

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM  
KARLSRUHE**

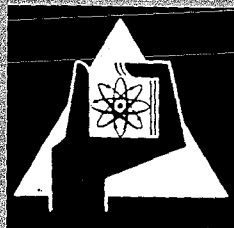
Dezember 1971

KFK 1501

Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik

Untersuchung von Individual- und Populations-Ausbreitungsfaktoren  
für mögliche Reaktorstandorte am Rhein  
von Karlsruhe (Flußkilometer 360) bis Mannheim (Flußkilometer 430)

A. Bayer



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.

KARLSRUHE

Als Manuskript vervielfältigt

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.  
KARLSRUHE

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Dezember 1971

KFK 1501

Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik

Untersuchung von  
Individual- und Populations-Ausbreitungsfaktoren  
für mögliche Reaktorstandorte am Rhein  
von Karlsruhe (Flußkilometer 360)  
bis Mannheim (Flußkilometer 430)

A. Bayer

Gesellschaft für Kernforschung mbH., Karlsruhe



## Übersicht

Der Verlauf des Oberrheins zwischen Karlsruhe und Mannheim wird unter dem Gesichtspunkt atmosphärischer Ausbreitungsvorgänge als Gebiet möglicher Standorte für Kernkraftwerke untersucht. Die angenommene Abluftquelle mit den Kaminhöhen  $H = 0$  m, 50 m und 100 m wird längs des Flusses verschoben und für Standorte mit Abständen von 1 km die windrichtungsabhängigen Individual- und Populations-Ausbreitungsfaktoren berechnet. Es werden Normal- und Inversions-Wetterlagen sowie Kurzzeit-, Langzeit- und Dauer-Ausbreitungen angenommen. Die Ergebnisse werden dargestellt und diskutiert, wobei der Vergleich zwischen den Standorten Philippsburg und Ludwigshafen - BASF im Vordergrund steht. Es zeigt sich, daß die Populations-Ausbreitungsfaktoren für den Standort Ludwigshafen - BASF um etwa dem Faktor 10 über denen des Standorts Philippsburg liegen. Schließlich wird vorgeschlagen, die maximalen Ausbreitungsfaktoren bei Inversionswetter und Langzeitausbreitung zur Charakterisierung von Standorten zu verwenden.

## Abstract

Under the aspect of atmospheric dispersion the Upper Rhine between Karlsruhe and Mannheim is considered as an appropriate district for reactor sites. Sources with heights of  $H = 0$  m, 50 m and 100 m are placed along the river at a distance of 1 km. The individual and population dispersion factors dependent on the direction of the wind are calculated for normal weather conditions as well as inversion, taking into account short, prolonged and continuous release. The results are presented and discussed with emphasis on the two sites of Philippsburg and Ludwigshafen - BASF. It is shown that the population dispersion factor of Ludwigshafen - BASF is about 10 times higher than that of Philippsburg. It is proposed to use the maximum dispersion factor resulting from inversion weather and prolonged release to characterize reactor sites.



### Liste der Symbole

$J$ [ $\overline{\text{m}^{-3} \cdot \text{sec}}$ ]	= Ausbreitungsfaktor
$J_I$ [ $\overline{\text{m}^{-3} \cdot \text{sec}}$ ]	= Individual-Ausbreitungsfaktor
$J_p$ [ $\overline{\text{man} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{sec}}$ ]	= Populations-Ausbreitungsfaktor
$I$ [ $\overline{\text{rem}}$ ]	= Dosis
$I_I$ [ $\overline{\text{rem}}$ ]	= Individual-Dosis
$I_p$ [ $\overline{\text{man} \cdot \text{rem}}$ ]	= Populations-Dosis
$N$	= Normal-Wetterlage
$I$	= Inversions-Wetterlage
$M$	= Wetter mittlerer Zusammensetzung
$K$	= Kurzzeit-Ausbreitung
$L$	= Langzeit-Ausbreitung
$D$	= Dauer-Ausbreitung
00	= 0 m Höhe
05	= 50 m Höhe
10	= 100 m Höhe

## Inhalt

	Seite
1. Einleitung	1
2. Standort und Radiologische Belastung der Umgebungs- bevölkerung	3
3. Auswahl und Beschreibung des Standortgebiets	5
4. Meteorologie und Emission	6
4.1 Der atmosphärische Ausbreitungsvorgang	6
4.2 Meteorologie des Standortgebiets	9
4.3 Diskussion des meteorologischen Konzepts	11
4.4 Emissionsdauer und Ausbreitungsfaktoren	12
5. Berechnung der Ausbreitungsfaktoren	14
5.1 Erfassung der Daten	14
5.2 Auswertung der Daten	16
6. Ergebnisse und Diskussion	19
6.1 Ergebnisse	19
6.2 Vergleich von Standorten	24
6.3 Vorschlag für eine einfache quantitative Bewertung von Reaktorstandorten	26
7. Schlußbemerkung	28
A. Anhang	29
A.1 Ausbreitungsfaktor und Windgeschwindigkeit	29
A.2 Populations-Ausbreitungsfaktor und Integrationsgrenze	30
A.3 Probleme des Auswerteverfahrens	32
Literatur	38
Tabellen	
Abbildungen	



## 1. Einleitung

Je mehr man in der Entwicklung der Kernkraftwerke von den Demonstrationskraftwerken geringer Leistung, welche unabhängig von den Schwerpunkten des Stromverbrauchs in relativ dünn besiedelten Gebieten errichtet wurden, übergeht zu Leistungskraftwerken mit Einheiten bis über 1000 MWe, desto mehr sucht man auch die Nähe von Verbraucherzentren, um die Transmissionskosten niedrig zu halten. Einen Überblick über die deutschen Verhältnisse gibt WIRTZ [1]. Aus der angegebenen Statistik, die über ein Jahrzehnt deutscher Reaktorentwicklung umfaßt, geht für den Typ der Leichtwasserreaktoren hervor, daß im Laufe dieses Zeitraums die Leistung pro Einheit stetig anwuchs und man parallel dazu in immer dichter besiedelte Gebiete vordrang. Dieser Trend, Kernkraftwerke in unmittelbarer Nähe von Verdichtungsräumen und Ballungszentren zu errichten, wird vor allem von der chemischen Industrie gefördert, für die nach WINNACKER [2] neben der Stromerzeugung auch die Lieferung von Prozessdampf und im speziellen Fall der eisenerzeugenden Industrie die Lieferung von Heißgasen aus Hochtemperaturreaktoren interessant ist. Da eine möglichst verlustfreie Transmission dieser Wärmeenergieträger nur über kurze Abstände möglich ist, müssen diese Kernkraftwerke praktisch auf dem Werksgelände des Verbrauchers errichtet werden. Diese Standorte sind dann meistens ausgesprochene Stadtstandorte, wie das Beispiel des Standorts der BASF, für den bereits um eine Genehmigung nachgesucht wurde, am Rand der Doppelstadt Ludwigshafen - Mannheim zeigt.

Hand in Hand mit dieser Entwicklung ging die Diskussion um die mit Standorten verbundenen Probleme sowie um Kriterien für eine Beurteilung von Standorten. Diese Probleme werden unter dem Gesichtspunkt der "Gefährdung des Reaktors durch die Umgebung", z. B. durch Einwirkungen der Natur (Hochwasser, Erdbeben etc.) und durch Einwirkungen von Menschen (Flugzeugabsturz, Explosion, Sabotage, Piraterie) und unter dem Gesichtspunkt der "Gefährdung der Umgebung durch den Reaktor", z. B. der Gefährdung der Umgebung (Grundwasser, Flußtemperatur, Bonität der Landschaft) und der Umgebungsbevölkerung durch radiologische Einwirkungen gesehen. Von

beiden Gesichtspunkten gilt die zweite Gefährdungsgruppe als die wichtigere und davon wird wiederum die mögliche Gefährdung der Umgebungsbevölkerung als das größte Problem betrachtet. Zwar wird, je mehr von der technischen Seite das "Standortunabhängige Kernkraftwerk" angestrebt wird, das sowohl bei Normalbetrieb als auch bei Störfällen praktisch keine radioaktive Abluft an die Umgebung abgibt, gerade diese Frage eine immer geringere Rolle spielen. Doch wird man sich auch in Zukunft, wo eine Abgabe radioaktiver Abluft nicht mit völliger Sicherheit auszuschließen ist, mit der Frage befassen, welches Risiko dieser radioaktive Ausfluß für die Umgebungsbevölkerung darstellt.

## 2. Standort und Radiologische Belastung der Umgebungsbevölkerung

Treten bei einem Kernkraftwerk atmosphärische Ausflüsse radioaktiver Substanzen auf, so werden diese durch die gerade herrschenden Winde in den Bereich der Wohnbevölkerung getragen und stellen für diese eine Belastung dar. Dieser atmosphärische Ausbreitungsvorgang wird durch einen Ausbreitungsfaktor  $J(x, y) \text{ [m}^{-3} \cdot \text{sec]}$  beschrieben, der für einen bestimmten Ort  $X(x, y)$  im Lee der Abluftquelle das zeitliche Konzentrationsintegral einer Einheitsquelle angibt.

Für jede Wohnsiedlung (Dorf, Stadtteil) im Bereich dieser Abluftwolke läßt sich demnach ein entsprechender Ausbreitungsfaktor angeben. Der dabei auftretende maximale Wert gilt also für die Individuen jener Wohnsiedlung, in der die größte Konzentration auftritt. Er wird im folgenden Individual-Ausbreitungsfaktor  $J_I \text{ [m}^{-3} \cdot \text{sec]}$  bezeichnet. Wichtet man die entsprechenden örtlichen Ausbreitungsfaktoren mit der jeweiligen Bevölkerungszahl und summiert diese Produkte über den Bereich der Abluftwolke auf, so erhält man den entsprechenden Populations-Ausbreitungsfaktor  $J_p \text{ [man} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{sec]}$  für die gesamte Abluftwolke.

Nimmt man einen aus der Abluftquelle austretenden radioaktiven Gefährdungsausfluß  $G_e \text{ [rem} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}\text{]}$  an, der sich multiplikativ aus dem Aktivitätsausfluß  $A_e \text{ [C]}$  und dem Dosisfaktor  $g \text{ [rem} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{C}^{-1} \cdot \text{sec}^{-1}\text{]}$  zusammensetzt, so erhält man entsprechend die Individual-Dosis  $I_I \text{ [rem]}$  und die Populations-Dosis  $I_p \text{ [man} \cdot \text{rem]}$

$$I_I = G_e \cdot J_I \quad (2. -1)$$

$$I_p = G_e \cdot J_p \quad (2. -2)$$

Für beide Dosen, welche die radiologische Belastung der Bevölkerung beschreiben, sieht der Gesetzgeber Grenzwerte vor, von denen keiner überschritten werden darf. Der "Maximal erlaubte Gefährdungsausfluß" orientiert sich demnach an dem Wert, der als erster erreicht wird. Somit charakterisieren beide Dosiswerte oder, losgelöst vom reaktor- und unfallabhängigen Gefährdungsausfluß  $G_e$ , beide Ausbreitungsfaktoren den Standort eines Kernkraftwerks.

Eine Studie über Individual- und Populations-Ausbreitungsfaktoren und ihren Vergleich wurde bereits in einer früheren Arbeit [3] durchgeführt, doch hatte diese vorwiegend prinzipiellen Charakter. So wurden lediglich für einfache Gegebenheiten (konstante Bevölkerungsdichte, geballte Bevölkerungsdichte etc.) Untersuchungen angestellt, nicht jedoch für eine reale Landschaft, die meist eine Überlagerung dieser Fälle darstellt.

In diesem Bericht soll nun für eine derartige Landschaft, nämlich für einen Teilabschnitt des Oberrheins von Karlsruhe bis Mannheim, eine entsprechende Studie durchgeführt werden. Im Vordergrund steht dabei der Wunsch festzustellen, in welcher Größenordnung sich der vieldiskutierte Unterschied zwischen Stadtstandort und ländlichem Standort manifestiert. Dieser Gesichtspunkt ist auch im Lichte des inzwischen genehmigten Kernkraftwerks Biblis, das zwischen dem Rhein-Main-Ballungszentrum und dem Rhein-Neckar-Ballungszentrum liegt, und des ebenfalls genehmigten Kernkraftwerks Philippsburg, das zwischen dem Rhein-Neckar-Ballungszentrum und der Großstadt Karlsruhe liegt, sowie der bisher noch nicht erteilten Baugenehmigung für das Kernkraftwerk der BASF (Stand: Herbst 1971), das im Norden der Doppel-Großstadt Ludwigshafen - Mannheim errichtet werden soll, zu sehen.

