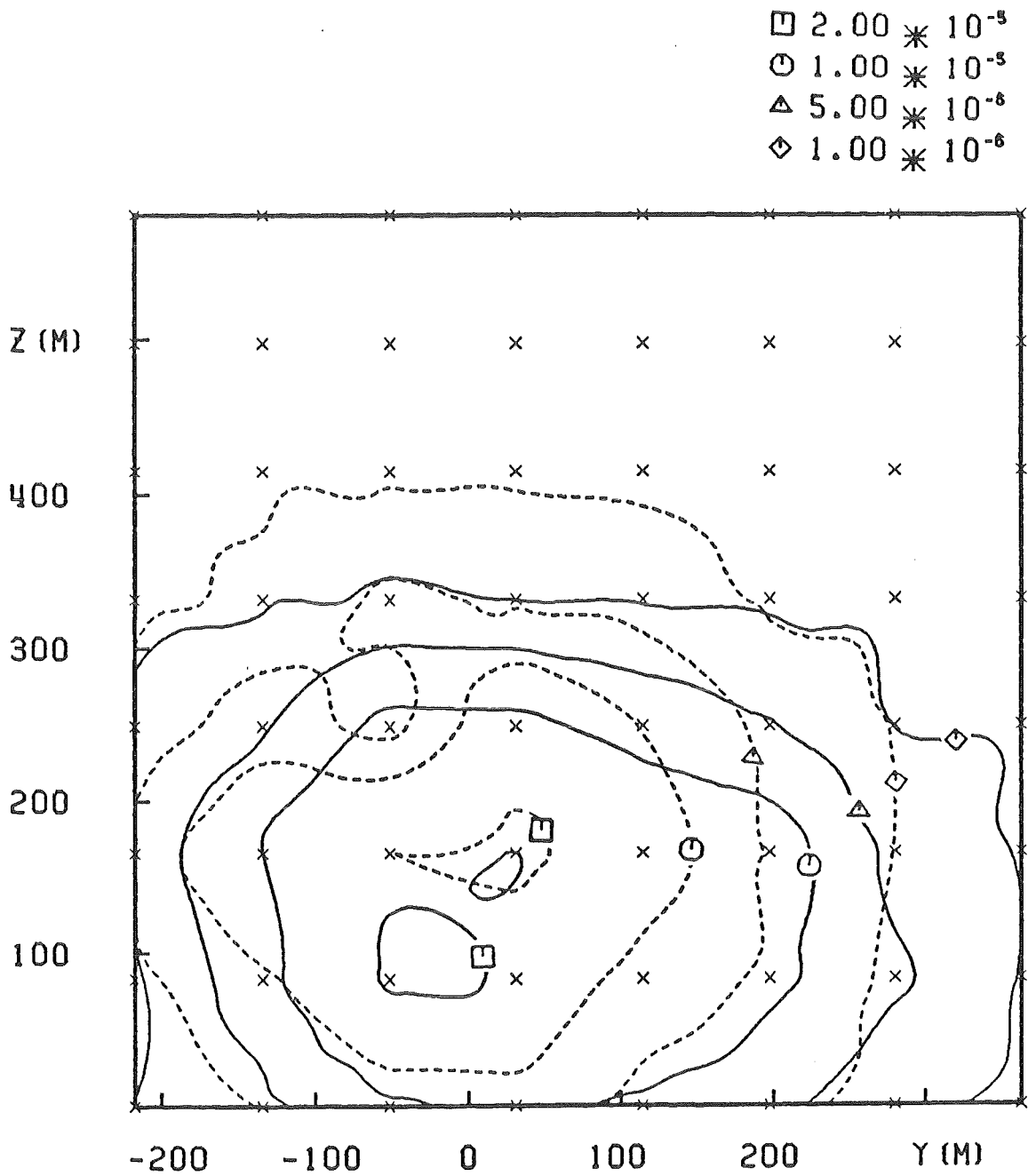


Abb. 23: Linien gleichen Stackfaktors bei $x_s = 2.000$ m. Schornstein 400 m querab vom Kühlturm.
Kühlturm nicht in Betrieb (gestrichelte Linie).
Kühlturm in Betrieb (durchgezogene Linie).

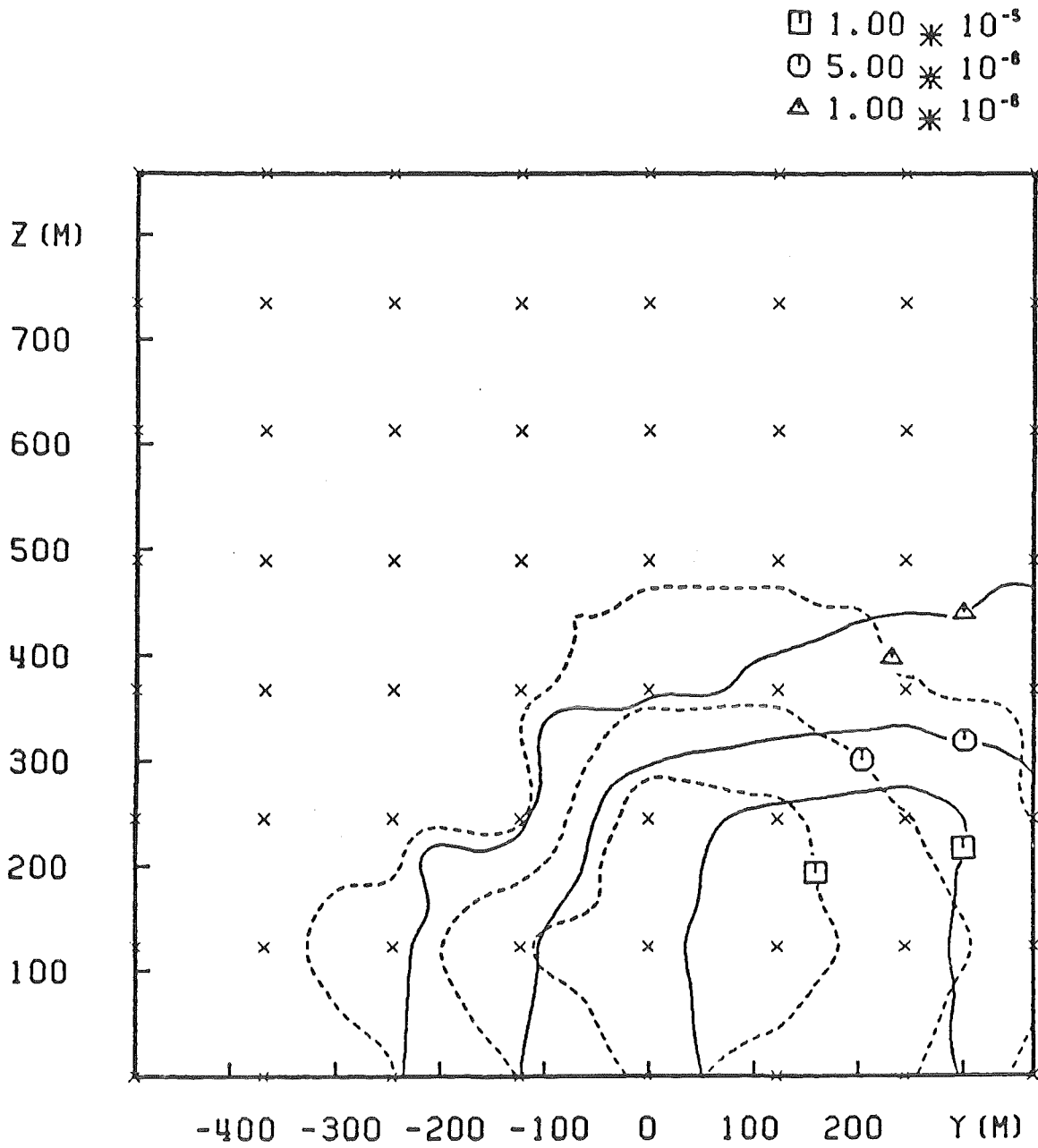


Abb. 24: Linien gleichen Stackfaktors bei $x_s = 3.000$ m. Schornstein
400 m querab vom Kühlturm.
Kühlturm nicht in Betrieb (gestrichelte Linie).
Kühlturm in Betrieb (durchgezogene Linie).

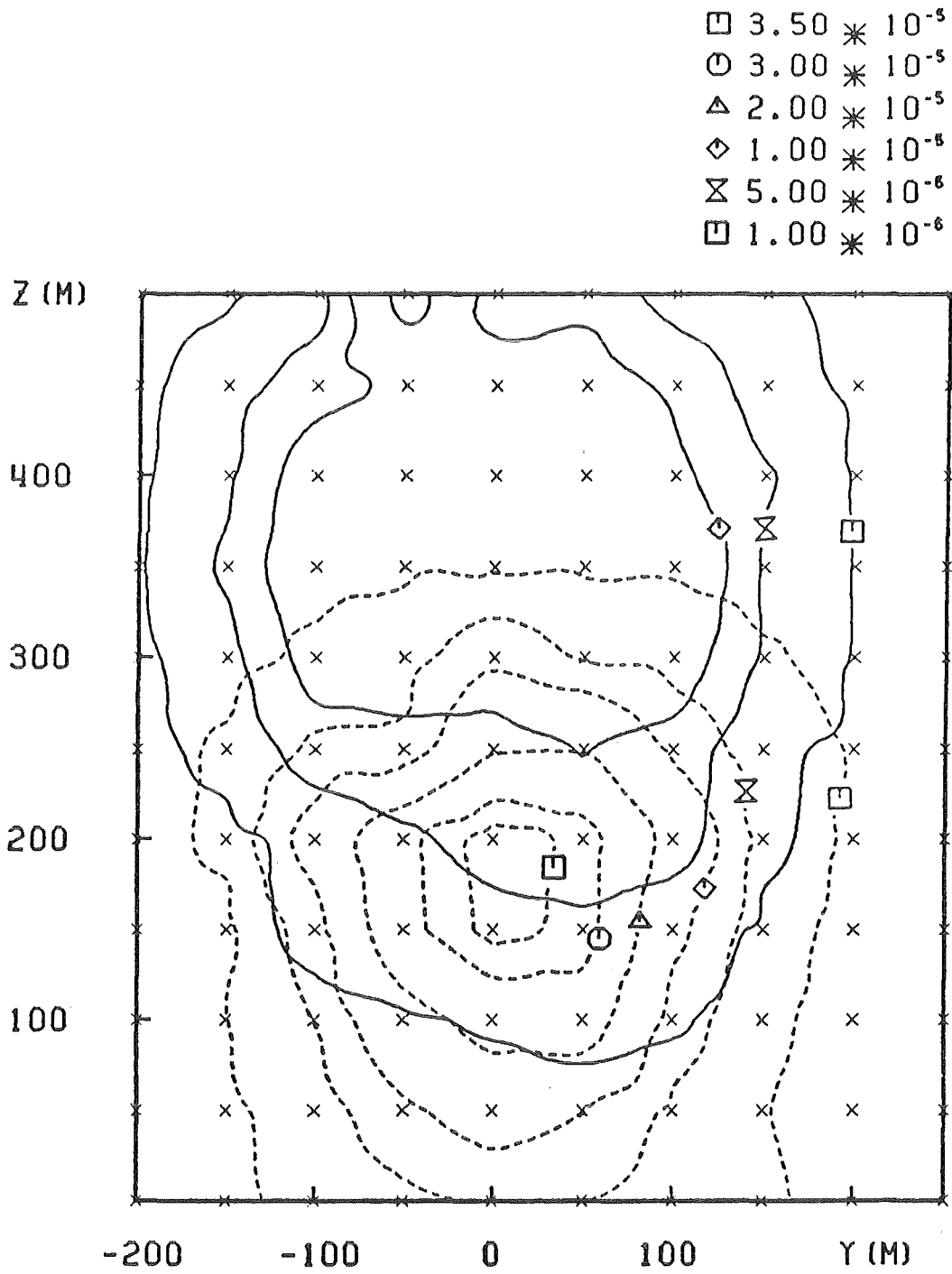


Abb. 25: Linien gleichen Stackfaktors bei $x_s = 1.000$ m. Schornstein 300 im Luv vom Kühlturm.
Kühlturm nicht in Betrieb (gestrichelte Linie).
Kühlturm in Betrieb (durchgezogene Linie).

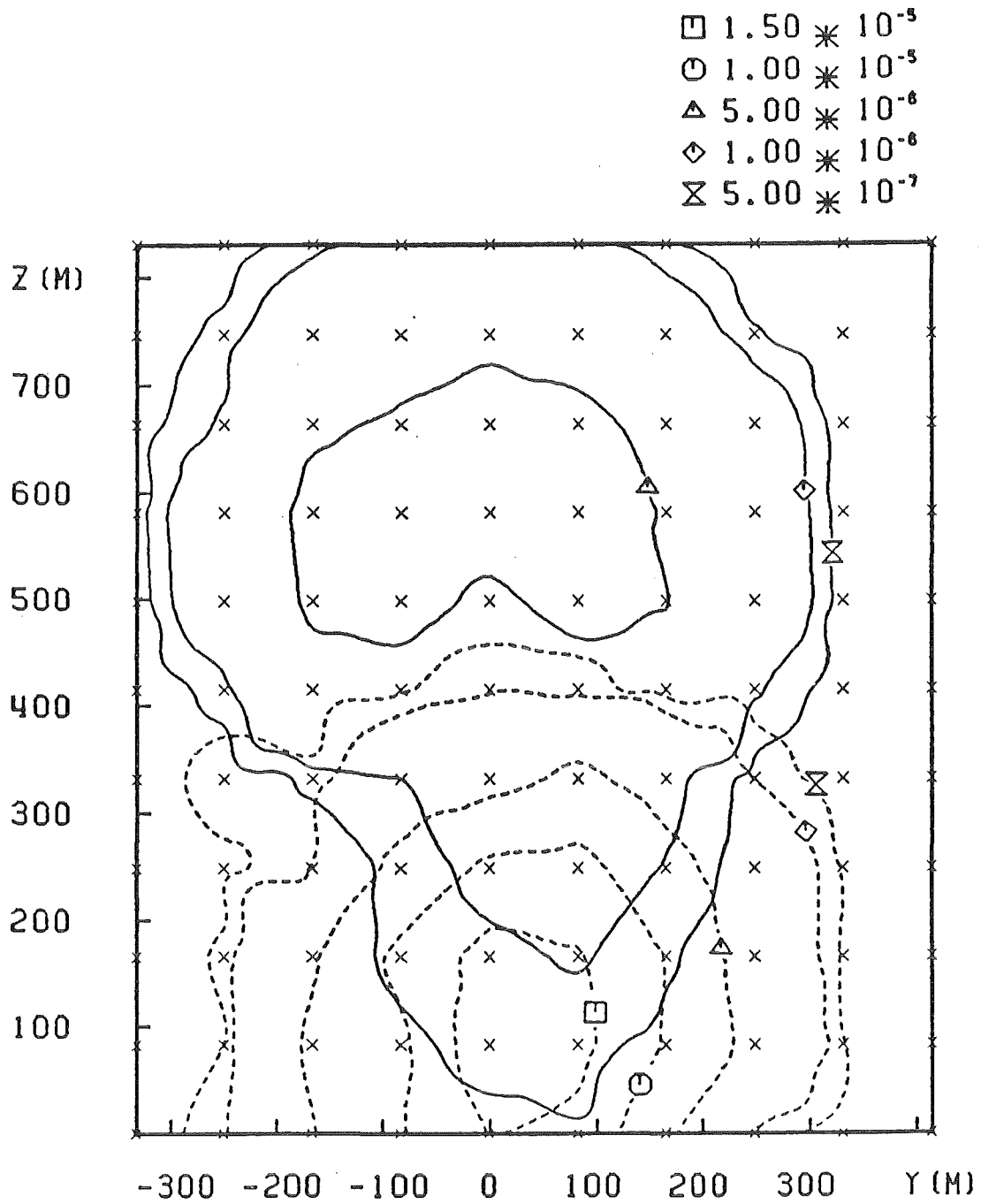


Abb. 26: Linien gleichen Stackfaktors bei $x_s = 2.000$ m. Schornstein 300 m im Luv vom Kühlturm.
Kühlturm nicht in Betrieb (gestrichelte Linie).
Kühlturm in Betrieb (durchgezogene Linie).

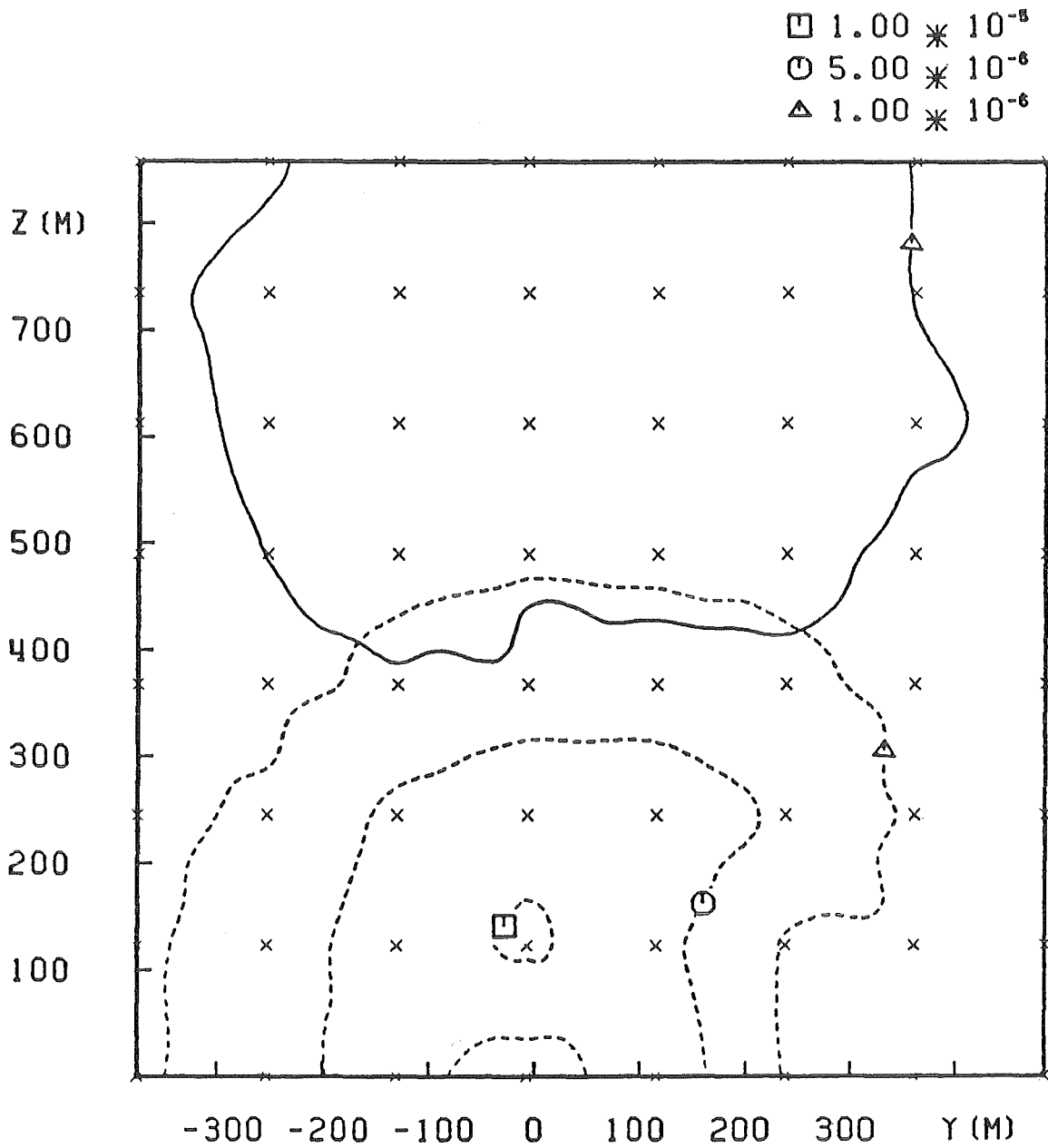


Abb. 27: Linien gleichen Stackfaktors bei $x_s = 3.000$ m. Schornstein 300 m im Luv vom Kühlturm.
Kühlturm nicht in Betrieb (gestrichelte Linie).
Kühlturm in Betrieb (durchgezogene Linie).