Weiterhin sollen die Unterschiede zwischen den anzuwendenden Ausbreitungsfaktoren bei Normalbetrieb und für die Abschätzung bei Unfallsituationen untersucht werden. Schließlich soll unter diesen Gesichtspunkten ein Verfahren gefunden werden, um Standorte in einfacher und übersichtlicher Weise vergleichen zu können.

### 3. Auswahl und Beschreibung des Standortgebiets

Als Gebiet möglicher Standorte wurde für diese Studie ein begrenztes Teilstück des Oberrheins von Flußkilometer 360 (nördlich der Einfahrt zum Karlsruher Hafen) bis Flußkilometer 430 (nördlich der Mündung des Neckars in den Rhein bei Mannheim) gewählt (Abb.1). In diesem Bereich ist der Rhein bereits ein Kühlwasserreservoir mit großer Wasserführung (über 1000 m<sup>3</sup>/sec). Außerdem liegt hier ein klimatologisch zusammenhängendes Gebiet vor, so daß einfache gemittelte meteorologische Annahmen zur Berechnung ausreichen. Schließlich ist dieses Gebiet für Standorte von Kernkraftwerken interessant, wie bereits die Wahl des Standorts Philippsburg zeigte [4].

Das genannte Gebiet umfaßt das Rheintal, das hier etwa in Richtung NNO bis N verläuft, auf etwa 60 km Luftlinie. Zu beiden Seiten des Rheins dehnt sich fast symmetrisch die Talebene mit einer Breite von ca. 50 km aus. Sie wird linksrheinisch durch den Pfälzerwald und rechtsrheinisch durch das Kraichgauer Hügelland und den Odenwald begrenzt. Im Süden liegt die Großstadt Karlsruhe (250 000 E), während sich im Norden das Ballungszentrum Mannheim (330 000 E) - Ludwigshafen (170 000 E) - Heidelberg (120 000 E) ausbreitet. Das Gebiet, dessen Bevölkerungsdichte über dem Durchschnitt der BRD liegt, wird von wichtigen Verkehrswegen durchzogen.

#### 4. Meteorologie und Emission

##### 4.1 Der atmosphärische Ausbreitungsvorgang

Der atmosphärische Ausbreitungsvorgang wird von verschiedenen Modellen beschrieben, die, wie in einer früheren Arbeit [5] bereits gezeigt wurde, sich nicht wesentlich voneinander unterscheiden. Im folgenden stützen wir uns auf den Ausbreitungsfaktor nach SUTTON [6]. Dieser Ausbreitungsfaktor beschreibt im Lee der Abluftquelle (positive x-Achse) das von der Einheitsquelle herrührende zeitliche Konzentrationsintegral am Ort X(x, y).

$$J(x, y) = \frac{2}{\pi \cdot C_y \cdot C_z \cdot u \cdot x^{2-n}} \cdot \exp \left\{ - \frac{1}{x^{2-n}} \left( \frac{y^2}{C_y^2} + \frac{H^2}{C_z^2} \right) \right\} \quad (4.1-1)$$

dabei sind:

- J = Ausbreitungsfaktor [m<sup>-3</sup> · sec]
- x, y = Koordination des Beobachters am Boden (z = 0) [m]
- H = Höhe der Quelle über dem Boden [m]
- u = Windgeschwindigkeit [m · sec<sup>-1</sup>]
- n = Turbulenzparameter (meteorologischer Exponent)
- C<sub>y</sub>, C<sub>z</sub> = Diffusionsparameter [m<sup>n/2</sup>]

Diese Formel gilt für eine in der Quellhöhe H ruhig ausfließende Abluft, welche im wesentlichen die gleichen physikalischen Eigenschaften besitzt wie die umgebende Atmosphäre. Entsprechende Korrekturen, welche die Austrittsgeschwindigkeit und die Wärmeenergie der Wolke sowie die Eigenerhitzung durch radioaktiven Zerfall berücksichtigen und die im folgenden unbeachtet bleiben, sind bei GIFFORD [7] zusammengestellt.

Für Kurzzeitausbreitung, d.h. bei fester Windrichtung, sind bei BLÄSSER und WIRTZ [8] für Normal- und Inversionswetter (Temperaturumkehr) die entsprechenden Parameter für die obige Formel angegeben, die für den Fall schwankender Windrichtung erweitert wurden [3]. Sie sind in nachfolgender Übersicht zusammengefaßt.

In Abb. 2a und 2b sind die Ausbreitungsfaktoren für Orte, die sich genau in der Achse der Abluftfahne (y = 0) befinden, dargestellt, und zwar bei Normalwetter N und bei Inversionswetter I. Dabei wurden jeweils die entspre-

Turbulenz- und Diffusionsparameter bei verschiedenen Wetterlagen

	Turbulenz- parameter n	Diffusionsparameter		
		Vertikal $C_z$	Horizontal $C_y$	
			Kurzzeit	Langzeit
Normalwetter	0,25	0,23 m <sup>1/8</sup>	0,23 m <sup>1/8</sup>	0,83 m <sup>1/8</sup>
Inversionswetter	0,50	0,06 m <sup>1/4</sup>	0,10 m <sup>1/4</sup>	0,39 m <sup>1/4</sup>

chenden Parameter für Kurzzausbreitung K und Langzausbreitung L benutzt. Es wurde eine Windgeschwindigkeit von  $u = 1$  m/sec angenommen. Die Höhe der Abluftquelle wurde jeweils zu  $H = 0$  m, 50 m und 100 m angenommen.

Aus den Darstellungen geht hervor, daß für eine Quellhöhe  $H = 0$  m bei einer Entfernung von  $x = 1000$  m folgende Verhältnisse gelten:

$$\begin{array}{ll}
 J(I, K) / J(N, K) = 49,7 & I = \text{Inversionswetter} \\
 J(I, L) / J(N, L) = 45,8 & N = \text{Normalwetter} \\
 J(I, K) / J(I, L) = 3,9 & K = \text{Kurzzausbreitung} \\
 J(N, K) / J(N, L) = 3,6 & L = \text{Langzausbreitung}
 \end{array}$$

Aus diesem Vergleich für den Nahbereich geht hervor, daß bei Inversionswetter in der Achse der Abluffahne ein sich ca. 50mal höherer Ausbreitungsfaktor einstellt als bei Normalwetter, was u.a. auf die relativ geringe Breite dieser Abluftwolke gegenüber der bei Normalwetter zurückzuführen ist. Weiterhin zeigt sich, daß bei Auftreten von Windschwankungen bei beiden Fällen eine Reduzierung des Ausbreitungsfaktors um etwa den Faktor 4 auftritt.

Ein Anheben der Quellhöhe  $H$  führt, wie aus den Darstellungen ersichtlich, zu einer Abnahme des Ausbreitungsfaktors im Nahbereich der Quelle. Im Fernbereich verschwinden die Unterschiede. Dieser Effekt läßt sich durch eine Halbwertsdistanz  $x_H$  charakterisieren, die jene Entfernung angibt, bei der die Wirkung der Quellerhöhung bereits so reduziert ist, daß der Zahlenwert des entsprechenden Ausbreitungsfaktors 50 % des entsprechenden Zahlenwerts bei einer Quellhöhe  $H = 0$  m erreicht hat.

Aus obiger Formel läßt sich ableiten

$$x_H = \left( \frac{H}{C_z} \right)^{\frac{2}{2-n}} \cdot \left( \frac{1}{\ln 2} \right)^{\frac{1}{2-n}} \quad (4.1-2)$$

Nach Einsetzen der obigen Parameter erhält man folgende Zahlenwerte:

Halbwertsdistanz  $x_H$  bei verschiedenen Wetterlagen und Kaminhöhen

	$x_H$ [ m ]	
	H = 50 m	H = 100 m
Normalwetter	750 m	1 300 m
Inversionswetter	9 700 m	12 500 m

Es zeigt sich, daß eine Quellerhöhung bei Inversionswetter eine etwa 10fach größere Wirkung hat als bei Normalwetter.

Die erhaltenen Zahlenwerte stimmen gut überein mit der in einer früheren Arbeit im Zusammenhang mit dem Populations-Ausbreitungsfaktor abgeleiteten "Kaminersparnis  $x_K$ " [ 3 ], für die empirisch folgender Ausdruck gefunden wurde

$$x_K = \left( \frac{H}{C_z} \right)^{\frac{2}{2-n}} \cdot 2^n \quad (4.1-3)$$

Neben dem bisher behandelten Fall, daß sich der Beobachtungsort in der Abluftfahne der Quelle befindet, spielt bei der Beobachtung des Ausbreitungsfaktors über sehr lange Zeiten hinweg die Drehung des Windes eine Rolle.

Für den sehr einfachen Fall einer isotropen Windrose und sonst gleichbleibenden Parametern läßt sich ein Dauer-Ausbreitungsfaktor wie folgt definieren:

$$J(r) \approx \frac{1}{2\pi r} \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} J(x=r, y) dy$$

$$= \frac{1}{\pi^{3/2} \cdot C_z \cdot u \cdot r^{\frac{4-n}{2}}} \cdot \exp \left\{ - \frac{1}{r^{2-n}} \cdot \left( \frac{H}{C_z} \right)^2 \right\} \quad (4.1-4)$$

$r$  = Abstand des Beobachters ( $z=0$ ) vom Fußpunkt der Abluftquelle [ m ],  
alle übrigen Parameter wie oben.

Die tatsächlichen Verhältnisse sind jedoch komplizierter. So müssen bei der Berechnung des Dauer-Ausbreitungsfaktors im Unterschied zu den beiden oben definierten Faktoren die Wahrscheinlichkeitsverteilungen folgender meteorologischer Gegebenheit vorliegen:



1. Wahrscheinlichkeit, mit der bestimmte Wetterlagen WL auftreten

$$W_{WL}$$

2. Wahrscheinlichkeit, mit der bei vorgegebenen Wetterlagen WL sich bestimmte Windrichtungen WR einstellen

$$W_{WR} (WL)$$

3. Wahrscheinlichkeit von Windgeschwindigkeiten WG bei vorgegebenen Wetterlagen WL und Windrichtungen WR

$$W_{WG} (WL, WR)$$

Der Dauer-Ausbreitungsfaktor ist dann die Summe aller, mit den entsprechenden Wahrscheinlichkeiten gewichteten Ausbreitungsfaktoren

$$J(x, y) = \left\{ \sum_{WL} W_{WL} \cdot \left\{ \sum_{WR} W_{WR} \cdot \left\{ \sum_{WG} W_{WG} \cdot J(x, y, WL, WR, WG) \right\} \right\} \right\} \quad (4.1-5)$$

#### 4.2 Meteorologie des Standortgebiets

Die Oberrheinische Tiefebene von Karlsruhe bis Mannheim ist klimatologisch ein einheitliches Gebiet, abgesehen von Unterschieden, die nicht sehr ins Gewicht fallen. So wird z. B. das Wetter um Karlsruhe mehr durch die Zaberner Senke zwischen Vogesen und Pfälzerwald beeinflusst, während das Gebiet um Mannheim durch den Odenwald und das Neckartal bestimmt wird.

Eine Wahrscheinlichkeitsverteilung der meteorologischen Gegebenheiten, so wie sie oben gefordert wurde, liegt im allgemeinen nicht vor, so auch nicht für das ins Auge gefaßte Gebiet der Oberrheinischen Tiefebene. Man wird deshalb versuchen, aus den vorliegenden meteorologischen Daten einen Satz von Wahrscheinlichkeiten zusammenzustellen.

#### Wetterlage

Im folgenden sei weiterhin zwischen Normal- und Inversionswetter unterschieden.