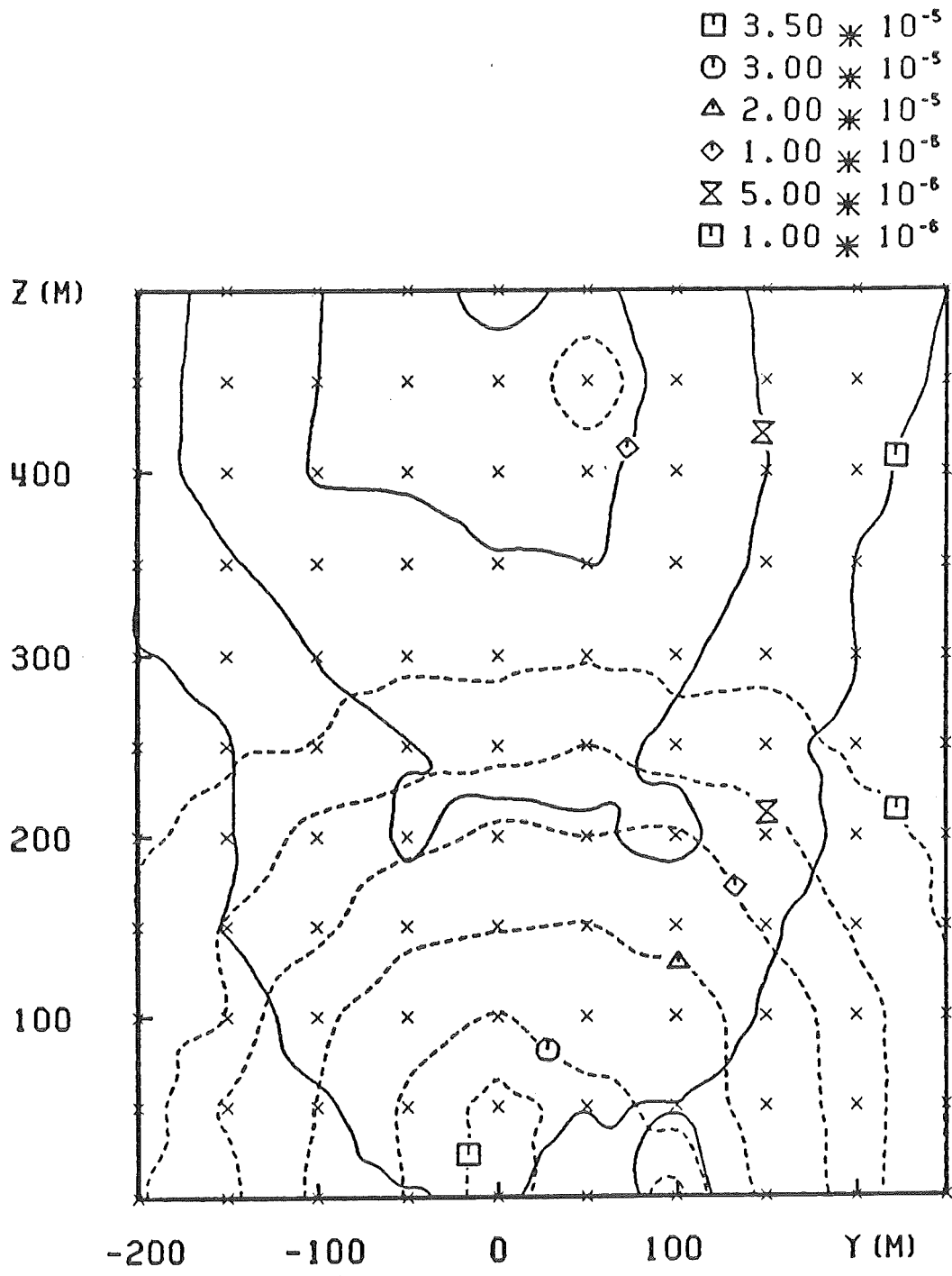


Abb. 28: Linien gleichen Stackfaktors bei $x_s = 1.000$ m. Schornstein 300 m im Lee vom Kühlturm.
 Kühlturm nicht in Betrieb (gestrichelte Linie).
 Kühlturm in Betrieb (durchgezogene Linie).

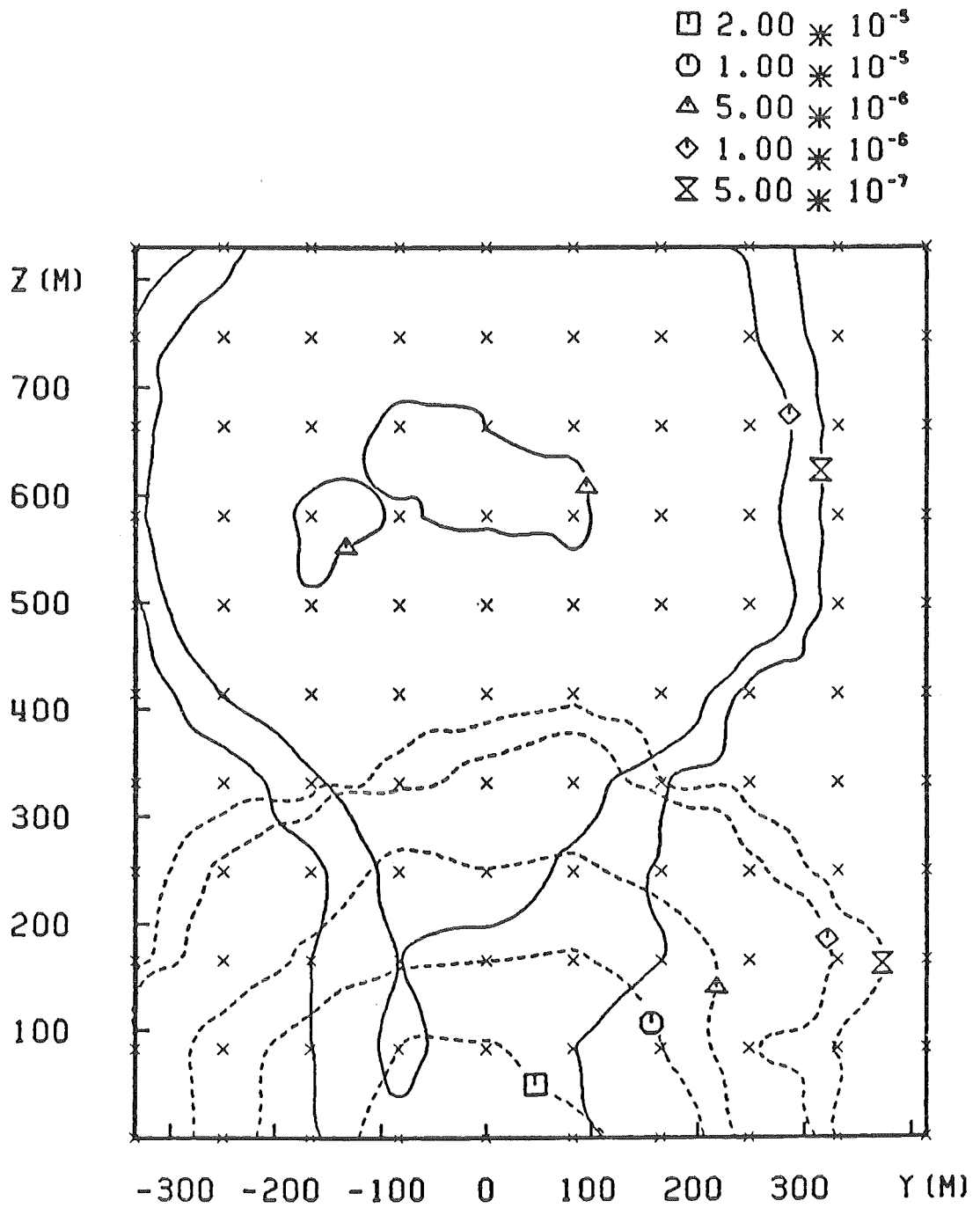


Abb. 29: Linien gleichen Stackfaktor σ bei $x_s = 2.000$ m. Schornstein 300 im Lee vom Kühlturm.
Kühlturm nicht in Betrieb (gestrichelte Linie).
Kühlturm in Betrieb (durchgezogene Linie).

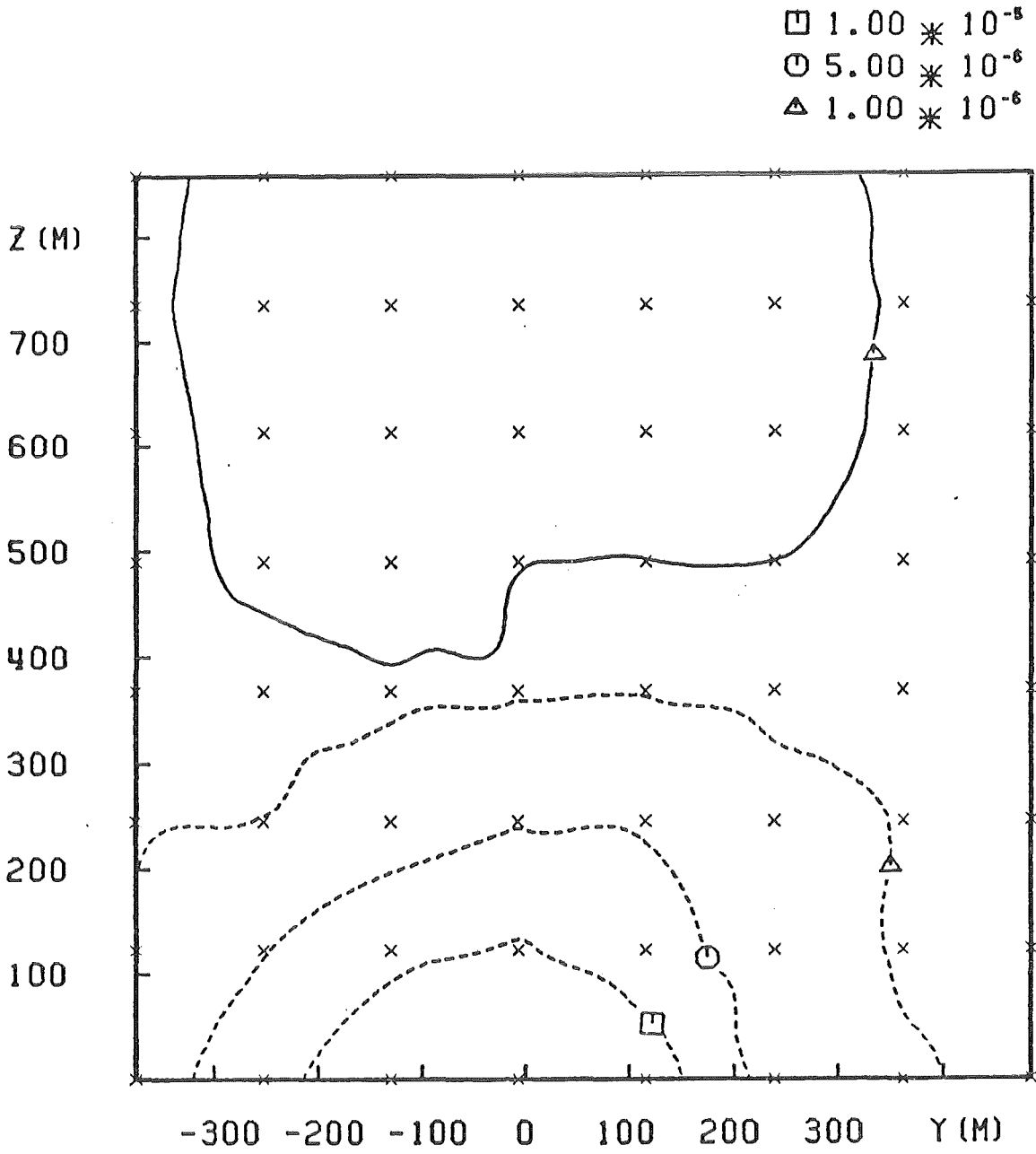


Abb. 30: Linien gleichen Stackfaktors bei $x_s = 3.000$ m. Schornstein 300 m im Lee vom Kühlturm.
Kühlturm nicht in Betrieb (gestrichelte Linie).
Kühlturm in Betrieb (durchgezogene Linie).

7. UNTERSUCHUNG DER ERGEBNISSE BEZÜGLICH ZIELSETZUNG

Die Abbildungen 10, 11, und 12 zeigen, daß der Kühlturmschwaden nicht etwa radialsymmetrisch ist, sondern daß sich offensichtlich 2 gegenläufige Wirbel mit der Achse in x-Richtung bilden. Diese Wirbel führen dem Schwaden von unten Außenluft zu. Dies ist am Verlauf der Linien gleicher Konzentration und den Fotos in Abb. 9b bis 9f zu sehen.

Der für die Schwadenausbreitung charakteristische Doppelwirbel scheint sich demnach nicht nur in der Natur, sondern auch im Windkanal einzustellen.

Die Isoliniendarstellungen der Abb. 13 bis 30 zeigen, daß der Schwaden zum Teil großen Einfluß auf die Ausbreitung der Emission hat. Die Abb. 31 zeigt als Zusammenfassung die Veränderung der Höhe der Trajektorien, verursacht durch den Kühlturmschwaden bei den 6 verschiedenen Situationen.

Bei 100 m seitlichem Abstand des Schornsteins vom Kühlturm sowie bei den Schornsteinpositionen im Luv und im Lee, wurde die Rauchgasfahne vom Kühlturmschwaden eingesaugt. Bei den seitlichen Abständen 300 und 400 m querab vom Kühlturm wurde die Rauchgasfahne in größere Bodennähe gebracht. Bei 200 m seitlichem Abstand fällt die Trajektorie zunächst ab und steigt dann später wieder an.

Die Abb. 32 zeigt den Einfluß des Kühlturmschwadens auf die Bodenkonzentration. Bei den untersuchten Schornsteinpositionen im Luv, Lee sowie 100 m seitlich vom Kühlturm führt der Schwaden überall zu einer Verringerung der Bodenkonzentration. Bei den anderen untersuchten Schornsteinpositionen erhöht der Kühlturmschwaden die Bodenkonzentration bis in Entfernungen von ca. 2.000 bis 3.000 m. Ab dann führt er zu einer Verringerung der Bodenkonzentrationen.

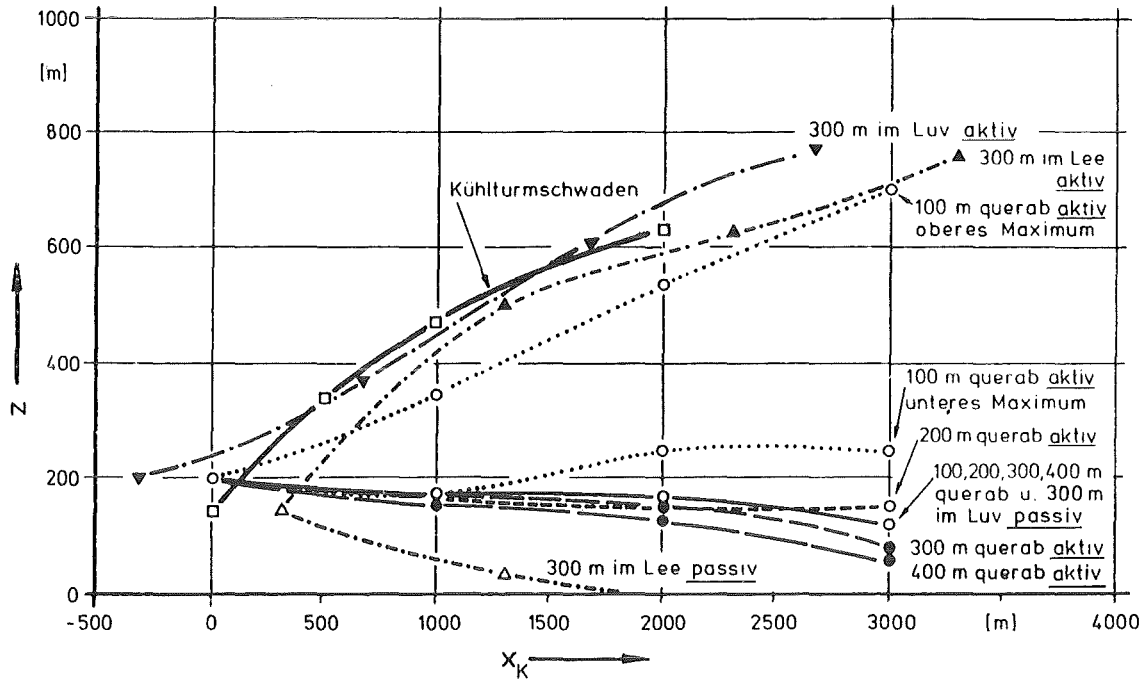


Abb. 31: Vergleich der Höhen der Trajektorien der Rauchgasfahnen und des Kühlturmschwadens bei aktivem und passivem Kühlturm.

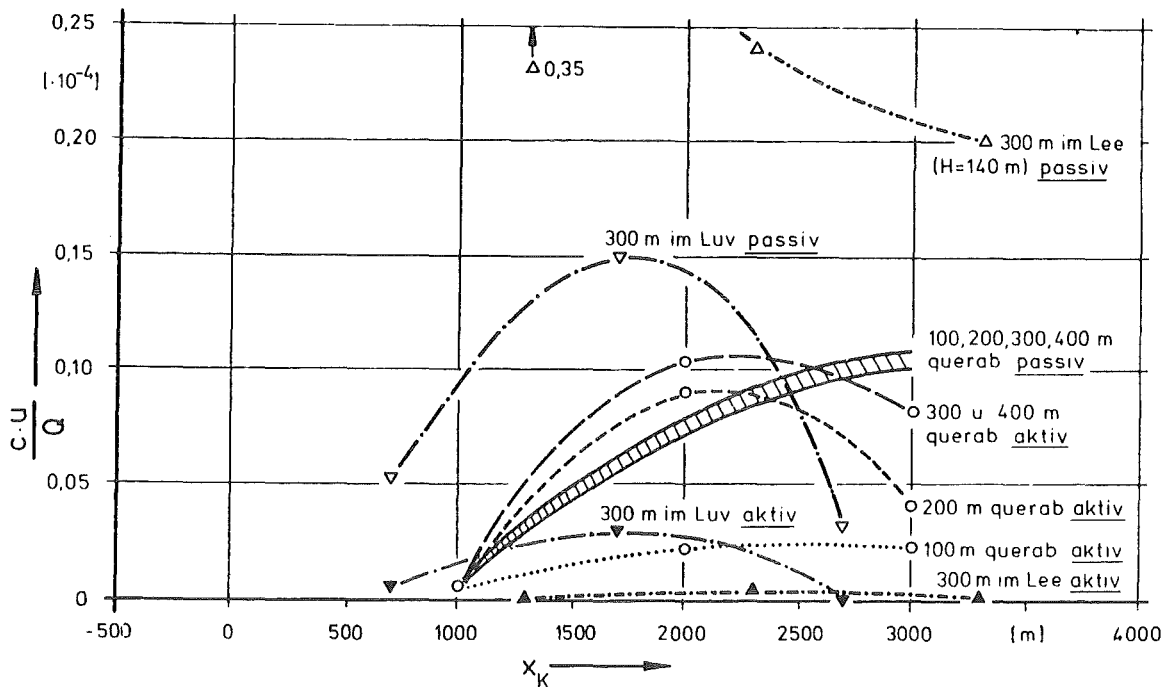


Abb. 32: Änderung der Bodenkonzentrationen im Lee der Schornsteinposition bei aktivem und passivem Kühlturm. (Werte entnommen aus Tab. A4 - A51)

8. UNTERSUCHUNG DER ERGEBNISSE AUF PLAUSIBILITÄT UND ÜBERPRÜFUNG DER MESSUNGEN

8.1 Ausbreitungsparameter

Die Ausbreitungsparameter σ_y und σ_z der Abgasfahne können mit Literaturergebnissen verglichen werden. Ein solcher Vergleich ist in der Abb. 33 gezeigt. Erwartungsgemäß sind die horizontalen Ausbreitungsparameter im Windkanal kleiner als in der Natur, weil niederfrequente Windrichtungsänderungen im Windkanal nicht simuliert werden. Die vertikalen Ausbreitungsparameter scheinen gut im Rahmen der Naturwerte zu liegen. Die Werte für $\sigma_y \cdot \sigma_z$ im Windkanal stimmen hier gut mit den Werten aus der Literatur überein.