Karlsruhe :

TRAPPENBERG [ 9 ] hat auf Grund von Ballonaufstiegen in der Rheinebene

bei Karlsruhe beobachtet, daß Hochdrucklagen häufig mit Inversionswetterlagen verbunden sind. Das Auftreten von Bodeninversionen zur Nachtzeit wird mit einem Anteil von über 65 % geschätzt. Diese Bodeninversionen werden über Tag meist beseitigt. Ihr Anteil bei Tageszeit beträgt in den Wintermonaten noch 10 % und in den Sommermonaten noch 1 %. Wird für die Frühlings- und Herbstmonate für die Tageszeit ein Übergangswert von 5 % angenommen, so läßt sich überschlagsmäßig ermitteln, daß Hochwetterlagen zu 35 % von Inversionen begleitet werden. Über Inversionswetter bei Niederdrucklagen fehlen entsprechende Zahlenangaben.

Mannheim :

Für die Rheinebene bei Mannheim wurde auf Grund von Vergleichsmessungen zwischen Heidelberg und Königsstuhl der prozentuale Anteil von Inversionswetterlagen an der Gesamtzeit mit 12 % ermittelt  $\left[ \overline{10} \right]$ .

Für die Auswertung des Raumes Karlsruhe - Mannheim wurde der Anteil von Normalwetter zu 80 % und der von Inversionswetter zu 20 % angenommen.<sup>+)</sup>

#### Windrichtung und Windgeschwindigkeit

Beide meteorologischen Größen werden gewöhnlich nicht in Abhängigkeit von der Wetterlage beobachtet, so daß über alle Wetterlagen nur gemittelte Daten vorliegen. Zu beachten ist, daß entsprechend den meteorologischen Gepflogenheiten als Windrichtung jene Richtung bezeichnet wird, aus der der Wind kommt.

Karlsruhe :

Für den Raum Karlsruhe liegen Daten für eine 16teilige Windrose von MALSCH  $\left[ \overline{11} \right]$  vor, die von einer 20 m hohen Beobachtungsstation aus gewonnen wurden. Sie sind in Tab.1 aufgeführt und in Abb.3 dargestellt.

---

<sup>+)</sup>  In einem Internen Bericht des Kernforschungszentrums Karlsruhe (NESTER, 1971), der erst nach Fertigstellung dieses Berichts zur Kenntnis des Autors gelangte, werden die über ein Jahr (1967/68) registrierten meteorologischen Daten nach den PASQUILLschen Wetterkategorien A-F analysiert. Die Analyse zeigt, daß die F-Kategorie, die der Inversionswetterlage entspricht, mit ca. 15 % und die E-Kategorie, die der Inversionswetterlage noch nahekommt, mit ca. 20 % auftritt. Dies bestätigt den oben angenommenen Anteil von 20 % Inversionswetterlage. Im übrigen werden in diesem Bericht die meteorologischen Daten in etwa so vorgelegt, wie sie in Abschnitt 4.1 gefordert werden.

Mannheim :

Für den Raum Mannheim liegen entsprechende Daten für eine 12teilige Windrose von v. KIENLE [12] vor. Die Beobachtungshöhe geht aus der Literatur nicht hervor. Diese Daten sind ebenfalls in Tab.1 eingetragen und in Abb.3 dargestellt. Um zu einem besseren Vergleich zu kommen, wurden die v. KIENLEschen Kurven durch Interpolation formell auf eine 16teilige Windrose erweitert. Die entsprechenden Daten sind ebenfalls in Tab.1 miteingearbeitet.

Aus den beiden dargestellten Windrosen geht hervor, daß sie sich nur unwesentlich unterscheiden. Beide Häufigkeitsverteilungen besitzen ein ausgeprägtes Maximum für S-SW-Winde. Auch die mittlere Windgeschwindigkeit ist näherungsweise die gleiche, womit die Aufstellung einer mittleren Windrose für den Raum Karlsruhe - Mannheim gerechtfertigt ist. Diese mittlere Windrose wurde in der Weise gebildet, daß in einem ersten Schritt bei den einzelnen Windrosen die entsprechenden Windstillen, die im allgemeinen meßtechnisch schwer erfassbare Windgeschwindigkeiten unter 0,5 m/sec betreffen, der Wind-Häufigkeitsverteilung entsprechend auf die Windrichtungen verteilt und die dazugehörigen mittleren Windgeschwindigkeiten entsprechend herabgesetzt wurden. Aus diesen beiden so umgearbeiteten Windrosen wurde dann durch einfache Mittelung die durchschnittliche Windrose gebildet. Diese ist ebenfalls in Tab.1 eingetragen und in Abb.3 dargestellt. Eine Bemerkung über die in die Ausbreitungsformel (4.1-1) einzusetzende Geschwindigkeit findet sich in Anhang A 1.

#### 4.3 Diskussion des meteorologischen Konzepts

Das hier dargestellte meteorologische Konzept ist mit einer Reihe von Unsicherheiten behaftet, die kurz diskutiert werden sollen.

Zunächst besteht die Frage, wie gut die Ausbreitungsvorgänge auch bei einfachen Fällen durch die benutzten Modelle beschrieben werden. Diese Frage wurde bereits früher ausführlich behandelt [5].

Weiterhin besteht die Frage, inwieweit durch aerodynamische Effekte, die von den Kernkraftwerkgebäuden hervorgerufen werden, die atmosphärische Diffusion und Turbulenz in der unmittelbaren Umgebung der Abluftquelle gegenüber dem vorgegebenen Modell verändert wird [13].

Eine spezielle Unsicherheit taucht schließlich bei Stadtlandschaften auf, wo die Frage entsteht, inwieweit die infolge von Hochhäusern und Abluftkaminen stark aufgeraute Oberfläche  $\overline{14}$  und inwieweit die thermische Abluftwolke, die eine Stadt als Ganzes erzeugt  $\overline{15}$ , die Ausbreitungsvorgänge beeinflussen werden. Da diese Punkte quantitativ noch nicht ausreichend geklärt sind, es aber auch unwahrscheinlich ist, daß hierdurch Fehler entstehen, die die Ergebnisse um Größenordnungen beeinflussen, bleibt ihr möglicher Einfluß unberücksichtigt.

Ein weiterer Diskussionspunkt ist die Tatsache, daß zwar innerhalb der Tiefebene eine etwa einheitliche Wetterlage herrscht, aber im Bereich der bergigen Randzonen Abweichungen von dieser Wetterlage durch bestimmte Strömungen innerhalb der vorhandenen Täler auftreten können. Da diese Randzoneneffekte aber erst in einer Entfernung von ca. 25 km vom Standort zum Tragen kommen, spielen sie im Gesamtkonzept, das später noch erläutert wird, eine untergeordnete Rolle.

#### 4.4 Emissionsdauer und Ausbreitungsfaktoren

Im folgenden soll eine kurze Anleitung gegeben werden, bei welchen Emissionsarten und Emissionsdauern welche Ausbreitungsfaktoren zur Anwendung gelangen. Dabei wird nach steigender Emissionsgröße vorgegangen.

##### Dauerausbreitung

Von Dauerausbreitung kann man sprechen, wenn sich die Emission über einen derart langen Zeitraum ausdehnt, daß praktisch alle Wetterlagen und Windrichtungen durchlaufen werden. Sie ist vor allem anwendbar auf die zur Zeit bei Normalbetrieb noch betriebsbedingte Daueremission radioaktiver Produkte. Bei diesen Gegebenheiten läßt sich für jeden Standort ein Populations-Ausbreitungsfaktor  $J_p(D)$  und ein maximaler Individual-Ausbreitungsfaktor  $J_I(D)$  angeben. Dieser Faktor  $J_I(D)$  muß auch für eine Emissionshöhe  $H = 0$  nicht notwendigerweise in der vom Standort her gesehenen nächstgelegenen Ortschaft auftreten, sondern tritt dort auf, wo sich bei entsprechender Kombination aus Häufigkeit, mittlerer Windgeschwindigkeit und Abstand der maximale Ausbreitungsfaktor einstellt.

### Kurzzeitausbreitung

Eine kurze Emission tritt in einem Kernkraftwerk z. B. dann auf, wenn ein Filter durch zerstörende Vorgänge, z. B. Brand, einen Teil seines Inhalts innerhalb weniger Minuten praktisch als "Paket" an die Luft abgibt. Für derart kurze Emissionszeiten bleiben Windschwankungen noch unberücksichtigt. Da derartige Ereignisse unerwartet eintreten, muß eine von der entsprechenden mittleren Geschwindigkeit abweichende Geschwindigkeit angenommen werden, und zwar konservativerweise eine geringere Geschwindigkeit. Bei einer mittleren Geschwindigkeit von ca. 2 m/sec erscheint eine Geschwindigkeit von 1 m/sec ausreichend konservativ. Zudem erlaubt die Wahl dieses Wertes ein leichtes Umrechnen für andere Geschwindigkeitswerte.

Für jeden angenommenen Standort gibt es eine kritische Windrichtung bezüglich des Individual-Ausbreitungsfaktors  $J_I(K)$ , der sich im Unterschied zu den Verhältnissen bei Dauerausbreitung stets in der nächstgelegenen Ortschaft einstellt, und eine kritische Windrichtung bezüglich des Populations-Ausbreitungsfaktors  $J_p(K)$ . Bei diesen kritischen Windrichtungen nehmen die Faktoren jeweils maximale Werte an. Beide kritischen Windrichtungen müssen nicht notwendigerweise übereinstimmen.

### Langzeitausbreitung

Bei Langzeitausbreitung, wenn im Verlauf von Stunden bis Tagen Wetterlage und Hauptwindrichtung konstant bleiben, sind die auftretenden Windschwankungen mit zu berücksichtigen. Dieser Fall tritt z. B. dann auf, wenn in der Anlage eine Freisetzung von Aktivitäten stattgefunden hat und diese dann verzögert über einen derart langen Zeitraum hinweg an die Umgebung abgegeben werden. Dies ist besonders bei großen Unfällen anzunehmen, wenn im Verlauf des angegebenen Zeitraums die durch den Unfall freigesetzte Aktivität teilweise an die Atmosphäre abgegeben wird.

Für diesen Fall gelten alle bereits bei der Kurzzeitausbreitung angestellten Überlegungen. Das heißt, es gibt auch hier für jeden Standort bezüglich der Ausbreitungsfaktoren  $J_I(L)$  und  $J_p(L)$  kritische Windrichtungen, bei denen die Faktoren maximale Werte annehmen. Diese Maximalwerte liefern nach Ansicht des Autors die beste Möglichkeit zu vergleichen, inwieweit sich Standorte in ihrem Gefährdungspotential bezüglich einer Einzelperson und der Gesamtbevölkerung unterscheiden.

## 5. Berechnung der Ausbreitungsfaktoren

### 5.1 Erfassung der Daten

#### Standorte

Als Gebiet möglicher Standorte wurde der Oberrhein von Flußkilometer 360 (Karlsruhe) bis Flußkilometer 430 (Mannheim) auf eine Flußlänge von 70 km herangezogen. Dabei wurde als Standort die Strommitte jeden Flußkilometers angenommen, insgesamt also 71 Standorte. Die Wahl der Flußmitte ist zwar vom baulichen Standpunkt her wenig sinnvoll, doch sind dadurch bei Verschiebungen des Standorts an das links- oder rechtsrheinische Ufer nur unwesentliche Änderungen in den weiter unten ermittelten Ergebnissen erforderlich. Zur Ermittlung der Flußkilometer und ihrer geographischen Lage dienten topographische Karten [16,17]. Jeder Standort wurde mit kartesischen x,y-Koordinaten erfaßt, wobei der Ursprung des aufgelegten Koordinatensystems in den Flußkilometer 360 gelegt wurde.

#### Meteorologie des Standortgebiets

Hier gilt das bereits in Abschnitt 4.2 Gesagte. Weiterhin wurde aus rechen-technischen Gründen durch einfache Interpolation die gemittelte 16teilige Windrose auf eine 36teilige Windrose erweitert.

#### Wohnbevölkerung

Zur Erfassung der Wohnbevölkerung wurden alle Wohnsiedlungen herangezogen, die innerhalb eines Bereichs von 30 km um die Standorte liegen. Das erfaßte Gebiet entspricht demnach zwei ca. 30 km breiten Streifen links und rechts des Rheins, die jeweils 30 km über die Flußkilometer 360 und 430 hinausreichen. Das gesamte Erfassungsgebiet wird in etwa durch die in Abb.1 gezeigte Landkarte wiedergegeben. Die erfaßte Wohnbevölkerung ist in Tab.2 zusammengestellt.

Als kartographisches Material zur Erfassung der geographischen Lage der Gemeinden wurden neben den genannten topographischen Karten [16,17], die nur einen schmalen Streifen zu beiden Seiten des Rheins erfassen, noch Straßenkarten [18] herangezogen. Die Bevölkerungszahl wurde den Statisti-

ken der betreffenden Landesämter entnommen  $\overline{[19, 20, 21, 22]}$ .

Bei größeren Städten, die nahe am Rhein liegen (Karlsruhe, Speyer, Mannheim und Ludwigshafen), wurde eine Aufgliederung in Stadtteile vorgenommen, soweit es die von den entsprechenden statistischen Ämtern vorgelegten Daten erlaubten  $\overline{[23, 24, 25, 26]}$ .

Nach diesem Verfahren wurden insgesamt über 1000 Ortschaften und Stadtteile erfaßt.

Die Begrenzung der detaillierten Erfassung der Wohnbevölkerung auf einen Bereich von 30 km beruht neben dem Gesichtspunkt eines vertretbaren Aufwands bei der Datenerfassung noch auf folgenden Überlegungen:

1. Bis zu einem Abstand von 30 km haben alle diskutierten Ausbreitungsfaktoren ihr Maximum bereits überschritten, so daß der maximale Individual-Ausbreitungsfaktor stets innerhalb des erfaßten Gebiets liegt.
2. Bei der Bildung des Populations-Ausbreitungsfaktors sind Wohnsiedlungen, die einen Quellabstand größer als 30 km besitzen, nicht mehr standortspezifisch, abgesehen von ausgesprochenen Metropolen. Ab diesem Abstand genügt es dann im allgemeinen, die in  $\overline{[3]}$  für homogene Besiedlung oder im extremen Fall von Metropolen für geballte Besiedlung abgeleiteten Faktoren anzuwenden. Der endgültige Populations-Ausbreitungsfaktor  $J_p$  ist dann die Summe aus den Anteilen des "Nahbereichs" und des "Fernbereichs"

$$J_p = J_p(x \leq 30 \text{ km}) + J_p(x > 30 \text{ km}).$$

Nahbereich                      Fernbereich

Die Frage, wie die Integrationsgrenzen bei der Bildung des Populations-Ausbreitungsfaktors zu legen sind, wird in Anhang A 2 erörtert.

Interessant ist in diesem Zusammenhang, daß ein Aktivitätsausfluß von  $A_e = 10^5 \text{ C } J^{131}$ , der bei der Diskussion großer Unfälle in der Regel als Beispiel gewählt wird  $\overline{[27]}$  und der bei einem Dosisfaktor  $g = 770 \text{ rem} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{C}^{-1} \cdot \text{sec}^{-1}$   $\overline{[28]}$  einen Gefährdungsausfluß von  $G_e = 7,7 \cdot 10^7 \text{ rem} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$  darstellt, bei der Inversionswetterlage unter Berücksichtigung von Windschwankungen in 30 km Entfernung eine Dosis von ca. 350 rem appliziert. Das heißt, erst außerhalb dieser 30-km-Zone wird die Unfall-Toleranzdosis für  $J^{131}$  von 250 rem unterschritten.

## 5.2 Auswertung der Daten

Die Auswertung der kompilierten Daten erfolgte über die Rechenanlagen der Datenverarbeitungszentrale des Kernforschungszentrums Karlsruhe (IBM 360/65-85).

Der Fluß des Programms MIPAF (Maximale Individual- und Populations-Ausbreitungsfaktoren), das zur Auswertung geschrieben wurde, kann an Hand des stark vereinfachten Flußdiagramms verfolgt werden (Abb. 4).

### Eingabedaten :

Es werden folgende Daten eingelesen und zur Kontrolle ausgedruckt

#### a) Reaktorstandorte

Flußkilometer	FS(I)
Standortbezeichnung	STAND(I)
Ortskoordinaten	XS(I), YS(I)

#### b) Wetterlagen

Häufigkeit der Wetterlagen	WWL
Vektorwinkel des Windes	PSI(J)
Häufigkeit der Windrichtungen	WWR(J)
mittlere Windgeschwindigkeiten	WG(J)

#### c) Wohnbevölkerung

Kennzahl des Ortes	KENN(K)
Ortsname	ORT(K)
Ortskoordinaten	XO(K), YO(K)
Einwohnerzahl	MO(K)

### Rechenschritte

Im Programm werden für alle Reaktorstandorte folgende Rechenschritte durchgeführt:

1. Es wird für jeden Reaktorstandort die Abluffahne in Winkelabständen von  $10^{\circ}$  über den vollen Bereich von  $360^{\circ}$  gedreht. Für jeden Winkel wird der maximal auftretende Individual-Ausbreitungsfaktor ermittelt sowie die Kennzahl der Gemeinde, in der dieser Faktor auftritt, festgehalten. Ebenso wird der entsprechende Populations-Ausbreitungsfaktor ermittelt und durch einen Index I gekennzeichnet, ob für diesen Winkel das Verhältnis der beiden Faktoren in folgenden Bereichen liegt:



$$I = 1 \quad \frac{250}{1\,000\,000} < J_I / J_p$$

$$I = 2 \quad \frac{25}{1\,000\,000} < J_I / J_p < 250/1\,000\,000$$

$$I = 3 \quad J_I / J_p < \frac{25}{1\,000\,000}$$

Dabei werden die Wetterlagen Normal- und Inversionswetter, Kurz- und Langzeitausbreitung sowie die Kaminhöhen  $H = 0$  m, 50 m und 100 m vorausgesetzt.

Rechentechnisch wird dies derart durchgeführt, daß die Koordinaten der Gemeinden durch Translation und Rotation derart transformiert werden, daß der betreffende Reaktorstandort in den Ursprung des Koordinatensystems zu liegen kommt und der Windvektor in die positive x-Achse fällt. In zwei Abfragen werden dann alle Orte, die sowohl im Lee der Abluffahne liegen, als auch nicht weiter als 30 km vom Reaktorstandort entfernt sind, erfaßt und der entsprechende Ausbreitungsfaktor berechnet.

2. Für jeden Standort werden im Verlauf der Rechnung, bei der jeweils 36 Werte für den Individual- und den Populations-Ausbreitungsfaktor anfallen, die mit den höchsten Zahlenwerten herausgesucht und mit der entsprechenden Windrichtung gekennzeichnet.
3. Parallel zu dem unter 1. geschilderten Vorgang werden alle Ergebnisse für Langzeitausbreitung mit den entsprechenden Häufigkeitswerten der Wetterlagen sowie den Häufigkeiten der betreffenden Windrichtung multipliziert und durch die entsprechende mittlere Windgeschwindigkeit dividiert. Nach Abarbeiten der 36 Windrichtungen werden durch Aufsummieren der so gewonnenen Zahlenwerte die entsprechenden Ausbreitungsfaktoren für Daueremission gebildet. Als entsprechender Individual-Ausbreitungsfaktor wird wieder jener mit dem höchsten Zahlenwert aussortiert und die Kennzahl dieser Gemeinde festgehalten.

Ausdruck :

Die erhaltenen Ergebnisse werden unter folgenden Titeln ausgedruckt:

1. "Individual- und Populations-Ausbreitungsfaktoren für verschiedene Windrichtungen bei Kurz- und Langzeitausbreitung",
2. "Maximale Individual- und Populations-Ausbreitungsfaktoren bei Kurz- und Langzeitausbreitung",
3. "Individual- und Populations-Ausbreitungsfaktoren bei Dauerausbreitung".

Ein derartiger Rechenlauf benötigt einen Speicherplatz von 300 Kilobytes und einen Rechenzeitbedarf von 40 Min. (IBM 360/65) bzw. 10 Min. (IBM 360/85).

Probleme im Zusammenhang mit dem Auswerteverfahren werden in Anhang A 3 diskutiert.

## 6. Ergebnisse und Diskussion

### 6.1 Ergebnisse

Die rechnerisch ermittelten Ergebnisse sind graphisch dargestellt in der Reihenfolge, wie sie der Programmbeschreibung entsprechend ermittelt wurden:

1. Individual- und Populations-Ausbreitungsfaktoren bei verschiedenen Windrichtungen für Langzeitausbreitung (3dimensionale Darstellung) in Abb. 5aa, 5ab, 5ba und 5bb. Die Ergebnisse für Kurzzeitausbreitungen eignen sich wegen der starken Oszillation weniger für diese Darstellungsweise.
2. Maximale Individual- und Populations-Ausbreitungsfaktoren für Kurz- und Langzeitausbreitung (2dimensionale Darstellung) in Abb. 6aa, 6ab, 6ac, 6ad, 6ba, 6bb, 6bc und 6bd.
3. Individual- und Populations-Ausbreitungsfaktoren bei Dauerausbreitung (2dimensionale Darstellung) in Abb. 7a und 7b.

#### Zu den Abbildungen 5 :

Hier sind über einem zweidimensionalen Netz, das aus den Flußkilometern und der Windrichtung gebildet wird, die entsprechenden Ausbreitungsfaktoren aufgetragen. Diese Darstellungsweise ist insofern etwas ungewöhnlich, als zum einen der in der Natur im allgemeinen gekrümmte Flußverlauf zu einer Geraden gestreckt wurde und zum anderen die Windrichtungen, die im allgemeinen in Polarkoordinaten dargestellt werden, aufgeschnitten und ebenfalls zu einer Geraden gestreckt wurden. Diese so gebildete Ebene darf nicht mit der geographischen x-y-Ebene verwechselt werden, innerhalb deren der Standort längs des Flußverlaufs verschoben wird. Zur Orientierung sind in den Abbildungen längs der Flußkilometer die wichtigsten Orte eingezeichnet, während für die Windrichtungen die üblichen Abkürzungen verwendet wurden.

Dieses über der Flußkilometer-Windrichtung-Ebene sich aufspannende Gebirge zeigt ein anschauliches Bild der Ausbreitungsfaktoren. Im Fall der Individual-Ausbreitungsfaktoren wird das Gebirge aus einzelnen "Höhenzügen" von Wohnsiedlungen gebildet, die dem jeweiligen Standort am nächsten sind. Beim

Populations-Ausbreitungsfaktor besteht das Gebirge aus der Überlagerung aller "Höhenzüge" unabhängig von der Entfernung zum Standort, gewichtet mit der Bevölkerungszahl. Daraus erklärt sich auch die starke Gliederung im Fall der Individual-Ausbreitungsfaktoren, während beim Populations-Ausbreitungsfaktor das Gebirge vornehmlich durch die "Höhenzüge" der großen Städte bestimmt wird.

Der "Höhenzug" einer einzelnen Wohnsiedlung macht sich bei einem exakten Süd-Nord-Verlauf des Flusses zunächst bei Südwind schwach bemerkbar. Mit näherkommendem Standort wächst der "Höhenzug" an, bis er bei gleicher Höhe sein Maximum erreicht, das sich, je nachdem ob sich die Siedlung östlich oder westlich des Flusses befindet, bei West- oder Ostwind einstellt. Bei wachsendem Abstand des Standorts zur Wohnsiedlung nimmt der "Höhenzug" dann langsam wieder ab, während er gleichzeitig in Windrichtung Nord wandert.

An Hand der Darstellung des Populationsfaktors läßt sich bereits der verschieden starke Einfluß von Ballungszentren, Großstädten, kleineren Städten und bäuerlicher Landschaft studieren.

1. Ballungszentren wie z. B. der Raum "Mannheim - Ludwigshafen" machen sich durch ein breites und hohes Gebirge bemerkbar,
2. Großstädte wie Karlsruhe, die nicht unmittelbar am Rhein liegen, zeigen einen breiten, aber niederen Höhenrücken,
3. Das Gleiche gilt mit entsprechenden Abänderungen für mittlere Städte wie Speyer,
4. Kleine Städte und Gemeinden, die nahe am Fluß liegen, zeigen schmale Spitzen, die jedoch keine große Reichweite besitzen.