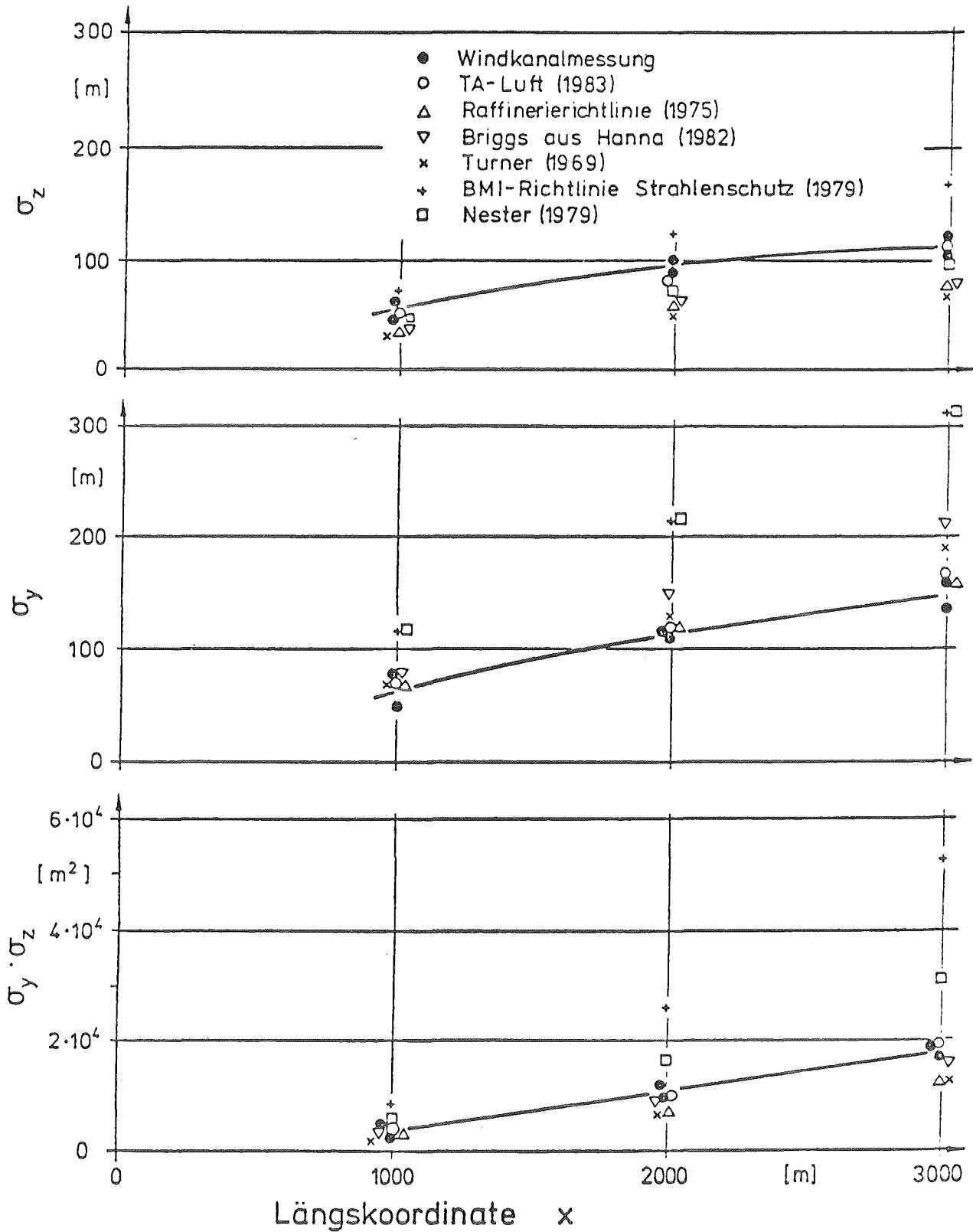


Abb. 33: Vergleich der gemessenen Ausbreitungsparameter σ_y , σ_z und $\sigma_y \cdot \sigma_z$ mit Werten aus der Literatur.

8.2 Trajektorie des Kühlturmschwadens

In Abb. 34 ist die gemessene Trajektorie des Kühlturmschwadens im Vergleich mit der von Professor Schatzmann, Universität Hamburg, errechneten Trajektorie dargestellt*. Die Trajektorie des Kühlturmschwadens scheint bei der Windkanalmessung in 2.000 m Entfernung etwa 60 m niedriger als die rechnerisch ermittelte Trajektorie zu liegen. Dies kann als sehr gute Übereinstimmung betrachtet werden.

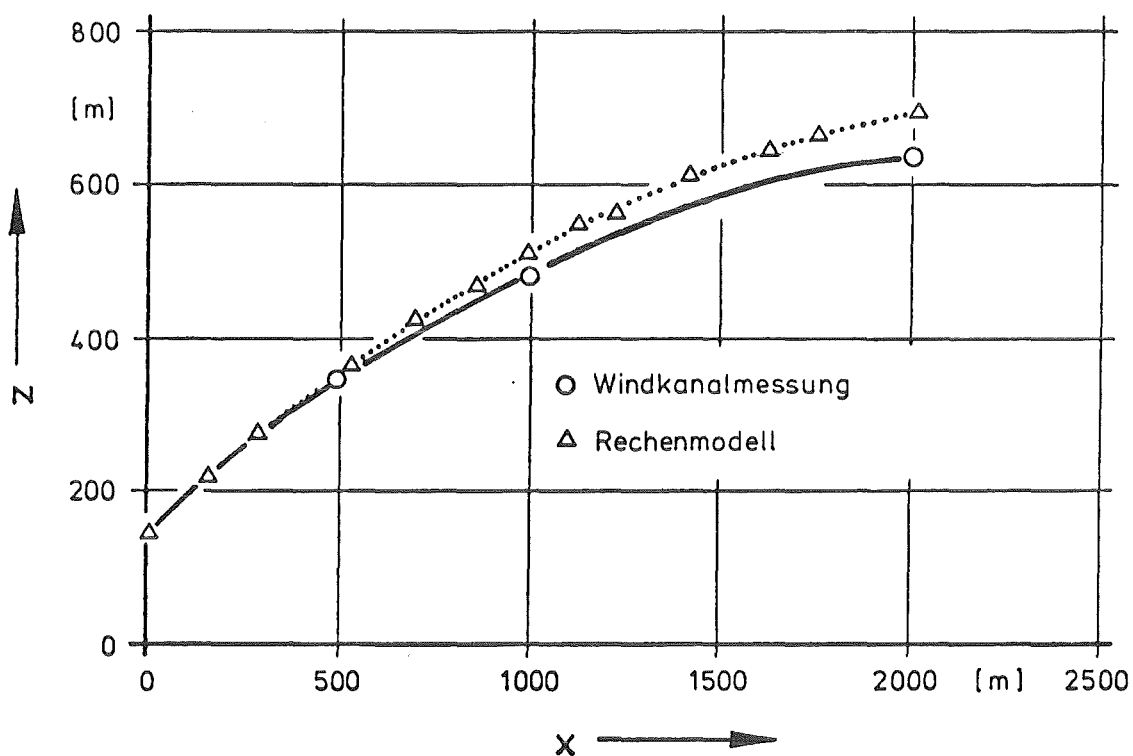


Abb. 34: Gemessene Trajektorie des Kühlturmschwadens im Vergleich mit der von Schatzmann, Universität Hamburg, gerechneten Trajektorie.

* Professor Schatzmann wird hiermit für die Berechnung der Trajektorie gedankt.

8.3 Kontinuitätsgleichung

Bei den Untersuchungen mit dem Kühlturmschwaden muß sämtlicher Tracer, welcher im Versuch vom Kühlturm abgegeben wurde, durch die 3 vermessenen $y_K z_K$ -Ebenen hindurchfließen. Aus den Konzentrationsmessungen in diesen Ebenen ist die Tracermenge Q_T bestimmbar durch Integration über die Fläche nach der Bedingung

$$Q_T = \int_F c(x_K, y_K, z_K) \cdot u(z_K) \cdot dF, \quad (1)$$

wobei F die gesamte vom Schwaden eingenommene Querschnittsfläche ist. Diese Integration wurde vom Auftraggeber ausgeführt. Die Tabelle 1 zeigt den Quotient aus dem in der Zuleitung mit Hilfe eines Rota-Schwebekörperdurchflußmessers gemessenen Tracervolumenstrom und dem berechneten Tracervolumenstrom aus den Ergebnissen der Konzentrationsmessung. Wie man sieht, ist die Kontinuitätsbedingung sehr gut erfüllt.

$K = \frac{Q_T \text{ am Rota-Durchflußmesser}}{Q_T \text{ aus Konzentrationsmessung}}$			
x =	500 m	1.000 m	2.000 m
K =	100,3 %	105 %	100,2 %

Tabelle 1: Vergleich der in der Zuleitung gemessenen Tracervolumenströme mit den durch die Konzentrationsmessungen im Schwaden bestimmten Werten.

Die Tracermenge Q_T , die zusammen mit der Rauchgasemission freigesetzt wurde, wurde im Versuch mit Hilfe eines Rota Schwebekörperdurchflußmessers bestimmt. Zur Überprüfung der Kontinuität wurden die Abb. 13 bis 30 vom Auftraggeber entsprechend Gl (1) ausgewertet. Das Ergebnis ist in Tabelle 2 gezeigt. Wie man sieht, ist die Kontinuitätsbedingung im allgemeinen befriedigend erfüllt. In 61 % der Fälle beträgt die Abweichung ± 10 %, in 25 % der Fälle ± 20 % und in 14 % der Fälle ± 30 %.

		Q_T am Rota-Durchflußmesser					
		Q_T aus Konzentrationsmessung					
x =		1.000 m		2.000 m		3.000 m	
		Kühlturm passiv aktiv		Kühlturm passiv aktiv		Kühlturm passiv aktiv	
Schorn- stein 300 m	Schornstein querab vom Kühlturm 100 m	90 %	105 %	94 %	106 %	108 %	94 %
	200 m	104 %	92 %	125 %	131 %	127 %	112 %
	300 m	98 %	92 %	118 %	115 %	110 %	117 %
	400 m	94 %	102 %	108 %	116 %	112 %	114 %
	im Luv	94 %	105 %	112 %	106 %	93 %	82 %
	im Lee	104 %	*83 %	110 %	*93 %	*71 %	*73 %

(* Hier wurde mangels Meßwerten nicht über den gesamten Querschnitt integriert).

Tabelle 2: Vergleich der in der Zuleitung gemessenen Tracervolumenströme mit den durch die Konzentrationsmessungen in der Rauchgasfahne bestimmten Werten.

8.4 Reproduzierbarkeit

Bei jeder Harfenposition wurden 18 Meßstellen ausgemessen. Die Meßstellen 6 und 10 (siehe Abb. 8) liegen um den halben Gitterabstand zu der Matrix der Meßharfe versetzt. Durch Versetzen der Meßharfe in y oder z-Richtung um den halben Gitterabstand, werden deshalb jeweils 2 Meßstellen doppelt ausgemessen. Dadurch kann die Reproduzierbarkeit der Messungen überprüft werden. Betrachtet werden hier nur die durch 4-maliges Versetzen der Meßharfe gewonnenen 4 Doppelmessungen der Meßstelle 10, welche im Zentrum des ausgemessenen Querschnittes liegen.

Für die Tabelle 3 wurde der Quotient aus den 4 Doppelmessungen bei passivem und aktivem Kühlturm berechnet, wobei immer der kleinere durch den größeren Stackfaktor geteilt wurde. Aus diesen Quotienten wurde dann der Mittelwert und die Standardabweichung σ errechnet, welche in Tabelle 3 dargestellt sind.

Harfen- position x = Schorn- steinpo- sition	1.000 m		2.000 m		3.000 m	
	passiv	aktiv	passiv	aktiv	passiv	aktiv
100 m querab	0,91 (0,062)	0,82 (0,1)	0,82 (0,126)	0,9 (0,077)	0,73 (0,237)	0,76 (0,136)
200 m querab	0,93 (0,057)	0,85 (0,12)	0,73 (0,19)	0,76 (0,08)	0,67 (0,13)	0,49 (0,083)
300 m querab	0,87 (0,11)	0,88 (0,07)	0,56 (0,21)	0,7 (0,25)	0,66 (0,22)	0,55 (0,18)
400 m querab	0,87 (0,12)	0,86 (0,09)	0,74 (0,14)	0,57 (0,25)	0,70 (0,18)	0,33 (0,22)
300 m im Luv	0,94 (0,03)	0,91 (0,08)	0,92 (0,06)	0,94 (0,02)	0,7 (0,12)	0,8 (0,15)
300 m im Lee	0,76 (0,09)	0,92 (0,04)	0,69 (0,09)	0,93 (0,05)	0,65 (0,25)	0,76 (0,05)

Harfen- position x =	500 m	1.000 m	2.000 m
Kühlturm- schwaden	0,92 (0,052)	0,95 (0,026)	0,93 (0,056)

Gesamter Mittelwert: 0,78

Tabelle 3: Mittelwert aus den Quotienten der Ergebnisse von je 4 Wiederholungsmessungen im Zentrum des Meßquerschnitts, wobei immer der kleinere durch den größeren Stackfaktor dividiert wurde. Darunter in Klammern ist die zugehörige Standardabweichung σ angegeben.

9. ANHANG - Modellgesetze

Die Kühlturmmission wurde so modelliert, daß

$$Fr_N = Fr_M \quad (A1.1)$$

und

$$u_{aN}/u_{\infty N} = u_{aM}/u_{\infty M} \quad (A1.2)$$

Dabei bedeutet der Index N Natur und der Index M Modell. Die densimetrische Froudezahl Fr ist definiert zu:

$$Fr = u_a / \sqrt{(1 - \rho_a / \rho_L) g \cdot R} \quad (A1.2)$$

Durch "Stolperdrähte" am Kühlturm wurde versucht zu erreichen, daß die Umströmung des Kühlturms naturähnlich war (Ausgleich für die zu kleinen Reynoldszahlen). Durch Einbauten in den Kühlturm wurde für ein homogenes Geschwindigkeitsprofil und für Turbulenz gesorgt.

Die im Modell nötige Verzerrung des Auftriebs wurde dadurch erreicht, daß aus dem Kühlturm reines Helium abgegeben wurde. Die Geschwindigkeiten im Modell wurden dann so eingestellt, daß die Bedingungen A1.1 und A1.2 erfüllt wurden. Diese sind:

$$u_{aM} = 0,12 \cdot u_{aN} = 0,5 \text{ m/s}$$

$$u_{\infty M} = 0,12 \cdot u_{\infty N} = 0,85 \text{ m/s}$$

Heliumvolumenstrom im Modell: $5,0 \text{ m}^3/\text{h}$.

10. LITERATUR

BMI-Richtlinie (1979): "Gemeinsames Ministerialblatt",
Herausgeber BMI, 15. August Nr. 21, Seite 424.

Hanna, S.R. (1982): Turbulent Diffusion: "Chimneys and Cooling Towers", Chapt. 10 in "Engineering Meteorology", (E.J. Plate, Ed.) Elsevier, Amsterdam.

Meroney, R.N. (1982): "Turbulent Diffusion near Buildings".
Kap. 11 in E.J. Plate, ed., "Engineering Meteorology", Elsevier.

Nester, K. und P. Thomas (1979): Im Kernforschungszentrum
Karlsruhe experimentell ermittelte Ausbreitungspare-
meter für Emissionshöhen bis 195 m. Staub-Rein-
haltung der Luft 39, Nr. 8, Seite 291 - 295.

Raffinerierichtlinie (1975): "Ministerialblatt des Landes
Nordrhein Westfalen", Nr. 65. Tag der Ausgabe:
Düsseldorf, 31. Mai, Seite 966 - 982.

TA-Luft (1983): GMBL, 34. Jahrgang, Nr. 6, Seite 94 - 111.

Turner, D.B. (1969): Workbook of Atmospheric Dispersion
Estimates", US Dept. of Health, Education and Wel-
fare, Cincinnati, Ohio. Publication No 999-AP-26.

Viollet, P.L. (1977): Etude de jets dans des courants tra-
versiers et dans des milieux stratifiés. These de
docteur-ingénieur, Université Paris.

11. TABELLENANHANG

BLATT NR.: 251,252,253,255 DATUM: 11.03.84

041

KFK-NESTER

KUEHLTURMSCHWADEN IM ABSTAND VON 500 M
KONZENTRATION IN EBENE/KONZENTRATION AN
DER KUEHLTURMMUENDUNG

ERGEBNISTABELLE

BEI Z= BEI Y=
(M) (M)

-150.00 -100.00 -050.00 +000.00 +050.00 +100.00 +150.00 +200.00

+500.00	.000*E-0	.300*E-3	.936*E-3	.253*E-2	.210*E-2	.860*E-3	.227*E-3	.000*E-0
+450.00	.176*E-3	.389*E-2	.146*E-1	.203*E-1	.190*E-1	.118*E-1	.189*E-2	.201*E-4
+400.00	.166*E-2	.193*E-1	.337*E-1	.000*E-0	.413*E-1	.000*E-0	.845*E-2	.000*E-0
+400.00	.000*E-0	.154*E-1	.309*E-1	.460*E-1	.000*E-0	.278*E-1	.000*E-0	.108*E-2
+350.00	.000*E-0	.202*E-1	.443*E-1	.528*E-1	.588*E-1	.428*E-1	.000*E-0	.156*E-2
+350.00	.827*E-2	.305*E-1	.512*E-1	.000*E-0	.582*E-1	.483*E-1	.182*E-1	.000*E-0
+300.00	.700*E-2	.000*E-0	.489*E-1	.000*E-0	.534*E-1	.466*E-1	.185*E-1	.000*E-0
+300.00	.000*E-0	.309*E-1	.000*E-0	.430*E-1	.505*E-1	.544*E-1	.000*E-0	.174*E-2
+250.00	.643*E-2	.231*E-1	.336*E-1	.203*E-1	.328*E-1	.320*E-1	.121*E-1	.335*E-3
+200.00	.141*E-2	.991*E-2	.155*E-1	.624*E-2	.996*E-2	.840*E-2	.910*E-3	.101*E-3
+150.00	.361*E-3	.100*E-2	.274*E-2	.125*E-2	.924*E-3	.745*E-3	.199*E-3	.793*E-4

KENNZAHL: BAND MC/SEITE 1/AUSF.1/130384/012724

BLATT NR.: 255,256,258,257 DATUM: 11.03.84

841

KFK-NESTER

KUEHLTURMSCHWADEN IM ABSTAND VON 1000 M
KONZENTRATION IN EBENE/KONZENTRATION AN
DER KUEHLTURMMUENDUNG

ERGEBNISTABELLE

BEI Z= BEI Y=
(M) (M)

-249.00 -166.00 -083.00 +000.00 +083.00 +166.00 +249.00 +332.00

+880.00	.000*E-0	.000*E-0	.368*E-3	.000*E-0	.516*E-3	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0
+717.00	.000*E-0	.000*E-0	.768*E-4	.236*E-3	.580*E-3	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0
+634.00	.115*E-3	.938*E-3	.540*E-2	.000*E-0	.848*E-2	.000*E-0	.495*E-3	.000*E-0
+634.00	.000*E-0	.552*E-3	.526*E-2	.800*E-2	.000*E-0	.176*E-2	.000*E-0	.192*E-4
+551.00	.000*E-0	.463*E-2	.151*E-1	.179*E-1	.186*E-1	.815*E-2	.000*E-0	.256*E-4
+551.00	.452*E-3	.794*E-2	.154*E-1	.000*E-0	.184*E-1	.842*E-2	.175*E-2	.000*E-0
+468.00	.125*E-2	.000*E-0	.232*E-1	.000*E-0	.270*E-1	.177*E-1	.572*E-2	.000*E-0
+468.00	.000*E-0	.124*E-1	.000*E-0	.255*E-1	.254*E-1	.163*E-1	.000*E-0	.253*E-3
+385.00	.188*E-2	.149*E-1	.222*E-1	.151*E-1	.235*E-1	.196*E-1	.226*E-2	.115*E-3
+302.00	.284*E-3	.650*E-2	.133*E-1	.522*E-2	.108*E-1	.992*E-2	.959*E-3	.768*E-4
+219.00	.140*E-3	.580*E-3	.147*E-2	.751*E-3	.793*E-3	.303*E-3	.512*E-4	.704*E-4

KENNZAHL: BAND MC/SEITE 1/AUSF.1/130384/013810

BLATT NR.: 259,260,262,261 DATUM: 11.03.84

841

KFK-NESTER

KUEHLTURMSCHWADEN IM ABSTAND VON 2000M

KONZENTRATION IN EBENE/KONZENTRATION AN

DER KUEHLTURMMUENDUNG

ERGEBNISTABELLE

BEI Z= BEI Y=
(M) (M)

-500.00 -377.50 -255.00 -132.50 -010.00 +112.50 +235.00 +357.50

***.**	.000*E-0	.000*E-0	.111*E-4	.634*E-3	.296*E-3	.305*E-3	.123*E-4	.000*E-0
+877.50	.000*E-0	.000*E-0	.978*E-3	.205*E-2	.439*E-2	.309*E-2	.811*E-3	.429*E-4
+755.00	.000*E-0	.420*E-3	.371*E-2	.000*E-0	.878*E-2	.000*E-0	.445*E-2	.000*E-0
+755.00	.000*E-0	.146*E-3	.256*E-2	.766*E-2	.000*E-0	.913*E-2	.000*E-0	.769*E-3
+632.50	.000*E-0	.280*E-3	.624*E-2	.106*E-1	.110*E-1	.112*E-1	.000*E-0	.507*E-3
+632.50	.000*E-0	.121*E-2	.689*E-2	.000*E-0	.987*E-2	.113*E-1	.737*E-2	.000*E-0
+510.00	.100*E-3	.000*E-0	.705*E-2	.000*E-0	.594*E-2	.982*E-2	.853*E-2	.000*E-0
+510.00	.000*E-0	.476*E-3	.000*E-0	.901*E-2	.510*E-2	.998*E-2	.000*E-0	.647*E-3
+387.50	.393*E-4	.137*E-3	.367*E-2	.517*E-2	.118*E-2	.469*E-2	.300*E-2	.930*E-4
+265.00	.444*E-4	.732*E-5	.207*E-3	.512*E-3	.185*E-3	.186*E-3	.926*E-4	.000*E-0
+142.50	.322*E-4	.393*E-4	.322*E-4	.465*E-4	.357*E-4	.143*E-4	.715*E-5	.000*E-0

KENNZAHL: BAND NC/SEITE 1/AUSF.1/130384/004136

BLATT NR.: 369,371,368,373 DATUM: 16.03.84

341

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=1000 M.SCHORNSTEIN (H=200 M)

100 M QUERAB VOM KUEHLTURM.KUEHLTURM

NICHT IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M²)

BEI Z= BEI Y=

(M) (M)

-200.00 -150.00 -100.00 -050.00 +000.00 +050.00 +100.00 +150.00 +200.00 +250.00

+500.00	.000*E-0	.120*E-7	.320*E-7	.000*E-0	.124*E-6	.000*E-0	.224*E-6	.000*E-0	.170*E-6	.000*E-0
+500.00	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.592*E-7	.000*E-0	.948*E-7	.000*E-0	.355*E-7
+450.00	.000*E-0	.000*E-0	.384*E-7	.641*E-7	.250*E-6	.166*E-6	.000*E-0	.115*E-6	.000*E-0	.256*E-7
+450.00	.129*E-7	.389*E-7	.779*E-7	.000*E-0	.246*E-6	.162*E-6	.233*E-6	.000*E-0	.779*E-7	.000*E-0
+400.00	.240*E-7	.000*E-0	.440*E-7	.000*E-0	.840*E-7	.346*E-6	.250*E-6	.000*E-0	.640*E-7	.000*E-0
+400.00	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.237*E-7	.389*E-6	.632*E-7	.000*E-0	.233*E-6	.000*E-0	.355*E-7
+350.00	.519*E-7	.513*E-7	.103*E-6	.269*E-6	.107*E-5	.143*E-5	.870*E-6	.474*E-6	.129*E-6	.769*E-7
+300.00	.400*E-7	.165*E-6	.624*E-6	.152*E-5	.378*E-5	.361*E-5	.378*E-5	.124*E-5	.291*E-6	.209*E-6
+250.00	.213*E-5	.384*E-6	.904*E-5	.772*E-5	.151*E-4	.183*E-4	.124*E-4	.502*E-5	.197*E-5	.141*E-6

BLATT NR.: 361,363,367,365 DATUM: 16.03.84

041

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=1000 M. SCHORNSTEIN (H=200 M)

100 M QUERAB VOM KUEHLTURM. KUEHLTURM

NICHT IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M²)

BEI Z= BEI Y=
(M) (M)

	-200.00	-150.00	-100.00	-050.00	+000.00	+050.00	+100.00	+150.00	+200.00	+250.00

+250.00	.164*E-7	.675*E-6	.414*E-5	.000*E-0	.152*E-4	.000*E-0	.933*E-5	.000*E-0	.232*E-5	.000*E-0
+250.00	.000*E-0	.286*E-5	.373*E-5	.982*E-5	.000*E-0	.149*E-4	.000*E-0	.343*E-5	.000*E-0	.230*E-6
+200.00	.000*E-0	.128*E-5	.103*E-4	.291*E-4	.271*E-4	.315*E-4	.000*E-0	.659*E-5	.000*E-0	.280*E-6
+200.00	.128*E-7	.756*E-6	.669*E-5	.000*E-0	.295*E-4	.316*E-4	.210*E-4	.000*E-0	.502*E-5	.000*E-0
+150.00	.214*E-6	.000*E-0	.538*E-5	.000*E-0	.325*E-4	.327*E-4	.231*E-4	.000*E-0	.222*E-5	.000*E-0
+150.00	.000*E-0	.102*E-5	.000*E-0	.255*E-4	.395*E-4	.295*E-4	.000*E-0	.107*E-4	.000*E-0	.243*E-6
+100.00	.641*E-7	.961*E-6	.297*E-5	.103*E-4	.241*E-4	.159*E-4	.125*E-4	.672*E-5	.718*E-6	.186*E-6
+050.00	.000*E-0	.541*E-7	.345*E-6	.148*E-5	.464*E-5	.684*E-5	.409*E-5	.132*E-5	.526*E-6	.541*E-7
+000.00	.513*E-7	.667*E-7	.898*E-7	.280*E-6	.372*E-6	.156*E-5	.551*E-6	.720*E-6	.102*E-6	.800*E-7

BLATT NR.: 370,372,376,374 DATUM: 16.03.84

8:41

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=1000 M. SCHORNSTEIN (H=200 M)

100 M QUERAB VOM KUEHLTURM. KUEHLTURM

IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M²)

BEI Z= BEI Y=
(M) (M)

	-200.00	-150.00	-100.00	-050.00	+000.00	+050.00	+100.00	+150.00	+200.00	+250.00

+500.00	.000*E-0	.116*E-7	.167*E-6	.000*E-0	.236*E-5	.000*E-0	.372*E-5	.000*E-0	.154*E-5	.000*E-0
+500.00	.000*E-0	.118*E-7	.758*E-6	.182*E-5	.000*E-0	.581*E-5	.000*E-0	.384*E-5	.000*E-0	.600*E-6
+450.00	.000*E-0	.131*E-7	.263*E-6	.159*E-5	.480*E-5	.753*E-5	.000*E-0	.779*E-5	.000*E-0	.155*E-5
+450.00	.131*E-7	.395*E-7	.408*E-6	.000*E-0	.981*E-5	.805*E-5	.783*E-5	.000*E-0	.414*E-5	.000*E-0
+400.00	.623*E-7	.000*E-0	.543*E-6	.000*E-0	.714*E-5	.104*E-4	.133*E-4	.000*E-0	.428*E-5	.000*E-0
+400.00	.000*E-0	.126*E-6	.000*E-0	.332*E-5	.599*E-5	.129*E-4	.000*E-0	.104*E-4	.000*E-0	.186*E-5
+350.00	.790*E-7	.105*E-6	.316*E-6	.139*E-5	.757*E-5	.125*E-4	.133*E-4	.112*E-4	.625*E-5	.238*E-5
+300.00	.857*E-7	.106*E-6	.183*E-6	.135*E-5	.571*E-5	.118*E-4	.197*E-4	.129*E-4	.610*E-5	.257*E-5
+250.00	.197*E-6	.118*E-6	.447*E-6	.135*E-5	.480*E-5	.149*E-4	.192*E-4	.164*E-4	.796*E-5	.210*E-5

BLATT NR.: 362,364,368,366 DATUM: 16.03.84

841

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=1000 M. SCHORNSTEIN (H=200 M)

100 M QUERAB VOM KUEHLTURM. KUEHLTURM

IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M¹²)

BEI Z= BEI Y=

(M) (M)

	-200.00	-150.00	-100.00	-050.00	+000.00	+050.00	+100.00	+150.00	+200.00	+250.00
+250.00	.154*E-7	.771*E-7	.277*E-6	.000*E-0	.489*E-5	.000*E-0	.207*E-4	.000*E-0	.551*E-5	.000*E-0
+250.00	.000*E-0	.548*E-7	.123*E-6	.754*E-6	.000*E-0	.155*E-4	.000*E-0	.122*E-4	.000*E-0	.782*E-6
+200.00	.000*E-0	.256*E-7	.692*E-6	.431*E-5	.126*E-4	.218*E-4	.000*E-0	.141*E-4	.000*E-0	.718*E-6
+200.00	.256*E-7	.115*E-5	.296*E-5	.000*E-0	.108*E-4	.200*E-4	.180*E-4	.000*E-0	.851*E-5	.000*E-0
+150.00	.108*E-6	.000*E-0	.109*E-5	.000*E-0	.207*E-4	.191*E-4	.235*E-4	.000*E-0	.245*E-5	.000*E-0
+150.00	.000*E-0	.192*E-6	.000*E-0	.540*E-5	.133*E-4	.221*E-4	.000*E-0	.471*E-5	.000*E-0	.397*E-6
+100.00	.102*E-6	.141*E-6	.397*E-6	.508*E-5	.620*E-5	.130*E-4	.109*E-4	.333*E-5	.692*E-6	.141*E-6
+050.00	.308*E-7	.274*E-7	.617*E-7	.535*E-6	.203*E-5	.403*E-5	.222*E-5	.144*E-5	.200*E-6	.123*E-6
+000.00	.641*E-7	.256*E-7	.384*E-7	.641*E-7	.307*E-6	.346*E-6	.436*E-6	.141*E-6	.898*E-7	.128*E-7

+250.00	.154*E-7	.771*E-7	.277*E-6	.000*E-0	.489*E-5	.000*E-0	.207*E-4	.000*E-0	.551*E-5	.000*E-0
+250.00	.000*E-0	.548*E-7	.123*E-6	.754*E-6	.000*E-0	.155*E-4	.000*E-0	.122*E-4	.000*E-0	.782*E-6
+200.00	.000*E-0	.256*E-7	.692*E-6	.431*E-5	.126*E-4	.218*E-4	.000*E-0	.141*E-4	.000*E-0	.718*E-6
+200.00	.256*E-7	.115*E-5	.296*E-5	.000*E-0	.108*E-4	.200*E-4	.180*E-4	.000*E-0	.851*E-5	.000*E-0
+150.00	.108*E-6	.000*E-0	.109*E-5	.000*E-0	.207*E-4	.191*E-4	.235*E-4	.000*E-0	.245*E-5	.000*E-0
+150.00	.000*E-0	.192*E-6	.000*E-0	.540*E-5	.133*E-4	.221*E-4	.000*E-0	.471*E-5	.000*E-0	.397*E-6
+100.00	.102*E-6	.141*E-6	.397*E-6	.508*E-5	.620*E-5	.130*E-4	.109*E-4	.333*E-5	.692*E-6	.141*E-6
+050.00	.308*E-7	.274*E-7	.617*E-7	.535*E-6	.203*E-5	.403*E-5	.222*E-5	.144*E-5	.200*E-6	.123*E-6
+000.00	.641*E-7	.256*E-7	.384*E-7	.641*E-7	.307*E-6	.346*E-6	.436*E-6	.141*E-6	.898*E-7	.128*E-7

BLATT NR. : 286,288,292,298 DATUM: 13.03.84

841

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=2000 M.SCHORNSTEIN
100 M QUER AB VOM KUEHLTURM.KUEHLTURM
NICHT IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M²)

BEI Z= BEI Y=
(M) (M)

	-332.00	-249.00	-166.00	-083.00	+000.00	+083.00	+166.00	+249.00	+332.00	+415.00
*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
+830.00	.000*E-0	.874*E-8	.874*E-8	.000*E-0	.104*E-6	.000*E-0	.874*E-7	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0
+830.00	.000*E-0	.342*E-7	.428*E-7	.428*E-7	.000*E-0	.659*E-7	.000*E-0	.608*E-7	.000*E-0	.402*E-7
+747.00	.000*E-0	.236*E-7	.341*E-7	.629*E-7	.201*E-6	.603*E-7	.000*E-0	.393*E-7	.000*E-0	.314*E-7
+747.00	.000*E-0	.874*E-8	.349*E-7	.000*E-0	.760*E-7	.102*E-6	.445*E-7	.000*E-0	.262*E-8	.000*E-0
+664.00	.174*E-7	.000*E-0	.262*E-7	.000*E-0	.113*E-6	.104*E-6	.113*E-6	.000*E-0	.174*E-7	.000*E-0
+664.00	.000*E-0	.299*E-7	.000*E-0	.505*E-7	.166*E-6	.111*E-6	.000*E-0	.154*E-6	.000*E-0	.556*E-7
+581.00	.786*E-8	.393*E-7	.104*E-6	.102*E-6	.133*E-6	.123*E-6	.110*E-6	.101*E-6	.786*E-8	.393*E-7
+498.00	.174*E-7	.274*E-7	.262*E-7	.530*E-7	.699*E-7	.582*E-7	.262*E-7	.111*E-6	.174*E-7	.453*E-7
+415.00	.786*E-8	.367*E-7	.157*E-6	.250*E-6	.375*E-6	.223*E-6	.271*E-6	.110*E-6	.181*E-7	.393*E-7

BLATT NR. : 278,280,284,282 DATUM: 13.03.84

841

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=2000 M.SCHORNSTEIN
100 M QUER AB VOM KUEHLTURM.KUEHLTURM
NICHT IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M^2)

BEI Z= BEI Y=
(M) (M)

-332.00 -249.00 -166.00 -083.00 +000.00 +083.00 +166.00 +249.00 +332.00 +415.00

+415.00	.000*E-0	.623*E-7	.186*E-6	.000*E-0	.311*E-6	.000*E-0	.519*E-7	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0
+415.00	.000*E-0	.169*E-6	.169*E-6	.387*E-6	.000*E-0	.670*E-6	.000*E-0	.377*E-6	.000*E-0	.000*E-0
+332.00	.000*E-0	.714*E-7	.102*E-5	.215*E-5	.747*E-6	.209*E-5	.000*E-0	.178*E-6	.000*E-0	.000*E-0
+332.00	.000*E-0	.116*E-6	.151*E-5	.000*E-0	.408*E-5	.291*E-5	.238*E-5	.000*E-0	.625*E-7	.000*E-0
+249.00	.145*E-6	.000*E-0	.343*E-5	.000*E-0	.129*E-4	.805*E-5	.426*E-5	.000*E-0	.280*E-6	.000*E-0
+249.00	.000*E-0	.131*E-5	.000*E-0	.839*E-5	.953*E-5	.801*E-5	.000*E-0	.111*E-5	.000*E-0	.283*E-7
+166.00	.982*E-7	.153*E-5	.551*E-5	.146*E-4	.132*E-4	.141*E-4	.577*E-5	.153*E-5	.794*E-6	.535*E-7
+083.00	.166*E-6	.179*E-5	.572*E-5	.129*E-4	.142*E-4	.106*E-4	.530*E-5	.207*E-5	.269*E-6	.566*E-7
+000.00	.133*E-6	.839*E-6	.274*E-5	.635*E-5	.694*E-5	.832*E-5	.301*E-5	.171*E-5	.803*E-7	.535*E-7

BLATT NR.: 287,289,293,291 DATUM: 13.03.84

841

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=2000 M.SCHORNSTEIN
100 M QUER AB VOM KUEHLTURM.KUEHLTURM
IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M^2)

BEI Z= BEI Y=
(M) (M)

-332.00 -249.00 -166.00 -083.00 +000.00 +083.00 +166.00 +249.00 +332.00 +415.00

+830.00	.000*E-0	.256*E-7	.171*E-6	.000*E-0	.114*E-5	.000*E-0	.122*E-5	.000*E-0	.274*E-6	.000*E-0
+830.00	.000*E-0	.570*E-7	.187*E-6	.610*E-6	.000*E-0	.830*E-6	.000*E-0	.244*E-6	.000*E-0	.488*E-7
+747.00	.000*E-0	.927*E-7	.340*E-6	.102*E-5	.260*E-5	.247*E-5	.000*E-0	.133*E-5	.000*E-0	.163*E-6
+747.00	.000*E-0	.203*E-7	.486*E-6	.000*E-0	.227*E-5	.183*E-5	.184*E-5	.000*E-0	.300*E-6	.000*E-0
+664.00	.342*E-7	.000*E-0	.967*E-6	.000*E-0	.457*E-5	.482*E-5	.405*E-5	.000*E-0	.736*E-6	.000*E-0
+664.00	.000*E-0	.268*E-6	.000*E-0	.221*E-5	.412*E-5	.384*E-5	.000*E-0	.161*E-5	.000*E-0	.187*E-6
+581.00	.256*E-7	.163*E-6	.919*E-6	.332*E-5	.633*E-5	.597*E-5	.395*E-5	.270*E-5	.539*E-6	.154*E-6
+498.00	.342*E-7	.122*E-6	.114*E-5	.449*E-5	.594*E-5	.620*E-5	.491*E-5	.286*E-5	.488*E-6	.252*E-6
+415.00	.256*E-7	.715*E-7	.344*E-6	.197*E-5	.421*E-5	.668*E-5	.386*E-5	.178*E-5	.273*E-6	.742*E-7

BLATT NR.: 279,281,285,293 DATUM: 13.03.84

S:41

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=2000 M.SCHORNSTEIN
100 M QUER AB VOM KUEHLTURM.KUEHLTURM
IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M^2)

BEI Z= BEI Y=
(M) (M)

-332.00 -249.00 -166.00 -083.00 +000.00 +083.00 +166.00 +249.00 +332.00 +415.00

+415.00	.000#E-0	.286#E-7	.372#E-6	.000#E-0	.334#E-6	.000#E-0	.288#E-5	.000#E-0	.000#E-0	.000#E-0
+415.00	.000#E-0	.902#E-7	.487#E-6	.232#E-5	.000#E-0	.514#E-5	.000#E-0	.884#E-6	.000#E-0	.722#E-7
+332.00	.000#E-0	.353#E-7	.795#E-7	.106#E-5	.498#E-5	.600#E-5	.000#E-0	.751#E-6	.000#E-0	.353#E-7
+332.00	.000#E-0	.893#E-8	.125#E-6	.000#E-0	.394#E-5	.604#E-5	.332#E-5	.000#E-0	.107#E-6	.000#E-0
+249.00	.477#E-7	.000#E-0	.257#E-6	.000#E-0	.527#E-5	.714#E-5	.507#E-5	.000#E-0	.143#E-6	.000#E-0
+249.00	.000#E-0	.117#E-6	.000#E-0	.156#E-5	.609#E-5	.677#E-5	.000#E-0	.003#E-6	.000#E-0	.361#E-7
+166.00	.446#E-7	.141#E-6	.455#E-6	.290#E-5	.546#E-5	.582#E-5	.278#E-5	.910#E-6	.196#E-6	.441#E-7
+083.00	.381#E-7	.135#E-6	.410#E-6	.213#E-5	.326#E-5	.460#E-5	.198#E-5	.415#E-6	.572#E-7	.361#E-7
+000.00	.000#E-0	.972#E-7	.303#E-6	.125#E-5	.216#E-5	.162#E-5	.544#E-6	.150#E-6	.625#E-7	.265#E-7

BLATT NR.: 270,272,276,274 DATUM: 12.03.84

841

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=3000 M.SCHORNSTEIN
100 M QUER AB VOM KUEHLTURM.KUEHLTURM
NICHT IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M²)

BEI Z= BEI Y=
(M) (M)

 -267.50 -145.00 -022.50 +100.00 +222.50 +345.00 +467.50 +590.00

+858.00	.000*E-0	.299*E-8	.000*E-0	.539*E-7	.000*E-0	.389*E-7	.000*E-0	.000*E-0
+735.50	.839*E-7	.419*E-7	.779*E-7	.899*E-7	.899*E-8	.149*E-7	.000*E-0	.000*E-0
+613.00	.299*E-8	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0
+613.00	.000*E-0	.899*E-8	.104*E-6	.143*E-6	.000*E-0	.122*E-6	.000*E-0	.000*E-0
+490.50	.000*E-0	.233*E-6	.233*E-6	.213*E-6	.299*E-7	.239*E-7	.000*E-0	.000*E-0
+490.50	.569*E-7	.125*E-6	.354*E-6	.000*E-0	.209*E-7	.269*E-7	.000*E-0	.000*E-0
+368.00	.228*E-6	.000*E-0	.204*E-5	.000*E-0	.468*E-6	.629*E-7	.299*E-8	.000*E-0
+368.00	.000*E-0	.153*E-5	.000*E-0	.165*E-5	.454*E-6	.178*E-6	.000*E-0	.899*E-6
+245.50	.166*E-5	.650*E-5	.899*E-5	.600*E-5	.283*E-5	.243*E-6	.689*E-7	.149*E-7
+123.00	.372*E-5	.895*E-5	.142*E-4	.106*E-4	.462*E-5	.878*E-6	.689*E-7	.299*E-7
+000.50	.379*E-5	.121*E-4	.136*E-4	.103*E-4	.469*E-5	.303*E-6	.104*E-6	.269*E-7

KENNZAHL: BAND MC/SEITE 1/AUSF.1/280384/071348

BLATT NR.: 271,273,277,275 DATUM: 12.03.84

841

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=3000 M.SCHORNSTEIN
100 M QUER AB VOM KUEHLTURM.KUEHLTURM
IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M²)

BEI Z= BEI Y=

(M)

(M)

-267.50 -145.00 -022.50 +100.00 +222.50 +345.00 +467.50 +590.00

+858.00	.624*E-6	.163*E-5	.232*E-5	.268*E-5	.170*E-5	.584*E-6	.264*E-6	.000*E-0
+735.50	.117*E-5	.319*E-5	.364*E-5	.349*E-5	.305*E-5	.851*E-6	.185*E-6	.599*E-8
+613.00	.884*E-6	.343*E-5	.443*E-5	.000*E-0	.247*E-5	.000*E-0	.144*E-6	.000*E-0
+613.00	.000*E-0	.323*E-5	.423*E-5	.313*E-5	.000*E-0	.334*E-6	.000*E-0	.000*E-0
+490.50	.000*E-0	.121*E-5	.238*E-5	.277*E-5	.157*E-5	.241*E-6	.000*E-0	.119*E-7
+490.50	.945*E-7	.119*E-5	.244*E-5	.000*E-0	.119*E-5	.134*E-6	.886*E-8	.000*E-0
+368.00	.164*E-6	.000*E-0	.202*E-5	.000*E-0	.112*E-5	.116*E-6	.479*E-7	.000*E-0
+368.00	.000*E-0	.444*E-6	.000*E-0	.303*E-5	.119*E-5	.899*E-7	.000*E-0	.299*E-8
+245.50	.106*E-6	.921*E-6	.315*E-5	.329*E-5	.103*E-5	.137*E-6	.295*E-7	.449*E-7
+123.00	.194*E-6	.100*E-5	.271*E-5	.178*E-5	.914*E-6	.104*E-6	.479*E-7	.899*E-8
+000.50	.244*E-6	.142*E-5	.232*E-5	.148*E-5	.332*E-6	.809*E-7	.265*E-7	.329*E-7

KENNZAHL: BAND MC/SEITE 1/AUSF.1/220384/005800

BLATT NR.: 35,37,41,39 DATUM: 17.01.84

S 4 1

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=1000 M. SCHORNSTEIN

200 M QUER AB VOM KUEHLTURM. KUEHLTURM

NICHT IN BETRIEB.