Aus den Abbildungen geht auch hervor, daß die Ausbreitungsfaktoren bei Inversionswetter größer sind als die bei Normalwetter und daß die Ausbreitungsfaktoren mit wachsender Kaminhöhe abnehmen. Entsprechend liegen auch die Faktoren bei Kurzausbreitung über denen bei Langzausbreitung.

Weiterhin können an dieser 3dimensionalen Darstellung die beiden nächsten Abbildungen erläutert werden, nämlich:

- a) der Maximale-Ausbreitungsfaktor, der praktisch den Höhenweg über dieses Gebirge darstellt,
- b) der Dauer-Ausbreitungsfaktor, der das mit den entsprechenden Wahrscheinlichkeiten von Wetterlage und Windrichtung gewichtete Kondensat dieser Gebirge darstellt.

Zu den Abbildungen 6 :

In den Abbildungen 6 sind über den Flußkilometern als Abszisse die maximalen Ausbreitungsfaktoren aufgetragen. Zur Orientierung sind am oberen Rand der Darstellung die wichtigsten Gemeinden und Städte und am unteren Rand die Lage der Rheinbrücken bei Karlsruhe, Germersheim, Speyer und Mannheim - Ludwigshafen angegeben.

Den bereits zu den Abbildungen 5 getroffenen Feststellungen lassen sich folgende hinzufügen:

Der Kurvenverlauf weist eine starke Gliederung auf. Dies rührt daher, daß neben den großen Städten, für die Maxima zu erwarten waren, eine Reihe von Ortschaften durch ihre unmittelbare Lage am Fluß (Abstand ca. 0,5 km) ebenfalls ausgeprägte Maxima zeigen. Dies gilt vor allem für die Orte Maximiliansau, Germersheim, Altlußheim und Rheinhausen.

Für eine Ablufthöhe  $H = 0$ , für die der Populations-Ausbreitungsfaktor vornehmlich durch die nächstgelegene Ortschaft bestimmt wird, läßt sich im Bereich der Maxima eine gewisse Parallelität zwischen Individual- und Populations-Ausbreitungsfaktoren wahrnehmen. Dies erklärt sich aus der Tatsache, daß es sich bei den oben genannten "kleineren Siedlungen" bereits um Ortschaften mit jeweils ca. 10 000 Einwohnern handelt. Das sind Einwohnerzahlen, die bereits Stadtteilen entsprechen. Eine Wohnsiedlung, die ca. 5 km landeinwärts liegt, muß bereits eine 100fach größere Bevölkerung aufweisen, um einen Populations-Ausbreitungsfaktor gleicher Größe zu erreichen.

Mit wachsender Kaminhöhe nimmt dieser Effekt ab, besonders bei Inversionswetterlagen. Das Hinterland kommt jetzt mehr zum Tragen. Der Populationsfaktor wird nicht mehr vorwiegend durch die nächstliegende Ortschaft bestimmt.

Im einzelnen lassen sich folgende Feststellungen treffen:

### 1. Individual- und Populations-Ausbreitungsfaktoren

Beide Ausbreitungsfaktoren zeigen in ihrem Verlauf Oszillationen, die im Fall des Individual-Ausbreitungsfaktors enger liegen, aber im Fall des Populations-Ausbreitungsfaktors infolge der verschiedenartigen Bevölkerungsverteilung einen größeren Schwankungsbereich umfassen. Diese Schwankungen umfassen in etwa folgende Faktoren:

Individual-Ausbreitungsfaktor : 20 - 30

Populations-Ausbreitungsfaktor : 30 - 50

### 2. Normal- und Inversionswetter

Infolge der engeren Bündelung der Abluftfahne bei Inversionswetter treten dort natürlich "heftigere" Oszillationen auf als bei Normalwetter. Das gleiche gilt auch für den Vergleich Kurzzeit- ausbreitung - Langzeit- ausbreitung. Wie zu erwarten, liegen die Faktoren für Inversionswetter über denen für Langzeit- ausbreitung. Allgemeine, für den ganzen Flußverlauf gültige Vergleichszahlen lassen sich nicht angeben, doch liegen sie in der Größenordnung der zu den Abb. 2a und 2b angegebenen Verhältniszahlen.

### 3. Kaminhöhe

Die Erhöhung des Abluftkamins führt prinzipiell zu niedrigeren Ausbreitungsfaktoren und einer Abnahme der Oszillationen. Diese Erscheinung fällt je nach Wetterlage und Ausbreitungszeit verschieden aus. Im Prinzip lassen sich alle Effekte mit den in Abb. 2a und 2b dargestellten Ausbreitungsfaktoren erklären.

Normalwetter:

Der Übergang der Höhe der Abluftquelle von 0 m auf 50 m bringt nur für Siedlungen innerhalb eines Abstands von 500 - 1000 m eine Veränderung, und zwar etwa um den Faktor 2. Das heißt, nur für Standorte nahe von Siedlungen treten Änderungen ein sowohl beim Individual-Ausbreitungsfaktor als auch beim Populations-Ausbreitungsfaktor.

Bei einer weiteren Erhöhung auf 100 m ist die Wirkung entsprechend größer,

für Standorte nahe von Wohnsiedlungen etwa um den Faktor 10. Der Populations-Ausbreitungsfaktor nimmt wegen der entsprechenden Wichtung durch das Hinterland nur um etwa den Faktor 5 ab.

#### Inversionswetter:

Bei Inversionswetter wirken sich die gleichen Änderungen in der Höhe der Abluftquelle stärker auf die Ausbreitungsfaktoren aus. Bei dem Übergang von  $H = 0$  m auf  $H = 50$  m erreicht der Individual-Ausbreitungsfaktor sein Maximum in einer Entfernung von ca. 8 km, dadurch ergibt sich eine Reduzierung um den Faktor 10 - 20. Da die ganze Nahzone übersprungen wird, verliert auch der Populations-Ausbreitungsfaktor an Struktur, die ihm von dieser aufgeprägt wurde. Im Mittel ist jetzt  $J_p$  um den Faktor 5 gesunken, im Ballungsraum Mannheim - Ludwigshafen um den Faktor 10 und bei Germersheim um den Faktor 50.

Beim Übergang auf  $H = 100$  m erreicht der Ausbreitungsfaktor sein Maximum bei ca. 20 km, so daß der Individual-Ausbreitungsfaktor nochmals um den Faktor 4 herabgesetzt wird. Die Struktur des Populations-Ausbreitungsfaktors vermindert sich noch mehr.

Da, wie eben beschrieben, eine größere Kaminhöhe der Abluftquelle bei Inversion eine größere Abnahme der Ausbreitungsfaktoren bewirkt als bei Normalwetter, nähern sich die Ausbreitungsfaktoren beider Wetterlagen, die bei  $H = 0$  m um mehr als eine Zehnerpotenz auseinanderlagen, einander und erreichen bei  $H = 100$  m nahezu die gleiche Größe.

#### Zu den Abbildungen 7 :

In den Abbildungen 7 sind die Faktoren für Dauerausbreitung angegeben. Sie geben, obgleich mit der Windrose gewichtet, am besten die Bevölkerungsverteilung dieses Abschnitts am Oberrhein wieder. Am deutlichsten ist dies im Fall des Populations-Ausbreitungsfaktors ersichtlich. Abgesehen von geringfügigen Schwankungen läßt sich von Karlsruhe beginnend ein leichtes Absinken des Populations-Ausbreitungsfaktors bis etwa Germersheim beobachten. Ab hier steigt der Faktor an bis in das Ballungszentrum Mannheim - Ludwigshafen, wo er sein Maximum erreicht. Das Minimum und das Maximum dieser Kurve

unterscheiden sich um etwa den Faktor 30. Dieser Faktor nimmt wie erwartet mit steigender Ablufthöhe ab und erreicht bei  $H = 100$  m etwa nur noch den Zahlenwert 5, d. h. die Unterschiede verwischen sich etwas. Natürlich nehmen die Ausbreitungsfaktoren für höhere Abluftquellen auch absolut gesehen ab.

Die Individual-Ausbreitungsfaktoren zeigen im großen und ganzen ein ähnliches Verhalten wie bei den Abbildungen 6, wobei im Fall der Abbildungen 7 die starke Abnahme mit steigender Quellhöhe vornehmlich von dem Inversionswetteranteil herrührt.

## 6.2 Vergleich von Standorten

Die vom Programm ausgeworfenen Ergebnisse liefern ein umfangreiches Zahlenmaterial, das für spezielle Fälle ausgewertet werden kann.

Bei der Durchmusterung der Daten längs des Flußverlaufs treten drei Maxima besonders hervor, die sich unter dem Gesichtspunkt der atmosphärischen Ausbreitung als Standorte eignen. Diese liegen

1. bei Flußkilometer 378
2. bei Flußkilometer 390
3. bei Flußkilometer 405

Von diesen Minima ist das erste gleichzeitig das niedrigste und somit das günstigste. Das zweite Minimum bei 390 km wird insofern schon ausgenutzt, als dort das Kernkraftwerk Philippsburg seinen Standort hat. Das dritte Minimum schließlich entsteht dadurch, daß sich keine Wohnsiedlungen in unmittelbarer Nähe von Fkm 405 befinden, obgleich der Ballungsraum Mannheim - Ludwigshafen schon nahe ist.

Im weiteren soll nun, um zwei konkrete Standorte zu vergleichen, neben dem Standort Philippsburg (Fkm 390) der Standort bei Flußkilometer 428 ins Auge gefaßt werden. Dort ist der Bau des Kernkraftwerks Ludwigshafen - BASF geplant. Um die beiden Standorte Philippsburg und Ludwigshafen - BASF im folgenden besser vergleichen zu können, wird zur Polar-Koordinaten-Darstellung übergegangen.



In Abb. 8 sind die windrosenabhängigen Ausbreitungsfaktoren bei Langzeitausbreitung und der Kaminhöhe  $H = 0$  m dargestellt. Entgegen den meteorologischen Gepflogenheiten ist als Richtung jene angegeben, in die der Wind bläst, d. h. in die die Abluft getragen wird. Wie man aus den Abbildungen ersieht, sind im Fall des Individual-Ausbreitungsfaktors die Werte für den Standort Ludwigshafen - BASF etwas größer als die für Philippsburg. Dabei ist zu beachten, daß im Fall des Standorts Ludwigshafen - BASF linksrheinisch zunächst das große Werksgelände der BASF liegt, deren Werksbevölkerung nicht mitberücksichtigt wird und erst danach die Wohngebiete von Ludwigshafen anschließen. Rechtsrheinisch sind die Hafenanlagen der Stadt Mannheim den Wohngebieten vorgelagert. Wesentlich ausgeprägter ist der Unterschied zwischen den beiden Standorten im Fall der Populations-Ausbreitungsfaktoren. Dort liegen die entsprechenden Zahlenwerte für den Standort Ludwigshafen - BASF fast durchweg um den Faktor 10 über denen des Standorts Philippsburg. In diesem Faktor 10 manifestiert sich der Unterschied der beiden Standorte vom Gesichtspunkt der Bevölkerungsgefährdung her.

Bei einem detaillierten Vergleich von Standorten ist neben der Kenntnis der eben abgeleiteten Ausbreitungsfaktoren es auch interessant, die Größe der jeweiligen Bevölkerungsgruppen zu kennen, die bei einem eventuellen Unfall in den verschiedenen Gefährdungszonen liegen. Erst mit Hilfe dieser Angaben können für den Fall eines bestimmten Gefährdungsausflusses die Folgen und die eventuell zu treffenden Gegenmaßnahmen und deren Umfang abgeschätzt werden. Um diese Zahlen zu ermitteln, wurde ein Zusatzprogramm geschrieben, dessen Ergebnisse für die beiden vorgenannten Standorte bei konservativer Windrichtung ( $\max J_p$ ) in Tab. 3 zusammengestellt sind.

Man ersieht aus dieser Tabelle, daß um den Standort Ludwigshafen - BASF sich die am meisten gefährdete Personengruppe (ca. 10 000 - 20 000 Einw.) innerhalb einer Zone befindet, in der sich ein etwa zehnfach höherer Ausbreitungsfaktor einstellt als in der Zone der entsprechenden Personengruppe beim Standort Philippsburg. Das heißt, beim Kernkraftwerk Ludwigshafen - BASF müssen bei einem bestimmten Gefährdungsausfluß eventuell bereits Evakuierungsmaßnahmen ergriffen werden, während sie beim Kernkraftwerk Philippsburg noch nicht nötig sind. Zu bemerken ist in diesem Zusammenhang noch,

daß diese im Fall des Ballungszentrums Mannheim - Ludwigshafen mit erheblicheren verkehrstechnischen Risiken behaftet sind als im Fall des Gebiets um Philippsburg.