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M²)

BEI Z= BEI Y=
(M) (M)

-200.00 -150.00 -100.00 -050.00 +000.00 +050.00 +100.00 +150.00

+350.00	.159*E-6	.148*E-6	.530*E-6	.684*E-6	.196*E-5	.118*E-5	.795*E-6	.925*E-7
+300.00	.109*E-6	.610*E-6	.224*E-5	.233*E-5	.524*E-5	.618*E-5	.105*E-4	.444*E-6
+250.00	.116*E-5	.366*E-5	.108*E-4	.000*E-0	.214*E-4	.000*E-0	.138*E-4	.000*E-0
+250.00	.000*E-0	.124*E-5	.143*E-4	.247*E-4	.000*E-0	.247*E-4	.000*E-0	.473*E-5
+200.00	.000*E-0	.161*E-5	.137*E-4	.298*E-4	.411*E-4	.304*E-4	.000*E-0	.692*E-5
+200.00	.546*E-7	.616*E-5	.150*E-4	.000*E-0	.391*E-4	.363*E-4	.227*E-4	.000*E-0
+150.00	.477*E-6	.000*E-0	.145*E-4	.000*E-0	.358*E-4	.337*E-4	.161*E-4	.000*E-0
+150.00	.000*E-0	.362*E-5	.000*E-0	.347*E-4	.375*E-4	.341*E-4	.000*E-0	.936*E-5
+100.00	.328*E-6	.133*E-5	.524*E-5	.171*E-4	.183*E-4	.193*E-4	.907*E-5	.377*E-5
+050.00	.212*E-6	.185*E-7	.689*E-6	.346*E-5	.259*E-5	.135*E-5	.259*E-5	.407*E-6
+000.00	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0

KENNZAHL: BAND MC/SEITE 1/AUSF.1/18.01.84034040

BLATT NR.: 36,38,42,40 DATUM: 17.01.84

341

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=1000 M. SCHORNSTEIN
200 M QUER AB VOM KUEHLTURM. KUEHLTURM
IN BETRIEB.

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M²)

BEI Z= BEI Y=
(M) (M)

-200.00 -150.00 -100.00 -050.00 +000.00 +050.00 +100.00 +150.00

+350.00	.176*E-6	.000*E-0	.212*E-6	.555*E-7	.477*E-6	.000*E-0	.424*E-6	.999*E-6
+300.00	.000*E-0	.111*E-6	.530*E-7	.333*E-6	.583*E-6	.944*E-6	.150*E-5	.161*E-5
+250.00	.265*E-6	.530*E-6	.604*E-5	.000*E-0	.870*E-5	.000*E-0	.852*E-5	.000*E-0
+250.00	.000*E-0	.166*E-6	.261*E-5	.103*E-4	.000*E-0	.150*E-4	.000*E-0	.909*E-5
+200.00	.000*E-0	.610*E-6	.884*E-5	.203*E-4	.389*E-4	.253*E-4	.000*E-0	.129*E-4
+200.00	.159*E-6	.201*E-5	.450*E-5	.000*E-0	.273*E-4	.331*E-4	.278*E-4	.000*E-0
+150.00	.477*E-6	.000*E-0	.145*E-4	.000*E-0	.410*E-4	.425*E-4	.325*E-4	.000*E-0
+150.00	.000*E-0	.838*E-6	.000*E-0	.253*E-4	.389*E-4	.420*E-4	.000*E-0	.181*E-4
+100.00	.000*E-0	.610*E-6	.274*E-5	.197*E-4	.252*E-4	.303*E-4	.230*E-4	.940*E-5
+050.00	.424*E-6	.000*E-0	.636*E-6	.166*E-5	.410*E-5	.483*E-5	.463*E-5	.172*E-5
+000.00	.212*E-6	.000*E-0	.530*E-7	.000*E-0	.371*E-6	.222*E-6	.636*E-6	.000*E-0

KENNZAHL: BRAND MC/SEITE 1/AUSF.1/200284/012140

BLATT NR.: 43,45,49,47 DATUM: 17.01.84

341

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=2000 M.SCHORNSTEIN
200 M QUER AB VOM KUEHLTURM.KUEHLTURM
NICHT IN BETRIEB.

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M²)

BEI Z= BEI Y=
(M) (M)

-300.00 -217.00 -134.00 -051.00 +032.00 +115.00 +198.00 +281.00

+581.00	.408*E-7	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0
+498.00	.116*E-6	.000*E-0	.116*E-6	.401*E-7	.155*E-6	.602*E-7	.000*E-0	.200*E-7
+415.00	.000*E-0	.000*E-0	.408*E-7	.000*E-0	.510*E-6	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0
+415.00	.000*E-0	.120*E-6	.783*E-6	.293*E-5	.000*E-0	.381*E-6	.000*E-0	.200*E-6
+332.00	.000*E-0	.120*E-6	.339*E-5	.315*E-5	.817*E-5	.321*E-5	.000*E-0	.421*E-6
+332.00	.000*E-0	.718*E-6	.118*E-5	.000*E-0	.427*E-5	.566*E-5	.165*E-5	.000*E-0
+249.00	.204*E-6	.000*E-0	.571*E-5	.000*E-0	.147*E-4	.121*E-4	.612*E-5	.000*E-0
+249.00	.000*E-0	.184*E-5	.000*E-0	.147*E-4	.166*E-4	.126*E-4	.000*E-0	.196*E-5
+166.00	.174*E-6	.224*E-5	.133*E-4	.205*E-4	.254*E-4	.205*E-4	.852*E-5	.152*E-5
+083.00	.817*E-7	.110*E-5	.469*E-5	.124*E-4	.136*E-4	.118*E-4	.694*E-5	.281*E-5
+000.00	.135*E-6	.401*E-6	.240*E-5	.610*E-5	.755*E-5	.791*E-5	.304*E-5	.230*E-5

KENNZAHL: BAND MC/SEITE 1/AUSF.1/080284/065458

BLATT NR.: 44,46,50,48 DATUM: 18.01.84

841

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=2000 M. SCHORNSTEIN
200 M QUER AB VOM KUEHLTURM. KUEHLTURM
IN BETRIEB.

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M^2)

BEI Z= BEI Y=
(M) (M)

-300.00 -217.00 -134.00 -051.00 +032.00 +115.00 +198.00 +281.00

+581.00	.408*E-7	.612*E-7	.204*E-7	.408*E-7	.183*E-6	.100*E-5	.104*E-5	.776*E-6
+498.00	.191*E-7	.000*E-0	.382*E-7	.000*E-0	.515*E-6	.165*E-5	.384*E-5	.195*E-5
+415.00	.408*E-7	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.469*E-6	.000*E-0	.465*E-5	.000*E-0
+415.00	.000*E-0	.408*E-7	.102*E-6	.265*E-6	.000*E-0	.312*E-5	.000*E-0	.410*E-5
+332.00	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.473*E-6	.165*E-5	.560*E-5	.000*E-0	.580*E-5
+332.00	.573*E-7	.955*E-7	.764*E-6	.000*E-0	.114*E-5	.659*E-5	.965*E-5	.000*E-0
+249.00	.408*E-7	.000*E-0	.134*E-5	.000*E-0	.698*E-5	.146*E-4	.143*E-4	.000*E-0
+249.00	.000*E-0	.367*E-6	.000*E-0	.537*E-5	.104*E-4	.178*E-4	.000*E-0	.520*E-5
+166.00	.000*E-0	.177*E-6	.257*E-5	.995*E-5	.220*E-4	.247*E-4	.174*E-4	.876*E-5
+083.00	.000*E-0	.490*E-6	.428*E-5	.945*E-5	.180*E-4	.170*E-4	.100*E-4	.539*E-5
+000.00	.000*E-0	.000*E-0	.573*E-6	.355*E-5	.907*E-5	.111*E-4	.812*E-5	.254*E-5

KENNZAHL: BAND MC/SEITE 1/AUSF.1/000284/070920

BLATT NR.: 58,60,64,62 DATUM: 19.01.84

341

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=3000 M. SCHORNSTEIN

200 M QUER AB VOM KUHLTURM. KUEHLTURM

NICHT IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M²)

BEI Z= BEI Y=
(M) (M)

-500.00 -377.50 -255.00 -132.50 -010.00 +112.50 +235.00 +357.50

+858.00	.275*E-7	.252*E-6	.000*E-0	.215*E-6	.551*E-7	.107*E-6	.000*E-0	.861*E-7
+735.50	.000*E-0	.101*E-6	.000*E-0	.507*E-6	.000*E-0	.761*E-6	.000*E-0	.162*E-5
+613.00	.000*E-0	.000*E-0	.551*E-7	.000*E-0	.137*E-6	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0
+613.00	.000*E-0	.280*E-6	.430*E-6	.366*E-6	.000*E-0	.344*E-6	.000*E-0	.280*E-6
+490.50	.000*E-0	.126*E-5	.101*E-6	.507*E-6	.000*E-0	.169*E-6	.000*E-0	.338*E-6
+490.50	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.323*E-6	.000*E-0	.000*E-0
+368.00	.000*E-0	.000*E-0	.523*E-6	.000*E-0	.259*E-5	.314*E-5	.826*E-6	.000*E-0
+368.00	.000*E-0	.323*E-6	.000*E-0	.140*E-5	.394*E-5	.262*E-5	.000*E-0	.591*E-6
+245.50	.000*E-0	.338*E-6	.000*E-0	.677*E-7	.124*E-4	.863*E-5	.669*E-5	.132*E-5
+123.00	.551*E-7	.430*E-6	.129*E-5	.667*E-5	.134*E-4	.137*E-4	.763*E-5	.275*E-5
+000.50	.000*E-0	.104*E-5	.825*E-6	.897*E-5	.992*E-5	.101*E-4	.543*E-5	.426*E-5

KEHNZAHL: BAND MC/SEITE 1/AUSF.1/290284/040037

BLATT NR.: 59,61,65,63 DATUM: 19.01.84

341

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=3000 M. SCHORNSTEIN
200 M QUER AB VOM KUHLTURM. KUEHLTURM
IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M²)

BEI Z= BEI Y=
(M) (M)

-500.00 -377.50 -255.00 -132.50 -010.00 +112.50 +235.00 +357.50

+658.00	.227*E-6	.911*E-7	.364*E-6	.911*E-7	.387*E-6	.546*E-6	.478*E-6	.364*E-6
+735.50	.164*E-6	.174*E-7	.164*E-6	.000*E-0	.601*E-6	.000*E-0	.153*E-5	.000*E-0
+613.00	.364*E-6	.410*E-6	.364*E-6	.000*E-0	.979*E-6	.000*E-0	.209*E-5	.000*E-0
+613.00	.000*E-0	.000*E-0	.911*E-7	.182*E-6	.000*E-0	.280*E-5	.000*E-0	.116*E-5
+490.50	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.125*E-5	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0
+490.50	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.492*E-6	.382*E-5	.492*E-6	.000*E-0
+368.00	.524*E-6	.000*E-0	.592*E-6	.000*E-0	.116*E-5	.264*E-5	.606*E-5	.000*E-0
+368.00	.000*E-0	.364*E-6	.000*E-0	.000*E-0	.546*E-6	.444*E-5	.000*E-0	.136*E-5
+245.50	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.406*E-5	.703*E-5	.119*E-4	.238*E-5
+123.00	.592*E-6	.000*E-0	.706*E-6	.102*E-5	.628*E-5	.103*E-4	.925*E-5	.246*E-5
+000.50	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.191*E-6	.406*E-5	.168*E-5	.102*E-4	.128*E-5

KENNZAHL: BAND MC/SEITE 1/AUSF.1/290284/040985

BLATT NR.: 166,160,164,162 DATUM: 25.01.84

S 4 1

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=1000 M. SCHORNSTEIN
300 M QUER AB VOM KUEHLTURM. KUEHLTURM
NICHT IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M²)

BEI Z= BEI Y=
(M) (M)

-150.00 -100.00 -050.00 +000.00 +050.00 +100.00 +150.00 +200.00

+350.00	.866*E-7	.973*E-7	.173*E-6	.584*E-6	.260*E-6	.194*E-6	.866*E-7	.000*E-0
+300.00	.173*E-6	.736*E-6	.203*E-5	.476*E-5	.494*E-5	.130*E-5	.173*E-6	.866*E-7
+250.00	.736*E-6	.133*E-4	.133*E-4	.000*E-0	.128*E-4	.000*E-0	.177*E-5	.000*E-0
+250.00	.000*E-0	.793*E-5	.244*E-4	.205*E-4	.000*E-0	.516*E-5	.000*E-0	.292*E-6
+200.00	.000*E-0	.208*E-5	.437*E-4	.450*E-4	.332*E-4	.121*E-4	.000*E-0	.650*E-6
+200.00	.468*E-5	.140*E-4	.335*E-4	.000*E-0	.344*E-4	.120*E-4	.351*E-5	.000*E-0
+150.00	.463*E-5	.000*E-0	.475*E-4	.000*E-0	.449*E-4	.104*E-4	.359*E-5	.000*E-0
+150.00	.000*E-0	.205*E-4	.000*E-0	.492*E-4	.370*E-4	.147*E-4	.000*E-0	.389*E-6
+100.00	.156*E-5	.606*E-5	.184*E-4	.234*E-4	.110*E-4	.606*E-5	.910*E-6	.173*E-6
+050.00	.736*E-6	.438*E-6	.372*E-5	.111*E-5	.268*E-5	.292*E-6	.520*E-6	.486*E-7
+000.00	.000*E-0	.866*E-7	.000*E-0	.216*E-6	.000*E-0	.130*E-6	.000*E-0	.000*E-0

KENNZAHL: BAND NO/SEITE 1/AUSF.1/270184/003004

BLATT NR.: 159,161,165,163 DATUM: 25.01.84

841

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=1000 M. SCHORNSTEIN
300 M QUER AB VOM KUEHLTURM. KUEHLTURM
IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M¹²)

BEI Z= BEI Y=
(M) (M)

-150.00 -100.00 -050.00 +000.00 +050.00 +100.00 +150.00 +200.00

+350.00	.000*E-0	.461*E-7	.538*E-7	.138*E-6	.538*E-7	.461*E-7	.000*E-0	.000*E-0
+300.00	.433*E-7	.606*E-6	.823*E-6	.143*E-5	.910*E-6	.650*E-6	.000*E-0	.433*E-7
+250.00	.323*E-6	.387*E-5	.786*E-5	.000*E-0	.543*E-5	.000*E-0	.113*E-5	.000*E-0
+250.00	.000*E-0	.327*E-5	.114*E-4	.946*E-5	.000*E-0	.433*E-5	.000*E-0	.461*E-6
+200.00	.000*E-0	.117*E-4	.290*E-4	.489*E-4	.288*E-4	.177*E-4	.000*E-0	.125*E-5
+200.00	.156*E-5	.192*E-4	.305*E-4	.000*E-0	.301*E-4	.167*E-4	.390*E-5	.000*E-0
+150.00	.236*E-5	.000*E-0	.294*E-4	.000*E-0	.385*E-4	.203*E-4	.560*E-5	.000*E-0
+150.00	.000*E-0	.153*E-4	.000*E-0	.577*E-4	.487*E-4	.245*E-4	.000*E-0	.106*E-5
+100.00	.910*E-6	.710*E-5	.175*E-4	.264*E-4	.275*E-4	.120*E-4	.260*E-5	.693*E-6
+050.00	.538*E-7	.738*E-6	.134*E-5	.309*E-5	.172*E-5	.221*E-5	.538*E-7	.923*E-7
+000.00	.000*E-0	.216*E-6	.000*E-0	.303*E-6	.563*E-6	.173*E-6	.000*E-0	.130*E-5

KENNZAHL: BAND MC/SEITE 1/AUSF.1/270184/004923

BLATT NR.: 123,125,129,127 DATUM: 24.01.84

841

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=2000 M. SCHORNSTEIN

300 M QUER AB VOM KUEHLTURM. KUEHLTURM

NICHT IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M²)

BEI Z= BEI Y=
(M) (M)

-217.00 -134.00 -051.00 +032.00 +115.00 +198.00 +281.00 +364.00

+581.00	.159*E-6	.000*E-0	.141*E-6	.000*E-0	.159*E-6	.507*E-7	.707*E-7	.101*E-6
+498.00	.101*E-6	.118*E-6	.203*E-6	.118*E-6	.203*E-6	.169*E-7	.304*E-6	.000*E-0
+415.00	.530*E-7	.194*E-6	.512*E-6	.000*E-0	.176*E-6	.000*E-0	.707*E-7	.000*E-0
+415.00	.000*E-0	.981*E-6	.236*E-6	.423*E-6	.000*E-0	.507*E-7	.000*E-0	.507*E-7
+332.00	.000*E-0	.304*E-5	.406*E-5	.269*E-5	.355*E-5	.507*E-6	.000*E-0	.507*E-7
+332.00	.457*E-6	.106*E-5	.526*E-5	.000*E-0	.407*E-5	.133*E-5	.507*E-6	.000*E-0
+249.00	.192*E-5	.000*E-0	.159*E-4	.000*E-0	.390*E-5	.389*E-5	.442*E-6	.000*E-0
+249.00	.000*E-0	.820*E-5	.000*E-0	.161*E-4	.111*E-4	.600*E-5	.000*E-0	.135*E-6
+166.00	.458*E-5	.126*E-4	.221*E-4	.213*E-4	.150*E-4	.626*E-5	.172*E-5	.000*E-0
+083.00	.357*E-5	.922*E-5	.164*E-4	.139*E-4	.108*E-4	.431*E-5	.160*E-5	.000*E-0
+000.00	.167*E-5	.507*E-5	.898*E-5	.778*E-5	.475*E-5	.142*E-5	.457*E-6	.000*E-0

KENNZAHL: BAND MC/SEITE 1/AUSF.1/090284/001416

BLATT NR.: 124,126,130,128 DATUM: 24.01.84

841

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=2000 M.SCHORNSTEIN
300 M QUER AB VOM KUEHLTURM.KUEHLTURM
IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M²)

BEI Z= BEI Y=
(M) (M)

-217.00 -134.00 -051.00 +032.00 +115.00 +198.00 +281.00 +364.00

+581.00	.707*E-7	.115*E-6	.106*E-6	.166*E-6	.159*E-6	.116*E-6	.159*E-6	.116*E-6
+498.00	.169*E-7	.846*E-7	.000*E-0	.338*E-7	.507*E-7	.101*E-6	.169*E-6	.169*E-7
+415.00	.884*E-7	.884*E-7	.106*E-6	.000*E-0	.530*E-7	.000*E-0	.831*E-6	.000*E-0
+415.00	.000*E-0	.150*E-6	.534*E-6	.116*E-6	.000*E-0	.417*E-6	.000*E-0	.400*E-6
+332.00	.000*E-0	.321*E-6	.761*E-6	.812*E-6	.152*E-5	.142*E-5	.000*E-0	.761*E-6
+332.00	.000*E-0	.236*E-6	.103*E-5	.000*E-0	.108*E-5	.512*E-5	.194*E-5	.000*E-0
+249.00	.565*E-6	.000*E-0	.806*E-5	.000*E-0	.105*E-4	.717*E-5	.380*E-5	.000*E-0
+249.00	.000*E-0	.318*E-5	.000*E-0	.107*E-4	.113*E-4	.829*E-5	.000*E-0	.584*E-6
+166.00	.199*E-5	.768*E-5	.156*E-4	.207*E-4	.201*E-4	.119*E-4	.426*E-5	.761*E-6
+083.00	.173*E-5	.679*E-5	.153*E-4	.193*E-4	.174*E-4	.996*E-5	.295*E-5	.216*E-6
+000.00	.118*E-5	.328*E-5	.934*E-5	.102*E-4	.132*E-4	.497*E-5	.225*E-5	.294*E-5

KENNZAHL: BAND MC/SEITE 1/AUSF.1/098284/002404

BLATT NR.: 66,68,72,70 DATUM: 19.01.84

841

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=3000 M. SCHORNSTEIN
300 M QUER AB VOM KUEHLTURM. KUEHLTURM
NICHT IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M¹²)

BEI Z= BEI Y=
(M) (M)

-490.00 -367.50 -245.00 -122.50 +000.00 +122.50 +245.00 +367.50

+858.00	.101*E-6	.200*E-6	.507*E-7	.100*E-6	.507*E-7	.500*E-7	.507*E-7	.000*E-0
+735.50	.973*E-7	.000*E-0	.973*E-7	.649*E-7	.973*E-7	.324*E-7	.973*E-7	.000*E-0
+613.00	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.846*E-7	.000*E-0
+613.00	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0
+490.50	.000*E-0	.649*E-7	.649*E-7	.178*E-6	.135*E-6	.129*E-6	.000*E-0	.649*E-7
+490.50	.000*E-0	.000*E-0	.486*E-7	.000*E-0	.194*E-6	.350*E-6	.146*E-6	.000*E-0
+368.00	.000*E-0	.000*E-0	.507*E-7	.000*E-0	.338*E-5	.301*E-5	.150*E-5	.000*E-0
+368.00	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.340*E-5	.507*E-5	.000*E-0	.350*E-6
+245.50	.000*E-0	.243*E-6	.146*E-6	.194*E-6	.129*E-4	.119*E-4	.519*E-5	.116*E-5
+123.00	.000*E-0	.000*E-0	.135*E-5	.724*E-5	.137*E-4	.125*E-4	.106*E-4	.230*E-5
+000.50	.000*E-0	.000*E-0	.116*E-5	.396*E-5	.115*E-4	.102*E-4	.714*E-5	.136*E-5

KENNZAHL: BAND MC/SEITE 1/AUSF.1/200183015350

BLATT NR.: 67,69,73,71 DATUM: 19.01.84

841

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=3000 M.SCHORNSTEIN

300 M QUER AB VOM KUHLTURM.KUEHLTURM

IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M²)

BEI Z= BEI Y=

(M) (M)

-490.00 -367.50 -245.00 -122.50 +000.00 +122.50 +245.00 +367.50

+058.00	.253*E-6	.500*E-7	.304*E-6	.000*E-0	.152*E-6	.000*E-0	.101*E-6	.000*E-0
+735.50	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.486*E-7	.486*E-7	.113*E-6	.194*E-6	.649*E-7
+613.00	.152*E-6	.152*E-6	.152*E-6	.000*E-0	.152*E-6	.000*E-0	.121*E-5	.000*E-0
+613.00	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.550*E-6
+490.50	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.507*E-7	.113*E-6	.000*E-0	.123*E-5
+490.50	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.150*E-6	.146*E-5	.000*E-0
+368.00	.000*E-0	.000*E-0	.152*E-6	.000*E-0	.137*E-5	.181*E-5	.641*E-5	.000*E-0
+368.00	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.438*E-6	.312*E-5	.000*E-0	.345*E-5
+245.50	.000*E-0	.000*E-0	.486*E-7	.649*E-7	.546*E-5	.900*E-5	.135*E-4	.460*E-5
+123.00	.000*E-0	.000*E-0	.660*E-6	.345*E-5	.104*E-4	.159*E-4	.126*E-4	.529*E-5
+000.50	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.152*E-5	.822*E-5	.128*E-4	.134*E-4	.558*E-5

KENNZAHL: BAND MC/SEITE 1/AUSF.1/200183013250

BLATT NR.: 167,168,170,169

25
DATUM: 21.01.84

S41

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=1000 M. SCHORNSTEIN
400 M QUER AB VOM KUEHLTURM. KUEHLTURM
NICHT IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M²)

BEI Z= BEI Y=

(M) (M)

-150.00 -100.00 -050.00 +000.00 +050.00 +100.00 +150.00 +200.00

+350.00	.000*E-0	.000*E-0	.163*E-6	.134*E-5	.817*E-7	.817*E-6	.000*E-0	.000*E-0
+300.00	.122*E-6	.653*E-6	.220*E-5	.318*E-5	.330*E-5	.122*E-5	.122*E-6	.817*E-7
+250.00	.694*E-6	.907*E-5	.157*E-4	.000*E-0	.153*E-4	.000*E-0	.122*E-5	.000*E-0
+250.00	.000*E-0	.845*E-5	.108*E-4	.226*E-4	.000*E-0	.878*E-5	.000*E-0	.490*E-6
+200.00	.000*E-0	.132*E-4	.296*E-4	.459*E-4	.382*E-4	.140*E-4	.000*E-0	.408*E-6
+200.00	.367*E-5	.188*E-4	.384*E-4	.000*E-0	.348*E-4	.157*E-4	.514*E-5	.000*E-0
+150.00	.159*E-5	.000*E-0	.324*E-4	.000*E-0	.373*E-4	.145*E-4	.469*E-5	.000*E-0
+150.00	.000*E-0	.124*E-4	.000*E-0	.496*E-4	.372*E-4	.214*E-4	.000*E-0	.980*E-6
+100.00	.134*E-5	.478*E-5	.147*E-4	.214*E-4	.143*E-4	.576*E-5	.159*E-5	.326*E-6
+050.00	.408*E-6	.449*E-6	.159*E-5	.196*E-5	.171*E-5	.122*E-5	.163*E-6	.163*E-6
+000.00	.163*E-6	.285*E-6	.204*E-6	.326*E-6	.245*E-6	.285*E-6	.122*E-6	.122*E-6

KENNZAHL: BAND MC/SEITE 1/RUSF.1/310184/060516

BLATT NR.: 171,172,174,173 DATUM: 25.01.84

341

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=1000 M. SCHORNSTEIN
400 M QUER AB VOM KUEHLTURM. KUEHLTURM
IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M²)

BEI Z= BEI Y=
(M) (M)

-150.00 -100.00 -050.00 +000.00 +050.00 +100.00 +150.00 +200.00

+350.00	.000*E-0	.000*E-0	.204*E-6	.204*E-6	.408*E-7	.408*E-7	.000*E-0	.000*E-0
+300.00	.817*E-7	.204*E-6	.212*E-5	.208*E-5	.273*E-5	.183*E-5	.122*E-6	.000*E-0
+250.00	.531*E-6	.224*E-5	.898*E-5	.000*E-0	.163*E-4	.000*E-0	.175*E-5	.000*E-0
+250.00	.000*E-0	.543*E-5	.788*E-5	.148*E-4	.000*E-0	.653*E-5	.000*E-0	.326*E-6
+200.00	.000*E-0	.147*E-4	.384*E-4	.433*E-4	.555*E-4	.192*E-4	.000*E-0	.122*E-5
+200.00	.531*E-5	.992*E-5	.307*E-4	.000*E-0	.422*E-4	.189*E-4	.433*E-5	.000*E-0
+150.00	.175*E-5	.000*E-0	.396*E-4	.000*E-0	.518*E-4	.303*E-4	.735*E-5	.000*E-0
+150.00	.000*E-0	.115*E-4	.000*E-0	.458*E-4	.581*E-4	.238*E-4	.000*E-0	.118*E-5
+100.00	.857*E-6	.306*E-5	.180*E-4	.241*E-4	.234*E-4	.135*E-4	.298*E-5	.857*E-6
+050.00	.285*E-6	.449*E-6	.167*E-5	.212*E-5	.192*E-5	.134*E-5	.776*E-6	.163*E-6
+000.00	.245*E-6	.245*E-6	.204*E-6	.245*E-6	.285*E-6	.204*E-6	.163*E-6	.817*E-7

KENNZAHL: BAND MC/SEITE 1/AUSF.1/200284/023047

BLATT NR.: 115,117,121,119 DATUM: 24.01.84

841

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=2000 M.SCHORNSTEIN
400 M QUER AB VOM KUEHLTURM.KUEHLTURM
NICHT IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M²)

BEI Z= BEI Y=
(M) (M)

-217.00 -134.00 -051.00 +032.00 +115.00 +198.00 +281.00 +364.00

+581.00	.284*E-6	.233*E-6	.473*E-7	.174*E-6	.710*E-7	.116*E-6	.236*E-7	.000*E-0
+498.00	.000*E-0	.188*E-6	.925*E-7	.150*E-6	.925*E-7	.940*E-7	.370*E-7	.000*E-0
+415.00	.592*E-6	.805*E-6	.260*E-6	.000*E-0	.142*E-6	.000*E-0	.402*E-6	.000*E-0
+415.00	.000*E-0	.116*E-6	.349*E-6	.407*E-6	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0
+332.00	.000*E-0	.118*E-5	.522*E-5	.428*E-5	.312*E-5	.752*E-7	.000*E-0	.000*E-0
+332.00	.240*E-6	.209*E-5	.664*E-5	.000*E-0	.342*E-5	.815*E-6	.240*E-6	.000*E-0
+249.00	.241*E-5	.000*E-0	.341*E-5	.000*E-0	.701*E-5	.327*E-5	.853*E-6	.000*E-0
+249.00	.000*E-0	.753*E-5	.000*E-0	.155*E-4	.125*E-4	.442*E-5	.000*E-0	.582*E-7
+166.00	.664*E-5	.161*E-4	.199*E-4	.223*E-4	.136*E-4	.447*E-5	.925*E-6	.112*E-6
+083.00	.391*E-5	.928*E-5	.145*E-4	.145*E-4	.796*E-5	.423*E-5	.308*E-6	.000*E-0
+000.00	.186*E-5	.522*E-5	.812*E-5	.842*E-5	.348*E-5	.186*E-5	.000*E-0	.564*E-7

KENNZAHL: BAND MC/SEITE 1/AUSF.1/200284/034209

BLATT NR.: 116,118,122,120 DATUM: 24.01.84

841

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=2000 M. SCHORNSTEIN
400 M QUER AB VOM KUEHLTURM. KUEHLTURM
IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M²)

BEI Z= BEI Y=
(M) (M)

-217.00 -134.00 -051.00 +032.00 +115.00 +198.00 +291.00 +364.00

+581.00	.000*E-0	.388*E-7	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0
+498.00	.109*E-6	.564*E-7	.145*E-6	.131*E-6	.546*E-7	.000*E-0	.911*E-7	.000*E-0
+415.00	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0
+415.00	.000*E-0	.000*E-0	.388*E-7	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0
+332.00	.000*E-0	.620*E-6	.107*E-5	.959*E-6	.205*E-6	.451*E-6	.000*E-0	.752*E-7
+332.00	.127*E-6	.601*E-6	.136*E-5	.000*E-0	.120*E-5	.310*E-6	.236*E-6	.000*E-0
+249.00	.170*E-5	.000*E-0	.116*E-4	.000*E-0	.576*E-5	.477*E-5	.888*E-6	.000*E-0
+249.00	.000*E-0	.454*E-5	.000*E-0	.113*E-4	.100*E-4	.571*E-5	.000*E-0	.699*E-6
+166.00	.218*E-5	.100*E-4	.189*E-4	.201*E-4	.156*E-4	.132*E-4	.366*E-5	.733*E-6
+083.00	.546*E-6	.784*E-5	.212*E-4	.196*E-4	.187*E-4	.113*E-4	.576*E-5	.874*E-6
+000.00	.103*E-5	.389*E-5	.913*E-5	.117*E-4	.895*E-5	.628*E-5	.196*E-5	.244*E-6

KENNZAHL: BAND MC/SEITE 1/AUSF.1/080284/075643

BLATT NR.: 82,84,88,86 DATUM: 20.01.84

S 4 1

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=3000 M. SCHORNSTEIN (H=200 M)

400 M QUERAB VOM KUEHLTURM. KUEHLTURM

NICHT IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M²)

BEI Z= BEI Y=
(M) (M)

-490.00 -365.00 -240.00 -115.00 +010.00 +135.00 +260.00 +385.00

+875.00	.740*E-7	.000*E-0	.987*E-7	.000*E-0	.123*E-6	.000*E-0	.740*E-7	.100*E-6
+750.00	.406*E-6	.148*E-6	.355*E-6	.211*E-6	.203*E-6	.105*E-6	.000*E-0	.423*E-7
+625.00	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0
+625.00	.000*E-0	.200*E-7	.803*E-7	.401*E-7	.000*E-0	.160*E-6	.000*E-0	.401*E-7
+500.00	.000*E-0	.000*E-0	.634*E-7	.211*E-6	.320*E-6	.190*E-6	.000*E-0	.317*E-6
+500.00	.152*E-6	.101*E-6	.203*E-6	.000*E-0	.152*E-6	.200*E-6	.000*E-0	.000*E-0
+375.00	.000*E-0	.000*E-0	.197*E-6	.000*E-0	.340*E-5	.490*E-5	.111*E-5	.000*E-0
+375.00	.000*E-0	.803*E-7	.000*E-0	.301*E-6	.406*E-5	.319*E-5	.000*E-0	.401*E-6
+250.00	.000*E-0	.792*E-6	.101*E-6	.528*E-6	.128*E-4	.112*E-4	.524*E-5	.846*E-6
+125.00	.987*E-7	.461*E-6	.207*E-5	.963*E-5	.132*E-4	.122*E-4	.760*E-5	.253*E-5
+000.00	.000*E-0	.211*E-7	.914*E-6	.512*E-5	.110*E-4	.871*E-5	.558*E-5	.000*E-0

KENNZAHL: BAND MC/SEITE 1/AUSF.1/130284010457

BLATT NR.: 83,85,89,87 DATUM: 20.01.84

841

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=3000 M. SCHORNSTEIN (H=200 M)

400 M QUERAB VOM KUEHLTURM. KUEHLTURM

IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M²)

BEI Z= BEI Y=

(M) (M)

-490.00 -365.00 -240.00 -115.00 +010.00 +135.00 +260.00 +385.00

+875.00	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.347*E-6	.207*E-6	.347*E-6	.207*E-6	.224*E-6
+750.00	.550*E-6	.382*E-6	.300*E-6	.573*E-6	.350*E-6	.802*E-6	.150*E-6	.668*E-6
+625.00	.888*E-7	.207*E-6	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.296*E-7	.000*E-0
+625.00	.000*E-0	.000*E-0	.817*E-7	.102*E-6	.000*E-0	.204*E-7	.000*E-0	.612*E-7
+500.00	.000*E-0	.439*E-6	.420*E-6	.439*E-6	.000*E-0	.343*E-6	.000*E-0	.917*E-6
+500.00	.267*E-6	.183*E-6	.300*E-6	.000*E-0	.200*E-6	.612*E-7	.283*E-6	.000*E-0
+375.00	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.118*E-6	.171*E-5	.204*E-5	.000*E-0
+375.00	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.100*E-5	.939*E-6	.000*E-0	.130*E-5
+250.00	.350*E-6	.745*E-6	.500*E-6	.573*E-6	.814*E-5	.112*E-4	.126*E-4	.687*E-5
+125.00	.000*E-0	.000*E-0	.414*E-6	.443*E-5	.850*E-5	.138*E-4	.123*E-4	.565*E-5
+000.00	.216*E-6	.974*E-6	.650*E-6	.496*E-5	.814*E-5	.126*E-4	.118*E-4	.745*E-5

KENNZAHL: BAND MC/SEITE 1/AUSF.1/130284011954

BLATT NR.: 353,355,359,357 DATUM: 15.03.84

341

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=1000 M. SCHORNSTEIN (H=200 M)
300 M IM LUV VOM KUEHLTURM. KUEHLTURM
NICHT IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M²)

BEI Z= BEI Y=
(M) (M)

	-200.00	-150.00	-100.00	-050.00	+000.00	+050.00	+100.00	+150.00	+200.00	+250.00
*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
+500.00	.000*E-0	.779*E-8	.935*E-7	.000*E-0	.187*E-6	.000*E-0	.179*E-6	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0
+500.00	.000*E-0	.189*E-7	.227*E-7	.189*E-7	.000*E-0	.493*E-7	.000*E-0	.227*E-7	.000*E-0	.227*E-7
+450.00	.000*E-0	.000*E-0	.379*E-8	.379*E-8	.113*E-6	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0
+450.00	.303*E-7	.102*E-6	.683*E-7	.000*E-0	.443*E-6	.417*E-7	.265*E-7	.000*E-0	.151*E-7	.000*E-0
+400.00	.000*E-0	.000*E-0	.779*E-8	.000*E-0	.974*E-7	.227*E-7	.896*E-7	.000*E-0	.779*E-8	.000*E-0
+400.00	.000*E-0	.227*E-7	.000*E-0	.341*E-7	.121*E-5	.517*E-6	.000*E-0	.197*E-6	.000*E-0	.265*E-7
+350.00	.151*E-6	.417*E-7	.189*E-6	.398*E-6	.544*E-6	.538*E-6	.633*E-6	.683*E-7	.455*E-7	.379*E-8
+300.00	.779*E-8	.167*E-6	.155*E-5	.331*E-5	.846*E-5	.450*E-5	.311*E-5	.130*E-5	.191*E-6	.949*E-7
+250.00	.911*E-7	.101*E-5	.436*E-5	.101*E-5	.176*E-4	.234*E-4	.105*E-4	.176*E-5	.506*E-6	.645*E-7

BLATT NR.: 345,347,351,349 DATUM: 15.03.84

341

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=1000 M. SCHORNSTEIN (H=200 M)

300 M IM LUV VOM KUEHLTURM. KUEHLTURM

NICHT IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M+2)

BEI Z= BEI Y=

(M)

(M)

	-200.00	-150.00	-100.00	-050.00	+000.00	+050.00	+100.00	+150.00	+200.00	+250.00

+250.00	.256*E-7	.277*E-5	.826*E-5	.000*E-0	.207*E-4	.000*E-0	.749*E-5	.000*E-0	.111*E-5	.000*E-0
+250.00	.000*E-0	.725*E-6	.630*E-5	.109*E-4	.000*E-0	.153*E-4	.000*E-0	.296*E-5	.000*E-0	.625*E-7
+200.00	.000*E-0	.141*E-5	.137*E-4	.280*E-4	.361*E-4	.349*E-4	.000*E-0	.337*E-5	.000*E-0	.769*E-7
+200.00	.545*E-7	.169*E-5	.124*E-4	.000*E-0	.397*E-4	.321*E-4	.167*E-4	.000*E-0	.457*E-6	.000*E-0
+150.00	.295*E-6	.000*E-0	.723*E-5	.000*E-0	.368*E-4	.345*E-4	.118*E-4	.000*E-0	.153*E-6	.000*E-0
+150.00	.000*E-0	.262*E-6	.000*E-0	.276*E-4	.373*E-4	.321*E-4	.000*E-0	.225*E-5	.000*E-0	.112*E-6
+100.00	.249*E-6	.910*E-6	.513*E-5	.160*E-4	.237*E-4	.256*E-4	.786*E-5	.144*E-5	.257*E-6	.898*E-7
+050.00	.769*E-7	.400*E-6	.254*E-5	.880*E-5	.133*E-4	.103*E-4	.428*E-5	.108*E-5	.205*E-6	.100*E-6
+000.00	.198*E-6	.372*E-6	.184*E-5	.368*E-5	.552*E-5	.517*E-5	.286*E-5	.133*E-5	.284*E-6	.898*E-7