Bei dieser Tab.3 ist ferner darauf zu achten, daß die angegebenen Bevölkerungszahlen unterhalb eines Ausbreitungsfaktors  $J(x = 30 \text{ km}, y = 0)$  unvollständig sind, da die Bevölkerung außerhalb der 30-km-Zone unberücksichtigt blieb. Man kann diese jedoch nachträglich unter Annahme einer homogenen Besiedlungsdichte abschätzen und hinzuaddieren. Diese Grenze ist in der Tabelle durch Schraffierung gekennzeichnet.

### 6.3 Vorschlag für eine einfache quantitative Bewertung von Reaktorstandorten

Es soll der Versuch unternommen werden, aus der Fülle von Zahlen, die für einen Standort ermittelt werden können, signifikante Zahlen auszuwählen und diese als Bewertungsziffern für Reaktorstandorte zu verwenden.

Reaktorstandorte werden in Sicherheitsberichten im allgemeinen deskriptiv abgehandelt, indem der Standort und die umliegenden Gemeinden beschrieben werden. Eine quantitative Beschreibung ist insofern vorhanden, als den Sicherheitsberichten meist noch eine nach Winkelsektoren und Abstand aufgeschlüsselte Wohnstatistik beigelegt ist. Doch stellt dies ein Zahlenmaterial in der Größenordnung von etwa hundert Zahlen dar, so daß zu einer sinnvollen Auswertung eine gewisse Zeit benötigt wird. Um aber verschiedene Standorte auf eine einfache und schnelle Weise vergleichen zu können, ist es sinnvoll, einen knappen quantitativen Bewertungsmodus zu finden, wobei die Bewertung im Sinne dieses Berichts nur unter dem Gesichtspunkt der atmosphärischen Ausbreitungsvorgänge zu sehen ist. Angestrebt wird deshalb ein n-Tupel einfacher und leicht zu merkender Zahlen, wobei n so niedrig wie möglich gehalten werden sollte.

Auf Grund der Ergebnisse dieses Berichts wird daher folgender Bewertungsmodus vorgeschlagen:

Für einen vorgesehenen Reaktorstandort werden unter der Voraussetzung von Inversionswetter mit Berücksichtigung von Windschwankungen

(Langzeitausbreitung) und einer Quellhöhe  $H = 0$  m nach der oben beschriebenen Art die maximalen Individual-  $J_I$  und Populations-Ausbreitungsfaktoren  $J_P$  bestimmt, die, wie bereits gezeigt, in verschiedenen Richtungen liegen können. Zur Bildung des Individual-Ausbreitungsfaktors ist dabei jeweils die nächste Siedlung mit mindestens einigen hundert Einwohnern heranzuziehen. Aussiedlerhöfe u.ä., die leicht zu evakuieren sind, sollen dabei nicht besonders berücksichtigt werden. Diese beiden Ziffern werden zu einem Zahlenduplett zusammengefaßt ( $J_I, J_P$ ) und stellen die vorgeschlagenen Bewertungsziffern dar.

Für das beschriebene Gebiet sind die entsprechenden Bewertungsziffern in den Abb. 6bc und 6bd zu finden.

Dieser Bewertungsmodus behandelt Individual- und Populations-Faktoren gleichwertig. Würde man den Populations-Ausbreitungsfaktor  $J_P$  bzw. die Populations-Dosis  $I_P$  als einzige Richtschnur zur Beurteilung heranziehen, so liefe man Gefahr; z. B. eine Verdopplung des Gefährdungsausflusses, falls die daraus resultierende Populations-Dosis noch unterhalb der gesetzlichen Toleranzdosis liegt, unbedenklich zu tolerieren. Ergibt aber die gleichzeitige Beobachtung des Individual-Ausbreitungsfaktors  $J_I$  bzw. der Individual-Dosis  $I_I$ , daß eine Verdopplung des Gefährdungsausflusses jetzt für einige hundert bis tausend Menschen zu einem radiologischen Risiko mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit z. B. für Todesfolge führt, die vorher nicht vorhanden war, wird man dieser Erhöhung der Ausflußgefährdung ablehnender gegenüberstehen.

## 7. Schlußbemerkung

In dieser Arbeit wurde für eine reale Landschaft, nämlich für einen Teilabschnitt des Oberrheins, eine Studie über das Verhalten der Ausbreitungsfaktoren durchgeführt. Dabei wurde der Standorte der Abluftquelle längs des Rheins über ein Gebiet variiert, in dem alle Siedlungsformen, nämlich Ballungsraum, Großstadt, Mittlere und Kleinere Städte und Bäuerliche Landschaft, auftreten.

Diese Studie wurde für ein spezielles Gebiet durchgeführt, es finden sich aber viele ähnliche Beispiele in Deutschland. Zu denken ist hierbei an das Gebiet des Neckars zwischen Stuttgart und Heilbronn oder das Rhein-Main-Gebiet um Frankfurt bis Mainz, wo man in beiden Fällen an die Errichtung von Kernkraftwerken denkt.

Die erhaltenen Ergebnisse dieser Studie sind natürlich nicht allein auf Kernkraftwerke als mögliche Abluftquellen beschränkt, sondern lassen sich auch auf andere Quellen gesundheitsschädlicher oder geruchsbelästigender Abluft übertragen. Sie sind deshalb auch im Licht des heute sehr aktuellen Umweltschutzes zu sehen.

## ANHANG

### A 1. Ausbreitungsfaktor und Windgeschwindigkeit

Jedem Standort kann bei vorgegebener Wetterlage und Windrichtung ein Windgeschwindigkeitsspektrum  $\phi(u)$  zugeordnet werden. Um die Ausbreitungsformel praktisch anwenden zu können, ist es jedoch sinnvoll, eine Windgeschwindigkeit  $u'$  einzuführen, die über einen Mittelungsprozess gewonnen wird. Da der Ausbreitungsfaktor sich reziprok zur Windgeschwindigkeit verhält, ist es mathematisch korrekt, eine Geschwindigkeit einzusetzen, die durch folgende Mittelung gebildet wird:

$$u'_1 = 1 / \bar{\frac{1}{u}}$$
$$\bar{\frac{1}{u}} = \int \frac{1}{u} \phi(u) du \quad (\text{A.1-1})$$

Meistens wird jedoch ein Wert eingesetzt, welcher der einfachen mittleren Windgeschwindigkeit entspricht:

$$u'_2 = \bar{u}$$
$$\bar{u} = \int u \phi(u) du \quad (\text{A.1-2})$$

Ein Vergleich beider Werte durch den Autor, unter Heranziehung des auf dem Gelände des Kernforschungszentrums in einer Beobachtungshöhe  $H = 60$  m gemessenen und von ELBEL ausgewerteten Geschwindigkeitsspektrums, ergab folgendes Verhältnis:

$$u'_1 : u'_2 = 1 : 1,65 \quad (\text{A.1-3})$$

Dieses Verhältnis ist natürlich vom örtlichen Windgeschwindigkeitsspektrum abhängig. In Anbetracht der Ungenauigkeit, mit der meteorologische Vorgänge durch Ausbreitungsfaktoren beschrieben werden, spielt dieses Verhältnis auch keine gravierende Rolle. Doch sollte man es sich stets ins Gedächtnis zurückrufen, wenn bei einer mittleren Geschwindigkeit  $\bar{u} \approx 2$  m/sec die Windgeschwindigkeit  $u' = 1$  m/sec bereits als zu konservativ befunden wird.

A.2. Populations-Ausbreitungsfaktor und Integrationsgrenze

Wie bereits in einem früheren Bericht [3] gezeigt, wird bei der Integration des Ausbreitungsfaktors über eine konstante Bevölkerungsverteilung keine Konvergenz erreicht

$$J_p(x) = p_0 \cdot \int_0^x \int_{-\infty}^{+\infty} J(x, y) dy dx = p_0 \cdot \frac{2}{\sqrt{\pi} \cdot C_Z \cdot u} \cdot \frac{2}{u} \cdot x^{\frac{n}{2}} \quad (\text{A.2-1})$$

Entweder bricht man die Integration in einem gewissen Abstand  $x_G$  ab, darüber wird weiter unten berichtet, oder man erreicht Konvergenz durch Berücksichtigung des radioaktiven Zerfalls des Gefährdungsausflusses  $G_e$  nach dem Austritt aus der Abluftquelle

$$G_e(t) = G_e(t=0) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = G_e(t=0) \cdot e^{-\frac{x}{u \cdot \tau}} \quad (\text{A.2-2})$$

$$\tau = T_{1/2} / \ln 2$$

Wichtet man den Ausbreitungsfaktor mit diesem Zerfallsgesetz, so kann die Integration von Gl.(A.2-1) bis unendlich ausgedehnt werden. Man erhält dann

$$\begin{aligned} J_p(\infty) &= p_0 \cdot \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} J(x, y) \cdot e^{-\frac{x}{u \cdot \tau}} dy dx = \\ &= p_0 \cdot \frac{2}{\sqrt{\pi} \cdot C_Z \cdot u} \cdot \frac{2}{u} \cdot (u\tau)^{\frac{n}{2}} \cdot \Gamma\left(1 + \frac{n}{2}\right) \end{aligned} \quad (\text{A.2-3})$$

Ein Vergleich mit Gl.(A.2-1) zeigt, daß praktisch  $u\tau$  an die Stelle von  $x$  getreten ist. Dieses Ergebnis kann z. B. benutzt werden, um den Einfluß von Leitisotopen wie dem  $J^{131}$ , für das sich bei  $u = 1$  m/sec ein  $u\tau = 1008$  km errechnet, abzuschätzen.

Tatsächlich besteht die Ausflußgefährdung aus einem Gemisch von Nukliden mit verschiedenen Halbwertszeiten. Unter diesem Gesichtspunkt ist es unter Umständen geschickter, den erstgenannten Weg, nämlich Abbruch der Integration in einem gewissen Abstand, zu gehen. Die Vernachlässigung des radioaktiven Zerfalls liefert ein entsprechend konservatives Ergebnis.

Bei der Festlegung der Integrationsgrenze kann man sich zweier Verfahren bedienen:

1. Die Entfernung des Bereichs zur Bildung des Populations-Ausbreitungsfaktors wird starr festgelegt, so daß die Dosis, die bei einem von der Genehmigungsbehörde maximal erlaubten Gefährdungsausfluß an der Grenze dieses Bereichs auftritt, eine vorgegebene Größe, die sich an der natürlichen Dosis orientiert, nicht überschreitet.
2. Die Entfernung wird nicht durch eine Zahl fixiert, sondern von der Größe des Gefährdungsausflusses abhängig gemacht, und zwar in der Weise, daß der Integrationsbereich jeweils bis zu jener Entfernung ausgedehnt wird, in welcher die durch den entsprechenden Gefährdungsausfluß zu erwartende Dosis unter einen vorgegebenen Grenzwert, der in der Größenordnung der natürlichen Dosis liegt, gefallen ist.

Der erste Festlegungsmodus wird meist im Zusammenhang mit der Dauer- ausbreitung bei Normalbetrieb benutzt. So schlägt die USAEC vor, daß innerhalb eines Radius von 50 Meilen (= 80,5 km) die Populationsdosis nicht höher als  $100 \text{ man} \cdot \text{rem}$  sein darf, bezogen auf eine 1000-MWe-Anlage [29]. Der zweite Festlegungsmodus wird hingegen meist bei der Betrachtung von Unfällen gebraucht, bei denen die Größe des Gefährdungsausflusses nicht vorhergesagt werden kann. Kanada z. B. beschränkt die dabei auftretende Populationsdosis auf  $10^6 \text{ man} \cdot \text{rem}$ , wobei der Integrationsbereich bis zu jener Entfernung ausgedehnt wird, in der die Individualdosis auf 0,5 rem gefallen ist [30].