+250.00	.256*E-7	.277*E-5	.826*E-5	.000*E-0	.207*E-4	.000*E-0	.749*E-5	.000*E-0	.111*E-5	.000*E-0
+250.00	.000*E-0	.725*E-6	.630*E-5	.109*E-4	.000*E-0	.153*E-4	.000*E-0	.296*E-5	.000*E-0	.625*E-7
+200.00	.000*E-0	.141*E-5	.137*E-4	.280*E-4	.361*E-4	.349*E-4	.000*E-0	.337*E-5	.000*E-0	.769*E-7
+200.00	.545*E-7	.169*E-5	.124*E-4	.000*E-0	.397*E-4	.321*E-4	.167*E-4	.000*E-0	.457*E-6	.000*E-0
+150.00	.295*E-6	.000*E-0	.723*E-5	.000*E-0	.368*E-4	.345*E-4	.118*E-4	.000*E-0	.153*E-6	.000*E-0
+150.00	.000*E-0	.262*E-6	.000*E-0	.276*E-4	.373*E-4	.321*E-4	.000*E-0	.225*E-5	.000*E-0	.112*E-6
+100.00	.249*E-6	.910*E-6	.513*E-5	.160*E-4	.237*E-4	.256*E-4	.786*E-5	.144*E-5	.257*E-6	.898*E-7
+050.00	.769*E-7	.400*E-6	.254*E-5	.880*E-5	.133*E-4	.103*E-4	.428*E-5	.108*E-5	.205*E-6	.100*E-6
+000.00	.198*E-6	.372*E-6	.184*E-5	.368*E-5	.552*E-5	.517*E-5	.286*E-5	.133*E-5	.284*E-6	.898*E-7

BLATT NR.: 354,356,360,358 DATUM: 15.03.84

341

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=1000 M. SCHORNSTEIN (H=200 M)

300 M IM LUV VOM KUEHLTURM. KUEHLTURM

IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M²)

BEI Z= BEI Y=
(M) (M)

-200.00 -150.00 -100.00 -050.00 +000.00 +050.00 +100.00 +150.00 +200.00 +250.00

+500.00	.115*E-7	.297*E-6	.267*E-5	.000*E-0	.589*E-5	.000*E-0	.255*E-5	.000*E-0	.962*E-7	.000*E-0
+500.00	.000*E-0	.853*E-6	.356*E-5	.241*E-4	.000*E-0	.841*E-5	.000*E-0	.151*E-5	.000*E-0	.797*E-7
+450.00	.000*E-0	.284*E-5	.721*E-5	.117*E-4	.144*E-4	.112*E-4	.000*E-0	.239*E-5	.000*E-0	.600*E-7
+450.00	.178*E-6	.360*E-5	.791*E-5	.000*E-0	.146*E-4	.142*E-4	.892*E-5	.000*E-0	.379*E-6	.000*E-0
+400.00	.425*E-6	.000*E-0	.141*E-4	.000*E-0	.191*E-4	.174*E-4	.112*E-4	.000*E-0	.656*E-6	.000*E-0
+400.00	.000*E-0	.436*E-5	.000*E-0	.165*E-4	.184*E-4	.195*E-4	.000*E-0	.550*E-5	.000*E-0	.157*E-6
+350.00	.696*E-6	.584*E-5	.157*E-4	.185*E-4	.176*E-4	.193*E-4	.180*E-4	.434*E-5	.848*E-6	.105*E-6
+300.00	.207*E-6	.348*E-5	.126*E-4	.131*E-4	.126*E-4	.153*E-4	.137*E-4	.423*E-5	.785*E-6	.835*E-7
+250.00	.182*E-6	.243*E-5	.766*E-5	.959*E-5	.740*E-5	.997*E-5	.829*E-5	.179*E-5	.265*E-6	.750*E-7

BLATT NR.: 346,348,352,350 DATUM: 15.03.84

341

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=1000 M.SCHORNSTEIN (H=200 M)
300 M IM LUV VOM KUEHLTURM.KUEHLTURM
IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M²)

BEI Z= BEI Y=

(M) (M)

-200.00 -150.00 -100.00 -050.00 +000.00 +050.00 +100.00 +150.00 +200.00 +250.00

+250.00	.519*E-7	.127*E-5	.718*E-5	.000*E-0	.900*E-5	.000*E-0	.757*E-5	.000*E-0	.714*E-6	.000*E-0
+250.00	.000*E-0	.156*E-5	.628*E-5	.692*E-5	.000*E-0	.105*E-4	.000*E-0	.119*E-5	.000*E-0	.513*E-7
+200.00	.000*E-0	.272*E-6	.162*E-5	.428*E-5	.588*E-5	.896*E-5	.000*E-0	.139*E-5	.000*E-0	.649*E-7
+200.00	.192*E-7	.333*E-6	.219*E-5	.000*E-0	.694*E-5	.667*E-5	.681*E-5	.000*E-0	.246*E-6	.000*E-0
+150.00	.779*E-7	.000*E-0	.158*E-5	.000*E-0	.354*E-5	.506*E-5	.236*E-5	.000*E-0	.779*E-7	.000*E-0
+150.00	.000*E-0	.205*E-6	.000*E-0	.245*E-5	.377*E-5	.291*E-5	.000*E-0	.705*E-6	.000*E-0	.128*E-6
+100.00	.846*E-7	.116*E-6	.410*E-6	.805*E-6	.119*E-5	.174*E-5	.123*E-5	.350*E-6	.500*E-7	.389*E-7
+050.00	.389*E-7	.513*E-7	.155*E-6	.218*E-6	.324*E-6	.205*E-6	.168*E-6	.769*E-7	.389*E-7	.256*E-7
+000.00	.384*E-7	.519*E-7	.577*E-7	.155*E-6	.115*E-6	.129*E-6	.962*E-7	.649*E-7	.230*E-7	.259*E-7

BLATT NR. : 294,296,300,298 DATUM: 13.03.84

841

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=2000 M.SCHORNSTEIN
300 M IM LUV VOM KUEHLTURM.KUEHLTURM
NICHT IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M²)

BEI Z= BEI Y=
(M) (M)

-332.00 -249.00 -166.00 -083.00 +000.00 +083.00 +166.00 +249.00 +332.00 +415.00

+830.00	.812*E-8	.189*E-7	.595*E-7	.000*E-0	.111*E-6	.000*E-0	.893*E-7	.000*E-0	.379*E-7	.000*E-0
+830.00	.000*E-0	.433*E-7	.541*E-7	.948*E-7	.000*E-0	.113*E-6	.000*E-0	.650*E-7	.000*E-0	.541*E-7
+747.00	.000*E-0	.547*E-8	.136*E-7	.410*E-7	.170*E-6	.164*E-7	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0
+747.00	.219*E-7	.821*E-7	.142*E-6	.000*E-0	.849*E-7	.198*E-6	.219*E-7	.000*E-0	.273*E-8	.000*E-0
+664.00	.297*E-7	.000*E-0	.460*E-7	.000*E-0	.159*E-6	.120*E-6	.186*E-6	.000*E-0	.541*E-7	.000*E-0
+664.00	.000*E-0	.568*E-7	.000*E-0	.189*E-6	.194*E-6	.189*E-6	.000*E-0	.189*E-6	.000*E-0	.514*E-7
+581.00	.134*E-6	.684*E-7	.109*E-7	.112*E-6	.169*E-6	.123*E-6	.876*E-7	.684*E-7	.136*E-7	.821*E-8
+498.00	.297*E-7	.460*E-7	.487*E-7	.180*E-6	.127*E-6	.135*E-6	.121*E-6	.162*E-6	.325*E-7	.406*E-7
+415.00	.492*E-7	.101*E-6	.288*E-6	.437*E-6	.471*E-6	.381*E-6	.197*E-6	.120*E-6	.109*E-7	.191*E-7

BLATT NR.: 302,304,308,306 DATUM: 13.03.84

#41

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=2000 M.SCHORNSTEIN
300 M IM LUV VOM KUEHLTURM.KUEHLTURM
NICHT IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M²)

BEI Z= BEI Y=
(M) (M)

-332.00 -249.00 -166.00 -083.00 +000.00 +083.00 +166.00 +249.00 +332.00 +415.00

+415.00	.000*E-0	.145*E-7	.582*E-7	.000*E-0	.131*E-5	.000*E-0	.291*E-6	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0
+415.00	.000*E-0	.233*E-7	.152*E-6	.467*E-6	.000*E-0	.104*E-5	.000*E-0	.327*E-6	.000*E-0	.233*E-7
+332.00	.000*E-0	.175*E-5	.690*E-6	.243*E-5	.346*E-5	.584*E-5	.000*E-0	.949*E-6	.000*E-0	.000*E-0
+332.00	.000*E-0	.532*E-7	.521*E-6	.000*E-0	.353*E-5	.603*E-5	.310*E-5	.000*E-0	.958*E-7	.000*E-0
+249.00	.291*E-7	.000*E-0	.103*E-5	.000*E-0	.100*E-4	.109*E-4	.652*E-5	.000*E-0	.437*E-6	.000*E-0
+249.00	.000*E-0	.304*E-6	.000*E-0	.620*E-5	.120*E-4	.121*E-4	.000*E-0	.237*E-5	.000*E-0	.116*E-6
+166.00	.638*E-7	.593*E-6	.460*E-5	.112*E-4	.168*E-4	.154*E-4	.981*E-5	.247*E-5	.425*E-6	.323*E-7
+083.00	.000*E-0	.503*E-6	.565*E-5	.912*E-5	.187*E-4	.163*E-4	.958*E-5	.350*E-5	.510*E-6	.116*E-6
+000.00	.138*E-6	.809*E-6	.481*E-5	.962*E-5	.152*E-4	.138*E-4	.555*E-5	.916*E-6	.127*E-6	.323*E-7

BLATT NR.: 295,297,301,299 DATUM: 13.03.84

841

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=2000 M.SCHORNSTEIN
300 M IM LUV VOM KUEHLTURM.KUEHLTURM
IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M^2)

BEI Z= BEI Y=
(M) (M)

-332.00 -249.00 -166.00 -083.00 +000.00 +083.00 +166.00 +249.00 +332.00 +415.00

+830.00	.000*E-0	.191*E-6	.109*E-5	.000*E-0	.213*E-5	.000*E-0	.565*E-6	.000*E-0	.547*E-7	.000*E-0
+830.00	.000*E-0	.171*E-6	.514*E-6	.134*E-5	.000*E-0	.129*E-5	.000*E-0	.613*E-7	.000*E-0	.505*E-7
+747.00	.000*E-0	.552*E-6	.228*E-5	.373*E-5	.445*E-5	.282*E-5	.000*E-0	.552*E-6	.000*E-0	.383*E-7
+747.00	.101*E-6	.772*E-6	.233*E-5	.000*E-0	.446*E-5	.394*E-5	.192*E-5	.000*E-0	.657*E-7	.000*E-0
+664.00	.246*E-6	.000*E-0	.454*E-5	.000*E-0	.646*E-5	.547*E-5	.381*E-5	.000*E-0	.191*E-6	.000*E-0
+664.00	.000*E-0	.112*E-5	.000*E-0	.539*E-5	.573*E-5	.647*E-5	.000*E-0	.183*E-5	.000*E-0	.722*E-7
+581.00	.279*E-6	.236*E-5	.592*E-5	.656*E-5	.665*E-5	.775*E-5	.464*E-5	.234*E-5	.178*E-6	.712*E-7
+498.00	.173*E-6	.218*E-5	.555*E-5	.611*E-5	.436*E-5	.611*E-5	.509*E-5	.248*E-5	.209*E-6	.641*E-7
+415.00	.931*E-7	.798*E-6	.482*E-5	.382*E-5	.281*E-5	.328*E-5	.260*E-5	.121*E-5	.903*E-7	.410*E-7

BLATT NR.: 303,305,309,307 DATUM: 13.03.84

341

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=2000 M. SCHORNSTEIN
300 M IM LUV VOM KUEHLTURM. KUEHLTURM
IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M^2)

BEI Z= BEI Y=
(M) (M)

-332.00 -249.00 -166.00 -083.00 +000.00 +083.00 +166.00 +249.00 +332.00 +415.00

+415.00	.000*E-0	.474*E-6	.294*E-5	.000*E-0	.214*E-5	.000*E-0	.566*E-5	.000*E-0	.237*E-6	.000*E-0
+415.00	.000*E-0	.971*E-6	.248*E-5	.382*E-5	.000*E-0	.370*E-5	.000*E-0	.100*E-5	.000*E-0	.350*E-7
+332.00	.000*E-0	.851*E-7	.479*E-6	.969*E-6	.163*E-5	.199*E-5	.000*E-0	.298*E-6	.000*E-0	.106*E-7
+332.00	.000*E-0	.159*E-6	.756*E-6	.000*E-0	.172*E-5	.212*E-5	.124*E-5	.000*E-0	.425*E-7	.000*E-0
+249.00	.395*E-7	.000*E-0	.118*E-6	.000*E-0	.119*E-5	.141*E-5	.962*E-6	.000*E-0	.527*E-7	.000*E-0
+249.00	.000*E-0	.584*E-7	.000*E-0	.666*E-6	.130*E-5	.146*E-5	.000*E-0	.198*E-6	.000*E-0	.467*E-7
+166.00	.319*E-7	.638*E-7	.212*E-6	.617*E-6	.830*E-6	.109*E-5	.564*E-6	.149*E-6	.319*E-7	.212*E-7
+083.00	.131*E-7	.584*E-7	.184*E-6	.409*E-6	.646*E-6	.608*E-6	.395*E-6	.152*E-6	.263*E-7	.233*E-7
+000.00	.212*E-7	.532*E-7	.149*E-6	.362*E-6	.383*E-6	.479*E-6	.149*E-6	.425*E-7	.106*E-7	.212*E-7

BLATT NR.: 212,214,218,216 DATUM: 31.01.84

841

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=3000 M.SCHORNSTEIN (H=200 M)

300 M IM LUV VOM KUEHLTURM.KUEHLTURM

NICHT IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M²)

BEI Z= BEI Y=

(M)

(M)

-375.00 -250.00 -125.00 +000.00 +125.00 +250.00 +375.00 +500.00

+875.00	.000*E-0	.000*E-0	.168*E-6	.166*E-6	.168*E-6	.166*E-6	.563*E-7	.553*E-7
+750.00	.000*E-0	.000*E-0	.214*E-6	.160*E-6	.107*E-6	.160*E-6	.000*E-0	.535*E-7
+625.00	.563*E-7	.168*E-6	.168*E-6	.000*E-0	.112*E-6	.000*E-0	.112*E-6	.000*E-0
+625.00	.000*E-0	.553*E-7	.110*E-6	.166*E-6	.000*E-0	.221*E-6	.000*E-0	.166*E-6
+500.00	.000*E-0	.535*E-7	.321*E-6	.643*E-6	.337*E-6	.428*E-6	.000*E-0	.107*E-6
+500.00	.000*E-0	.107*E-6	.375*E-6	.000*E-0	.428*E-6	.221*E-6	.000*E-0	.000*E-0
+375.00	.168*E-6	.000*E-0	.174*E-5	.000*E-0	.225*E-5	.144*E-5	.281*E-6	.000*E-0
+375.00	.000*E-0	.110*E-6	.000*E-0	.254*E-5	.326*E-5	.177*E-5	.000*E-0	.166*E-6
+250.00	.214*E-6	.150*E-5	.589*E-5	.830*E-5	.782*E-5	.428*E-5	.428*E-6	.267*E-6
+125.00	.394*E-6	.282*E-5	.726*E-5	.109*E-4	.625*E-5	.664*E-6	.450*E-6	.221*E-6
+000.00	.267*E-6	.375*E-5	.653*E-5	.262*E-5	.766*E-5	.803*E-6	.375*E-6	.107*E-6

KENNZAHL: BAND MC/SEITE 1/AUSF.1/080284/004426

BLATT NR.: 213,215,219,217 DATUM: 31.01.84

841

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=3000 M. SCHORNSTEIN (H=200 M)

300 M IM LUV VOM KUEHLTURM. KUEHLTURM

IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR <1/M²>

BEI Z= BEI Y=

(M) (M)

-375.00 -250.00 -125.00 +000.00 +125.00 +250.00 +375.00 +500.00

+875.00	.110*E-6	.762*E-6	.238*E-5	.294*E-5	.326*E-5	.266*E-5	.986*E-6	.217*E-6
+750.00	.589*E-6	.160*E-5	.246*E-5	.300*E-5	.337*E-5	.326*E-5	.911*E-6	.160*E-6
+625.00	.221*E-6	.171*E-5	.299*E-5	.000*E-0	.276*E-5	.000*E-0	.143*E-5	.000*E-0
+500.00	.000*E-0	.125*E-5	.359*E-5	.245*E-5	.000*E-0	.370*E-5	.000*E-0	.326*E-6
+500.00	.000*E-0	.107*E-5	.267*E-5	.112*E-5	.177*E-5	.192*E-5	.000*E-0	.107*E-6
+500.00	.107*E-6	.101*E-5	.209*E-5	.000*E-0	.144*E-5	.206*E-5	.267*E-6	.000*E-0
+375.00	.553*E-7	.000*E-0	.719*E-6	.000*E-0	.387*E-6	.267*E-6	.166*E-6	.000*E-0
+375.00	.000*E-0	.326*E-6	.000*E-0	.817*E-6	.428*E-6	.490*E-6	.000*E-0	.163*E-6
+250.00	.000*E-0	.160*E-6	.321*E-6	.535*E-6	.589*E-6	.321*E-6	.000*E-0	.000*E-0
+125.00	.221*E-6	.326*E-6	.498*E-6	.762*E-6	.553*E-6	.381*E-6	.221*E-6	.217*E-6
+000.00	.000*E-0	.107*E-6	.267*E-6	.321*E-6	.267*E-6	.535*E-7	.000*E-0	.000*E-0

KENNZAHL: BAND MC/SEITE 1/AUSF.1/000284/010240

BLATT NR.: 326,328,335,333 DATUM: 15.03.84

341

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=1000 M. SCHORNSTEIN (H=140 M)

300 M IM LEE VOM KUEHLTURM. KUEHLTURM

NICHT IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M²)

BEI Z= BEI Y=
(M) (M)

-200.00 -150.00 -100.00 -050.00 +000.00 +050.00 +100.00 +150.00 +200.00 +250.00

+500.00	.000*E-0	.171*E-7	.644*E-7	.000*E-0	.429*E-7	.000*E-0	.859*E-8	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0
+500.00	.000*E-0	.791*E-7	.233*E-6	.404*E-6	.000*E-0	.259*E-6	.000*E-0	.229*E-6	.000*E-0	.593*E-7
+450.00	.000*E-0	.230*E-6	.383*E-6	.485*E-6	.343*E-7	.283*E-5	.000*E-0	.164*E-6	.000*E-0	.460*E-7
+450.00	.183*E-7	.439*E-7	.513*E-7	.000*E-0	.329*E-7	.497*E-6	.146*E-7	.000*E-0	.732*E-8	.000*E-0
+400.00	.214*E-7	.000*E-0	.128*E-7	.000*E-0	.515*E-7	.511*E-6	.558*E-7	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0
+400.00	.000*E-0	.201*E-6	.000*E-0	.365*E-6	.439*E-7	.312*E-6	.000*E-0	.378*E-6	.000*E-0	.751*E-7
+350.00	.513*E-7	.396*E-6	.366*E-7	.383*E-6	.806*E-7	.332*E-6	.586*E-7	.230*E-6	.293*E-7	.345*E-7
+300.00	.515*E-7	.988*E-7	.154*E-6	.404*E-6	.163*E-6	.628*E-6	.158*E-6	.259*E-6	.257*E-7	.672*E-7
+250.00	.120*E-6	.383*E-6	.106*E-5	.187*E-5	.325*E-5	.368*E-5	.200*E-5	.106*E-5	.408*E-6	.107*E-6

BLATT NR.: 337,339,343,334 DATUM: 15.03.84

341

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=1000 M. SCHORNSTEIN (H=140 M)

300 M IM LEE VOM KUEHLTURM. KUEHLTURM

NICHT IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M¹²)

BEI Z= BEI Y=

(M)

(M)