### A 3. Probleme des Auswerteverfahrens

Numerische Auswerteverfahren sind mit einer gewissen Problematik verknüpft, die sich dadurch ergibt, daß im Sinne eines vernünftigen Rechenaufwands von der ideal kontinuierlichen Darstellungsweise zu einer diskontinuierlichen übergegangen wird und ausreichend einfache Modelle zur Beschreibung benutzt werden müssen. Die dadurch möglicherweise auftretenden Abweichungen in den Ergebnissen sollen im folgenden kurz gestreift werden.

#### 1. Standortabstand und Windrosenteilung

##### 1.1 Standortabstand

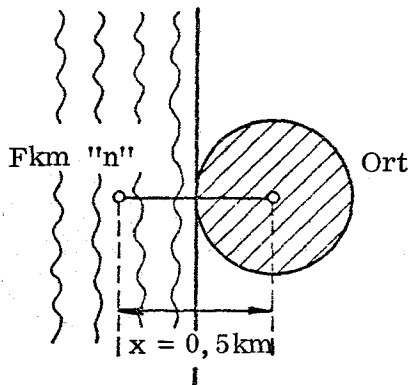
Als mögliche Standorte wurden jeweils die Positionen der Flußkilometer gewählt, so daß der Abstand zwischen zwei benachbarten Standorten maximal 1 km beträgt. Für einen Ort, der unmittelbar am Fluß liegt, können sich deshalb, abhängig von der Lage zwischen zwei Flußkilometern, etwas voneinander abweichende Ausbreitungsfaktoren ergeben. Dies ist aus den Beispielen 1.1.a und 1.1.b, welche die beiden Grenzfälle darstellen, ersichtlich. Wie aus den beiden Grenzfällen hervorgeht, ist die maximal auftretende Abweichungsmöglichkeit kleiner als der Faktor 2.

##### 1.2 Windrosenteilung

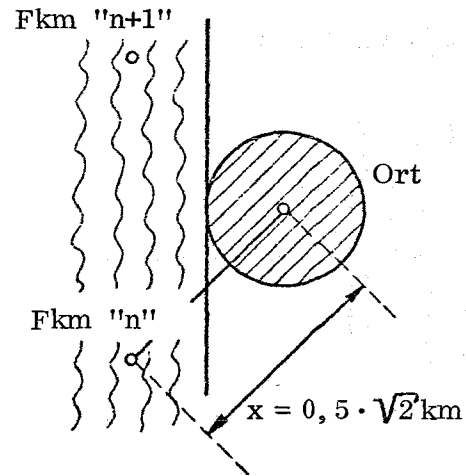
Ein ähnliches Problem tritt im Zusammenhang mit der Windrosenteilung auf. In dem angewandten Auswerteformalismus war eine 36teilige Windrose vorgegeben, so daß der Winkel zwischen zwei Richtungen der Abluftwolke  $10^\circ$  beträgt. Hier können die maximalen Abweichungen insofern auftreten, als ein Ort (bzw. dessen Mittelpunkt) entweder direkt von der Achse der Abluftwolke getroffen wird oder genau zwischen zwei Windrichtungen liegt. Dies geht aus den in den Beispielen 1.2.a und 1.2.b gezeigten Grenzfällen hervor. Die dabei möglicherweise auftretenden Unterschiede sind von einer Reihe von Parametern abhängig. Sie liegen, wie Abschätzungen zeigen, in der gleichen Größenordnung wie die unter Punkt 1.1 gezeigten Abweichungen.



Beispiel 1.1.a



Beispiel 1.1.b



Ausbreitungsfaktor für  $H = 0$  m und  $y = 0$  m:  $J \sim \frac{1}{x^{2-n}}$

für 0,5 km:  $J_a \sim \frac{1}{(0,5)^{2-n}}$       für  $0,5 \cdot \sqrt{2}$  km:  $J_b \sim \frac{1}{(0,5 \cdot \sqrt{2})^{2-n}}$

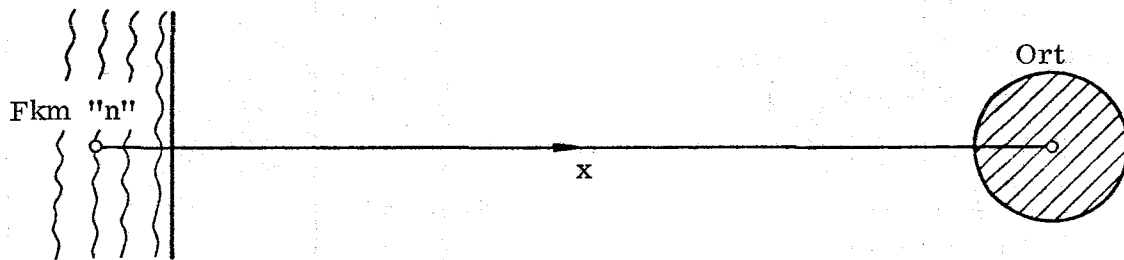
Verhältnis:  $\frac{J_a}{J_b} = \left( \frac{0,5 \cdot \sqrt{2}}{0,5} \right)^{2-n} = (\sqrt{2})^{2-n} < 2$

## 2. Mathematisches Modell der Wohnsiedlungen

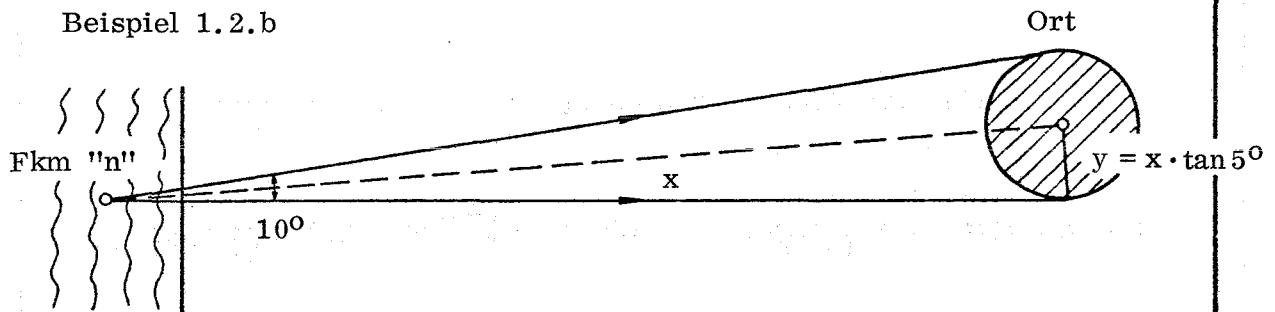
### 2.1 Form der Wohnsiedlung

Wie bereits beschrieben, werden die Dörfer und Stadtteile als punktförmige Gebilde angenommen, wobei die Koordinaten dieses Punkts in das Zentrum des Wohngebiets gelegt werden. Dieses Modell ist für jene Orte mit einer nahezu kreisförmigen Begrenzung ausreichend gut geeignet. Nicht im gleichen Maße geeignet ist dieses Modell jedoch bei Wohnsiedlungen mit einer langgestreckten Ausdehnung, zumal wenn sie in unmittelbarer Nähe der Ab-

Beispiel 1.2.a



Beispiel 1.2.b



Ausbreitungsfaktor für  $H = 0$  m:  $J \sim \frac{1}{x^{2-n}} \cdot \exp \left\{ -\frac{1}{x^{2-n}} \left( \frac{y}{C_y} \right)^2 \right\}$

für  $y = 0$  m:

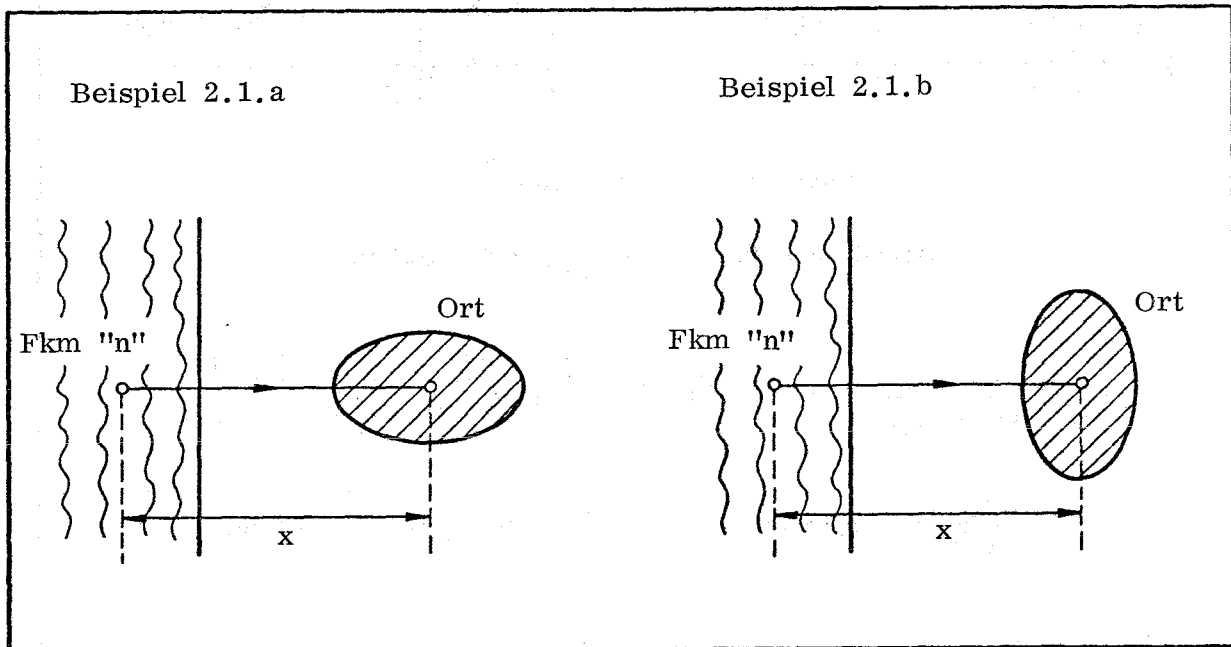
$$J_a \sim \frac{1}{x^{2-n}}$$

für  $y = x \cdot \tan 5^\circ$ :

$$J_b \sim \frac{1}{x^{2-n}} \cdot \exp \left\{ -\frac{1}{x^{2-n}} \left( \frac{x \cdot \tan 5^\circ}{C_y} \right)^2 \right\}$$

Verhältnis:  $\ln \frac{J_a}{J_b} = x^n \cdot \left( \frac{x \cdot \tan 5^\circ}{C_y} \right)^2$

luftfahne liegen. Dies ist an Hand der Beispiele 2.1.a und 2.1.b gezeigt. In beiden Fällen ist das Zentrum der Wohnsiedlung gleich weit entfernt, so daß rechnerisch die gleichen Populations-Ausbreitungsfaktoren zu erwarten sind. Doch ergibt sich bereits aus den Abbildungen, daß der tatsächlich zu erwartende Populations-Ausbreitungsfaktor bei Beispiel 2.1.a größer sein wird als bei Beispiel 2.1.b.

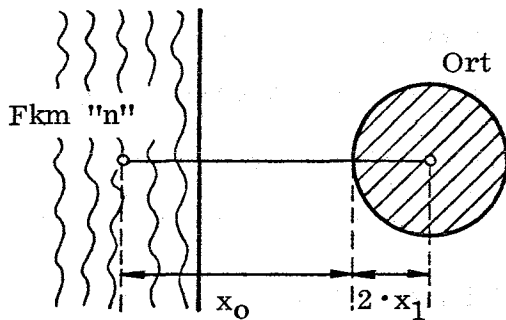


## 2.2 Aufteilung in Wohngebiet (Stadtteile)

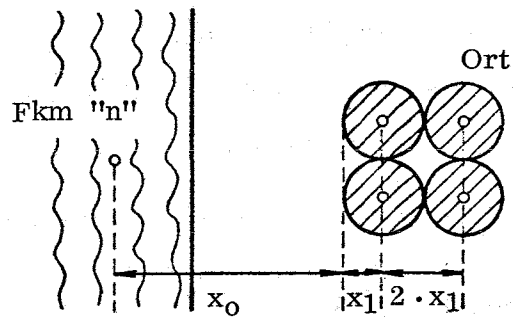
Teilt man eine Wohnsiedlung (Stadt) in Wohngebiete (Stadtteile) auf, so kann der dafür berechnete Populations-Ausbreitungsfaktor von jenem Faktor abweichen, den man erhält, wenn die betreffende Wohnsiedlung als Ganzes behandelt wird. Dies ist in den Beispielen 2.2.a und 2.2.b dargestellt. Wie dargestellt, können bei den gezeigten Fällen die beiden Populations-Ausbreitungsfaktoren etwa um einen Faktor 2 differieren.