-200.00 -150.00 -100.00 -050.00 +000.00 +050.00 +100.00 +150.00 +200.00 +250.00

+250.00	.712*E-7	.439*E-6	.949*E-6	.000*E-0	.313*E-5	.000*E-0	.205*E-5	.000*E-0	.284*E-6	.000*E-0
+250.00	.000*E-0	.542*E-6	.131*E-5	.421*E-5	.000*E-0	.651*E-5	.000*E-0	.340*E-5	.000*E-0	.323*E-6
+200.00	.000*E-0	.119*E-5	.646*E-5	.760*E-5	.103*E-4	.817*E-5	.000*E-0	.623*E-5	.000*E-0	.409*E-6
+200.00	.500*E-6	.300*E-5	.638*E-5	.000*E-0	.125*E-4	.119*E-4	.107*E-4	.000*E-0	.194*E-5	.000*E-0
+150.00	.105*E-5	.000*E-0	.776*E-5	.000*E-0	.208*E-4	.162*E-4	.161*E-4	.000*E-0	.431*E-5	.000*E-0
+150.00	.000*E-0	.536*E-5	.000*E-0	.174*E-4	.183*E-4	.247*E-4	.000*E-0	.917*E-5	.000*E-0	.657*E-6
+100.00	.293*E-5	.509*E-5	.179*E-4	.268*E-4	.306*E-4	.244*E-4	.265*E-4	.142*E-4	.661*E-5	.163*E-5
+050.00	.230*E-5	.109*E-4	.204*E-4	.313*E-4	.368*E-4	.330*E-4	.275*E-4	.147*E-4	.704*E-5	.865*E-6
+000.00	.467*E-5	.794*E-5	.220*E-4	.305*E-4	.374*E-4	.309*E-4	.367*E-4	.176*E-4	.672*E-5	.887*E-6

BLATT NR.: 327,329,336,334 DATUM: 15.03.84

841

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=1000 M. SCHORNSTEIN (H=140 M)

300 M IM LEE VOM KUEHLTURM. KUEHLTURM

IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M²)

BEI Z= BEI Y=

(M)

(M)

	-200.00	-150.00	-100.00	-050.00	+000.00	+050.00	+100.00	+150.00	+200.00	+250.00
+500.00	.264*E-5	.618*E-5	.999*E-5	.000*E-0	.795*E-5	.000*E-0	.713*E-5	.000*E-0	.174*E-5	.000*E-0
+500.00	.000*E-0	.710*E-5	.970*E-5	.125*E-4	.000*E-0	.116*E-4	.000*E-0	.437*E-5	.000*E-0	.100*E-5
+450.00	.000*E-0	.637*E-5	.101*E-4	.127*E-4	.129*E-4	.129*E-4	.000*E-0	.461*E-5	.000*E-0	.815*E-6
+450.00	.325*E-5	.732*E-5	.985*E-5	.000*E-0	.125*E-4	.134*E-4	.841*E-5	.000*E-0	.166*E-5	.000*E-0
+400.00	.321*E-5	.000*E-0	.104*E-4	.000*E-0	.123*E-4	.104*E-4	.822*E-5	.000*E-0	.149*E-5	.000*E-0
+400.00	.000*E-0	.684*E-5	.000*E-0	.106*E-4	.108*E-4	.117*E-4	.000*E-0	.502*E-5	.000*E-0	.277*E-6
+350.00	.112*E-5	.449*E-5	.732*E-5	.814*E-5	.973*E-5	.100*E-4	.804*E-5	.423*E-5	.946*E-6	.387*E-6
+300.00	.818*E-6	.158*E-5	.509*E-5	.736*E-5	.931*E-5	.918*E-5	.591*E-5	.264*E-5	.100*E-5	.700*E-7
+250.00	.260*E-6	.891*E-6	.359*E-5	.512*E-5	.901*E-5	.650*E-5	.431*E-5	.153*E-5	.585*E-6	.173*E-6

+500.00	.264*E-5	.618*E-5	.999*E-5	.000*E-0	.795*E-5	.000*E-0	.713*E-5	.000*E-0	.174*E-5	.000*E-0
+500.00	.000*E-0	.710*E-5	.970*E-5	.125*E-4	.000*E-0	.116*E-4	.000*E-0	.437*E-5	.000*E-0	.100*E-5
+450.00	.000*E-0	.637*E-5	.101*E-4	.127*E-4	.129*E-4	.129*E-4	.000*E-0	.461*E-5	.000*E-0	.815*E-6
+450.00	.325*E-5	.732*E-5	.985*E-5	.000*E-0	.125*E-4	.134*E-4	.841*E-5	.000*E-0	.166*E-5	.000*E-0
+400.00	.321*E-5	.000*E-0	.104*E-4	.000*E-0	.123*E-4	.104*E-4	.822*E-5	.000*E-0	.149*E-5	.000*E-0
+400.00	.000*E-0	.684*E-5	.000*E-0	.106*E-4	.108*E-4	.117*E-4	.000*E-0	.502*E-5	.000*E-0	.277*E-6
+350.00	.112*E-5	.449*E-5	.732*E-5	.814*E-5	.973*E-5	.100*E-4	.804*E-5	.423*E-5	.946*E-6	.387*E-6
+300.00	.818*E-6	.158*E-5	.509*E-5	.736*E-5	.931*E-5	.918*E-5	.591*E-5	.264*E-5	.100*E-5	.700*E-7
+250.00	.260*E-6	.891*E-6	.359*E-5	.512*E-5	.901*E-5	.650*E-5	.431*E-5	.153*E-5	.585*E-6	.173*E-6

SLATT NR.: 338,340,344,342 DATUM: 15.03.84

341

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=1000 M. SCHORNSTEIN (H=140 M)

300 M IM LEE VOM KUEHLTURM. KUEHLTURM

IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M²)

BEI Z= BEI Y=

(M) (M)

	-200.00	-150.00	-100.00	-050.00	+000.00	+050.00	+100.00	+150.00	+200.00	+250.00

+250.00	.178*E-6	.937*E-6	.211*E-5	.000*E-0	.485*E-5	.000*E-0	.378*E-5	.000*E-0	.534*E-6	.000*E-0
+250.00	.000*E-0	.671*E-6	.246*E-5	.447*E-5	.000*E-0	.674*E-5	.000*E-0	.130*E-5	.000*E-0	.796*E-7
+200.00	.000*E-0	.108*E-5	.275*E-5	.549*E-5	.366*E-5	.504*E-5	.000*E-0	.217*E-5	.000*E-0	.113*E-6
+200.00	.101*E-6	.606*E-6	.267*E-5	.000*E-0	.350*E-5	.367*E-5	.619*E-5	.000*E-0	.449*E-6	.000*E-0
+150.00	.284*E-6	.000*E-0	.168*E-5	.000*E-0	.278*E-5	.309*E-5	.196*E-5	.000*E-0	.261*E-6	.000*E-0
+150.00	.000*E-0	.105*E-5	.000*E-0	.367*E-5	.327*E-5	.298*E-5	.000*E-0	.117*E-5	.000*E-0	.796*E-7
+100.00	.224*E-6	.523*E-6	.139*E-5	.166*E-5	.186*E-5	.162*E-5	.199*E-5	.876*E-6	.303*E-6	.910*E-7
+050.00	.130*E-6	.716*E-6	.866*E-6	.147*E-5	.122*E-5	.103*E-5	.973*E-6	.466*E-6	.272*E-6	.682*E-7
+000.00	.258*E-6	.432*E-6	.797*E-6	.944*E-6	.115*E-5	.580*E-6	.129*E-5	.546*E-6	.235*E-6	.682*E-7

+250.00	.178*E-6	.937*E-6	.211*E-5	.000*E-0	.485*E-5	.000*E-0	.378*E-5	.000*E-0	.534*E-6	.000*E-0
+250.00	.000*E-0	.671*E-6	.246*E-5	.447*E-5	.000*E-0	.674*E-5	.000*E-0	.130*E-5	.000*E-0	.796*E-7
+200.00	.000*E-0	.108*E-5	.275*E-5	.549*E-5	.366*E-5	.504*E-5	.000*E-0	.217*E-5	.000*E-0	.113*E-6
+200.00	.101*E-6	.606*E-6	.267*E-5	.000*E-0	.350*E-5	.367*E-5	.619*E-5	.000*E-0	.449*E-6	.000*E-0
+150.00	.284*E-6	.000*E-0	.168*E-5	.000*E-0	.278*E-5	.309*E-5	.196*E-5	.000*E-0	.261*E-6	.000*E-0
+150.00	.000*E-0	.105*E-5	.000*E-0	.367*E-5	.327*E-5	.298*E-5	.000*E-0	.117*E-5	.000*E-0	.796*E-7
+100.00	.224*E-6	.523*E-6	.139*E-5	.166*E-5	.186*E-5	.162*E-5	.199*E-5	.876*E-6	.303*E-6	.910*E-7
+050.00	.130*E-6	.716*E-6	.866*E-6	.147*E-5	.122*E-5	.103*E-5	.973*E-6	.466*E-6	.272*E-6	.682*E-7
+000.00	.258*E-6	.432*E-6	.797*E-6	.944*E-6	.115*E-5	.580*E-6	.129*E-5	.546*E-6	.235*E-6	.682*E-7

BLATT NR.: 318,320,324,322 DATUM: 14.03.84

341

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=2000 M. SCHORNSTEIN (H=140 M)

300 M IM LEE VOM KUEHLTURM. KUEHLTURM

NICHT IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M²)

BEI Z= BEI Y=
(M) (M)

	-332.00	-249.00	-166.00	-083.00	+000.00	+083.00	+166.00	+249.00	+332.00	+415.00
--	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

+830.00	.000*E-0	.000*E-0	.327*E-7	.000*E-0	.437*E-7	.000*E-0	.218*E-7	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0
+830.00	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0
+747.00	.000*E-0	.323*E-7	.431*E-7	.539*E-7	.437*E-7	.215*E-7	.000*E-0	.107*E-7	.000*E-0	.000*E-0
+747.00	.215*E-7	.215*E-7	.431*E-7	.000*E-0	.107*E-7	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0
+664.00	.109*E-7	.000*E-0	.218*E-7	.000*E-0	.218*E-7	.431*E-7	.218*E-7	.000*E-0	.109*E-7	.000*E-0
+664.00	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.215*E-7	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0
+581.00	.431*E-7	.431*E-7	.215*E-7	.539*E-7	.215*E-7	.431*E-7	.107*E-7	.647*E-7	.000*E-0	.755*E-7
+498.00	.109*E-7	.000*E-0	.218*E-7	.000*E-0	.218*E-7	.000*E-0	.218*E-7	.000*E-0	.109*E-7	.000*E-0
+415.00	.107*E-7	.647*E-7	.431*E-7	.215*E-7	.755*E-7	.323*E-7	.431*E-7	.431*E-7	.215*E-7	.000*E-0

BLATT NR.: 310,312,316,314 DATUM: 14.03.84

841

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=2000 M.SCHORNSTEIN (H=140 M)

300 M IM LEE VOM KUEHLTURM.KUEHLTURM

NICHT IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M²)

BEI Z= BEI Y=

(M) (M)

-332.00 -249.00 -166.00 -083.00 +000.00 +083.00 +166.00 +249.00 +332.00 +415.00

+415.00	.000*E-0	.101*E-7	.506*E-7	.000*E-0	.911*E-7	.000*E-0	.111*E-6	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0
+415.00	.000*E-0	.101*E-7	.810*E-7	.314*E-6	.000*E-0	.557*E-6	.000*E-0	.911*E-7	.000*E-0	.000*E-0
+332.00	.000*E-0	.191*E-6	.274*E-6	.679*E-6	.170*E-5	.139*E-5	.000*E-0	.222*E-6	.000*E-0	.342*E-7
+332.00	.000*E-0	.120*E-6	.163*E-6	.000*E-0	.107*E-5	.242*E-5	.513*E-6	.000*E-0	.218*E-7	.000*E-0
+249.00	.911*E-7	.000*E-0	.234*E-5	.000*E-0	.578*E-5	.507*E-5	.365*E-5	.000*E-0	.172*E-6	.000*E-0
+249.00	.000*E-0	.117*E-5	.000*E-0	.642*E-5	.448*E-5	.652*E-5	.000*E-0	.120*E-5	.000*E-0	.000*E-0
+166.00	.273*E-6	.173*E-5	.601*E-5	.901*E-5	.994*E-5	.106*E-4	.786*E-5	.320*E-5	.939*E-6	.118*E-6
+083.00	.106*E-5	.733*E-5	.126*E-4	.201*E-4	.211*E-4	.159*E-4	.102*E-4	.108*E-5	.435*E-6	.202*E-7
+000.00	.107*E-5	.694*E-5	.149*E-4	.243*E-4	.244*E-4	.222*E-4	.172*E-4	.270*E-5	.437*E-6	.170*E-6

BLATT NR.: 319,321,325,323 DATUM: 14.03.84

841

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=2000 M. SCHORNSTEIN (H=140 M)
300 M IM LEE VOM KUEHLTURM. KUEHLTURM
IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M^2)

BEI Z= BEI Y=
(M) (M)

-332.00 -249.00 -166.00 -083.00 +000.00 +083.00 +166.00 +249.00 +332.00 +415.00

+830.00	.120*E-6	.546*E-6	.170*E-5	.000*E-0	.219*E-5	.000*E-0	.111*E-5	.000*E-0	.546*E-7	.000*E-0
+830.00	.000*E-0	.765*E-6	.222*E-5	.245*E-5	.000*E-0	.200*E-5	.000*E-0	.950*E-6	.000*E-0	.437*E-7
+747.00	.000*E-0	.138*E-5	.296*E-5	.370*E-5	.397*E-5	.359*E-5	.000*E-0	.100*E-5	.000*E-0	.539*E-7
+747.00	.614*E-6	.166*E-5	.318*E-5	.000*E-0	.393*E-5	.419*E-5	.188*E-5	.000*E-0	.172*E-6	.000*E-0
+664.00	.546*E-6	.000*E-0	.365*E-5	.000*E-0	.507*E-5	.456*E-5	.321*E-5	.000*E-0	.251*E-6	.000*E-0
+664.00	.000*E-0	.275*E-5	.000*E-0	.550*E-5	.490*E-5	.496*E-5	.000*E-0	.167*E-5	.000*E-0	.437*E-7
+581.00	.776*E-6	.283*E-5	.555*E-5	.488*E-5	.534*E-5	.542*E-5	.329*E-5	.138*E-5	.269*E-6	.323*E-7
+498.00	.415*E-6	.206*E-5	.485*E-5	.397*E-5	.288*E-5	.430*E-5	.397*E-5	.183*E-5	.185*E-6	.546*E-7
+415.00	.140*E-6	.173*E-5	.192*E-5	.270*E-5	.302*E-5	.359*E-5	.182*E-5	.334*E-6	.539*E-7	.215*E-7

BLATT NR.: 311,313,317,315 DATUM: 14.03.84

841

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=2000 M. SCHORNSTEIN (H=140 M)

300 M IN LEE VOM KUEHLTURM. KUEHLTURM

IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M²)

BEI Z= BEI Y=

(M) (M)

-332.00 -249.00 -166.00 -083.00 +000.00 +083.00 +166.00 +249.00 +332.00 +415.00

+415.00	.202*E-7	.465*E-6	.952*E-6	.000*E-0	.180*E-5	.000*E-0	.192*E-5	.000*E-0	.709*E-7	.000*E-0
+415.00	.000*E-0	.231*E-6	.128*E-5	.149*E-5	.000*E-0	.189*E-5	.000*E-0	.242*E-6	.000*E-0	.243*E-7
+332.00	.000*E-0	.150*E-6	.810*E-6	.149*E-5	.152*E-5	.155*E-5	.000*E-0	.160*E-6	.000*E-0	.543*E-7
+332.00	.000*E-0	.120*E-6	.994*E-6	.000*E-0	.151*E-5	.113*E-5	.535*E-6	.000*E-0	.437*E-7	.000*E-0
+249.00	.405*E-7	.000*E-0	.354*E-6	.000*E-0	.177*E-5	.853*E-6	.445*E-6	.000*E-0	.405*E-7	.000*E-0
+249.00	.000*E-0	.181*E-6	.000*E-0	.122*E-5	.115*E-5	.829*E-6	.000*E-0	.130*E-6	.000*E-0	.293*E-7
+166.00	.546*E-7	.192*E-6	.502*E-6	.101*E-5	.710*E-6	.661*E-6	.502*E-6	.235*E-6	.546*E-7	.330*E-7
+083.00	.810*E-7	.444*E-6	.486*E-6	.116*E-5	.663*E-6	.505*E-6	.314*E-6	.698*E-7	.303*E-7	.334*E-7
+000.00	.765*E-7	.384*E-6	.448*E-6	.863*E-6	.535*E-6	.533*E-6	.437*E-6	.969*E-7	.437*E-7	.330*E-7

BLATT NR.: 206,208,210,208 DATUM: 30.01.84

841

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=3000 M.SCHORNSTEIN (H=140 M)

300 M IM LEE VOM KUEHLTURM.KUEHLTURM

NICHT IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/r^2)

BEI Z= BEI Y=

(M) (M)

-375.00 -250.00 -125.00 +000.00 +125.00 +250.00 +375.00 +500.00

+875.00	.000*E-0	.000*E-0	.158*E-6	.100*E-6	.527*E-7	.503*E-7	.000*E-0	.000*E-0
+750.00	.123*E-6	.000*E-0	.184*E-6	.000*E-0	.123*E-6	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0
+625.00	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.105*E-6	.000*E-0	.527*E-7	.000*E-0
+625.00	.000*E-0	.000*E-0	.100*E-6	.100*E-6	.000*E-0	.151*E-6	.000*E-0	.000*E-0
+500.00	.000*E-0	.000*E-0	.000*E-0	.123*E-6	.263*E-6	.184*E-6	.000*E-0	.123*E-6
+500.00	.615*E-7	.184*E-6	.615*E-7	.000*E-0	.184*E-6	.503*E-7	.615*E-7	.000*E-0
+375.00	.527*E-7	.000*E-0	.474*E-6	.000*E-0	.843*E-6	.369*E-6	.105*E-6	.000*E-0
+375.00	.000*E-0	.201*E-6	.000*E-0	.704*E-6	.861*E-6	.251*E-6	.000*E-0	.503*E-7
+250.00	.676*E-6	.104*E-5	.270*E-5	.473*E-5	.461*E-5	.209*E-5	.861*E-6	.184*E-6
+125.00	.110*E-5	.483*E-5	.854*E-5	.105*E-4	.712*E-5	.256*E-5	.738*E-6	.251*E-6
+000.00	.264*E-5	.799*E-5	.145*E-4	.198*E-4	.127*E-4	.319*E-5	.129*E-5	.369*E-6

KENNZAHL: BAND MC/SEITE 1/AUSF.1/070284/061255

BLATT NR.: 207,209,211,209 DATUM: 30.01.84

341

KFK-NESTER

STACKFAKTOR BEI X=3000 M. SCHORNSTEIN (H=140 M)

300 M IM LEE VOM KUEHLTURM. KUEHLTURM

IN BETRIEB

ERGEBNISTABELLE

STACKFAKTOR (1/M²)

BEI Z= BEI Y=

(M) (M)

-375.00 -250.00 -125.00 +000.00 +125.00 +250.00 +375.00 +500.00

+875.00	.421*E-6	.181*E-5	.253*E-5	.266*E-5	.232*E-5	.171*E-5	.632*E-6	.151*E-6
+750.00	.582*E-6	.205*E-5	.338*E-5	.338*E-5	.297*E-5	.235*E-5	.699*E-6	.120*E-6
+625.00	.316*E-6	.168*E-5	.258*E-5	.000*E-0	.274*E-5	.000*E-0	.474*E-6	.000*E-0
+625.00	.000*E-0	.191*E-5	.256*E-5	.181*E-5	.000*E-0	.221*E-5	.000*E-0	.100*E-6
+500.00	.000*E-0	.151*E-5	.193*E-5	.102*E-5	.843*E-6	.114*E-5	.000*E-0	.604*E-7
+500.00	.174*E-6	.151*E-5	.244*E-5	.000*E-0	.110*E-5	.855*E-6	.291*E-6	.000*E-0
+375.00	.105*E-6	.000*E-0	.685*E-6	.000*E-0	.369*E-6	.181*E-6	.527*E-7	.000*E-0
+375.00	.000*E-0	.201*E-6	.000*E-0	.805*E-6	.524*E-6	.151*E-6	.000*E-0	.503*E-7
+250.00	.174*E-6	.362*E-6	.641*E-6	.724*E-6	.641*E-6	.422*E-6	.174*E-6	.128*E-6
+125.00	.105*E-6	.251*E-6	.580*E-6	.553*E-6	.474*E-6	.201*E-6	.105*E-6	.503*E-7
+000.00	.174*E-6	.362*E-6	.699*E-6	.845*E-6	.641*E-6	.241*E-6	.174*E-6	.120*E-6

KENNZAHL: BAND MC/SEITE 1/AUSF.1/000234/002306