Von den aufgezählten Problemen kann Punkt 1.1 "Standortabstand" in der Weise gelöst werden, daß mit einer ersten Rechnung ein großes Gebiet als Ganzes überblickt wird, während bei einer darauffolgenden Analyse eines Teilbereichs die Rechnung mit enger gewählten Standortabständen wiederholt wird. Das gleiche gilt für den Punkt 1.2 "Windrosenteilung", wo durch eine

Beispiel 2.2.a



Beispiel 2.2.b



$$\text{Bevölkerung: } M \sqrt{\text{man}} \sqrt{\quad}$$

$$\text{Ausbreitungsfaktor: } J \sim \frac{1}{x^2} \text{ (näherungsweise)}$$

$$J_{pa} \sim \frac{M}{(x_0 + 2x_1)^2}$$

$$J_{pb} \sim 2 * \left\{ \frac{M/4}{(x_0 + x_1)^2} + \frac{M/4}{(x_0 + 3x_1)^2} \right\}$$

$$\sim \frac{M}{4x_1^2} \text{ für } x_0 \rightarrow 0$$

$$\sim \frac{M}{2x_1^2} \text{ für } x_0 \rightarrow 0 \text{ näherungsweise}$$

$$\frac{J_{pb}}{J_{pa}} \approx 2 \text{ für } x_0 \rightarrow 0$$

noch feiner gegliederte Windrose eine Verbesserung des Verfahrens erzielt werden kann. Bei den Punkten 2.1 "Form der Wohnsiedlung" und 2.2 "Aufteilung in Wohngebiete" kann durch eine sehr fein gewählte Wohngebietseinteilung ebenfalls eine "höhere Auflösung" des Auswerteverfahrens erreicht werden.

Eine mögliche Verbesserung kann bezüglich des Punkts 2.1 in der Weise erreicht werden, daß die Wohnsiedlungen nicht mehr als Punkt betrachtet werden, sondern auf ihre Eigenschaft als Flächengebilde eingegangen wird. So kann man z. B. rechentechnisch für ein Gitter von Ortsgrößen und Positionen

innerhalb der Abluffahne die entsprechenden Individual- und Populations-Ausbreitungsfaktoren, bei deren Ermittlung die Flächenausdehnung bereits berücksichtigt wurde, vorgeben. Durch einfache Interpolation können dann im Lauf des Rechenganges für jede Ortsgröße und Position die entsprechenden Daten ermittelt werden. Derartige Daten wurden bereits in einem früheren Bericht [3] erstellt und diskutiert allerdings für den speziellen Fall, daß die entsprechenden Orte genau auf der Achse der Abluffahne liegen. Für eine zweite Version des hier beschriebenen Programms ist diese erweiterte Verbesserung jedoch vorgesehen.

Die Berücksichtigung der Flächenausdehnung bringt auch Verbesserungen bezüglich der Punkte 1.1 und 1.2, da hierdurch die in diesen Punkten geschilderte Problematik erheblich gemildert wird. Für Punkt 2.2 stellt die Annahme einer kreisförmigen Ausdehnung erwartungsgemäß keine Verbesserung dar. Derart extrem geformte Wohnsiedlungen treten jedoch vorwiegend nur in engen Tälern auf. Außerdem spielen sie nur dann eine wesentliche Rolle, wenn sie sich in unmittelbarer Nähe des Reaktors befinden. In diesem Fall treten jedoch meteorologische Besonderheiten auf, die in dem beschriebenen Modell nicht berücksichtigt wurden und einer gesonderten Behandlung bedürfen.

Literatur

- [1] K. WIRTZ  
Genehmigungsverfahren, Standortbeurteilung und Sicherheitskriterien.  
Atomwirtschaft 16 (1971), 70-72.
- [2] K. WINNACKER  
Die Chemie und die Kernenergie.  
Chemie-Ingenieur-Technik 43 (1971), 1-10.
- [3] A. BAYER  
Die Ausbreitung der radioaktiven Wolke und die für die Gesamtbevölkerung zu erwartenden Dosen.  
Bericht KFK-868 (1968).
- [4] R. GUCK  
Die Entscheidung für das Kernkraftwerk Philippsburg.  
Atomwirtschaft 15 (1970), 318-319.
- [5] A. BAYER  
Die Ausbreitung der radioaktiven Wolke und die zu erwartenden Inhalationsdosen.  
Bericht KFK-646 (1967).
- [6] O.G. SUTTON  
Micrometeorology.  
McGraw-Hill, Toronto- London (1955).
- [7] F.A. GIFFORD Jr.  
The Rise of Strongly Radioactive Plumes.  
J. Appl. Meteorology 6 (1967), 644-649.
- [8] G. BLÄSSER und K. WIRTZ  
Nukleare Grundlagen für Standort- und Gebäudewahl von Kernreaktoren.  
Nukleonik 3 (1961), 164-178, 210-231.
- [9] R. TRAPPENBERG  
Zur Windstruktur der unteren Troposphäre auf Grund von Doppelschnitten.  
Bericht des Deutschen Wetterdienstes 84 (1962).
- [10] H. PRESTIN  
Private Mitteilung (1970).  
Deutscher Wetterdienst - Wetterwarte Mannheim.
- [11] W. MALSCH  
Die Bodenwindverhältnisse in Karlsruhe.  
Beiträge zur naturkundlichen Forschung in Südwestdeutschland 12 (1953), 120-127.

- 12 J. v. KIENLE  
Das Klima.  
Aus: "Die Stadt- und Landkreise Heidelberg und Mannheim",  
Amtliche Kreisbeschreibung (1966).
- 13 N. F. ISLITZER  
Aerodynamical Effects of Large Reactor Complexes upon Atmospheric  
Turbulence and Diffusion.  
Report IDO-12041 (1965).
- 14 W. BÜRGER  
Ein Verfahren zur Berücksichtigung des Einflusses von Gebäuden  
auf die Schadgasausbreitung in der Atmosphäre.  
Staub 24 (1964), 223-228.
- 15 J. F. CLARKE  
Nocturnal Urban Boundary Layer over Cincinnati, Ohio.  
Monthly Weather Review 97 (1969), 582-589.
- 16 LANDESMESSTUNGSAMT RHEINLAND-PFALZ  
Topographische Karte L 6914 Landau i. d. Pfalz (1966),  
Maßstab 1 : 50 000.
- 17 LANDESMESSTUNGSAMT BADEN-WÜRTTEMBERG  
Topographische Karte L 6916 Karlsruhe-Nord (1960),  
Topographische Karte L 6716 Speyer (1960),  
Topographische Karte L 6516 Mannheim (1968),  
Maßstab 1 : 50 000.
- 18 Touristen- und Straßenkarte  
Nr. 52 "Mannheim - Ludwigshafen",  
Nr. 18 "Schwarzwald",  
Maßstab 1 : 200 000,  
Reise- und Verkehrsverlag, Stuttgart.
- 19 STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG  
Maschinenausdruck der fortgeschriebenen Wohnbevölkerungszahlen  
der Gemeinden des Landes Baden-Württemberg.  
Stand 31.12.1969.
- 20 HESSISCHES STATISTISCHES LANDESAMT  
Die Wohnbevölkerung der hessischen Gemeinden.  
Stand 31.12.1969.
- 21 STATISTISCHES LANDESAMT RHEINLAND-PFALZ  
Die Wohnbevölkerung der Gemeinden.  
Stand 1.1.1970.

- [22] INSTITUT NATIONAL DE LA STATISTIQUE ET DES ETUDES  
ECONOMIQUES  
Population de la France, Recensement de 1968.  
Direction des Journaux Officiels, Paris 1968.
- [23] STATISTISCHES AMT UND WAHLAMT, KARLSRUHE  
Die Wohnbevölkerung der Stadt Karlsruhe.  
Stand 1.5.1970.
- [24] STADTVERWALTUNG SPEYER  
Die Wohnbevölkerung der Stadt Speyer.  
Stand 20.5.1970.
- [25] AMT FÜR STADTFORSCHUNG, STATISTIK UND WAHLEN, MANNHEIM  
Fortgeschriebene Einwohnerzahl nach Bezirken der Stadt Mannheim.  
Stand 31.12.1969.
- [26] AMT FÜR GRUNDLAGENFORSCHUNG, STADTENTWICKLUNG UND  
WIRTSCHAFTSFÖRDERUNG, LUDWIGSHAFEN  
Die Entwicklung Ludwigshafens im Jahre 1969.  
Stand 31.12.1969.
- [27] A. BIRKHOFFER  
Practice and Considerations of Power Reactor Siting in Germany.  
Bericht MRR 52 (1968).
- [28] A. BAYER  
Der altersabhängige Inhalations-Dosisfaktor  $g$  von  $J^{131}$ .  
Bericht KFK-1073 (1969).
- [29] N. N.  
AEC Formulates 'As Low As Practicable' Numbers, 'Man-Rem'  
Concept Used.  
Nucleonics Week 12 (1971), No.21, 2
- [30] G. HAKE, P. J. BARRY and F. C. BOYD  
Canada Judges Power Reactor Safety on Component Quality and  
Reliable System Performance.  
Fourth United Nations International Conference on Peaceful Uses  
of Atomic Energy, Geneva (1971), P 150.



## Tabellen

Tab.1: Windhäufigkeit und Windgeschwindigkeiten im Raume  
Karlsruhe - Mannheim

Tab.2: Erfasste Bevölkerung

Tab.3: Personenzahl P in den Gefährdungszonen bei konservativen  
Windrichtungen für die Standorte Philippsburg und Ludwigs-  
hafen - BASF

Tab.1 : Windhäufigkeit und Windgeschwindigkeit im Raume  
Karlsruhe - Mannheim

Windrichtung	Karlsruhe $\overline{11}$		Mannheim $\overline{12}$				Karlsruhe-Mannheim	
	%	m/sec	%	m/sec	%	m/sec	%	m/sec
N	4,82	2,27	10	2,4	7,7	2,4	7,28	2,05
NNO	5,44	1,69			7,5	2,5	7,49	1,82
NO	7,46	1,62	9	2,6	4,4	2,6	6,68	1,82
ONO	6,97	1,79	4	2,6	2,9	2,4	5,50	1,82
O	3,86	1,44	3	2,3	2,5	2,3	3,59	1,61
OSO	2,64	1,34			1,6	2,2	2,39	1,53
SO	2,09	1,20	2	2,1				
SSO	1,89	1,33	8	2,3	2,4	2,2	2,59	1,46
S	4,89	1,88	10	2,7	6,3	2,6	4,82	1,68
SSW	18,31	3,48			7,7	2,7	7,30	1,98
SW	17,81	4,17	14	3,6	10,5	3,2	16,21	2,94
WSW	8,90	4,30	7	3,9	7,4	3,8	14,06	3,51
W	3,34	3,11			5,0	3,7	7,81	3,52
WNW	1,61	2,78	5	3,4	4,0	3,4	4,23	2,84
NW	1,35	2,05	4	3,0	3,0	3,2	2,70	2,60
NNW	2,01	2,20	6	2,5	3,7	2,7	2,98	2,06
Windstille	6,69	---	18	---	18	---	0	---

Tab.2 : Erfasste Bevölkerung

1. Baden - Württemberg :

Stadtkreis	Heidelberg
"	Karlsruhe
"	Mannheim
"	Pforzheim
"	Baden-Baden
Landkreis	Bruchsal
"	Heidelberg
"	Karlsruhe
"	Mannheim
"	Pforzheim
"	Sinsheim
"	Bühl
"	Rastatt
"	Calw

2. Hessen :

Landkreis	Bergstraße
"	Darmstadt
"	Groß-Gerau

3. Rheinland - Pfalz :

Stadtkreis	Frankenthal
"	Landau/Pfalz
"	Ludwigshafen
"	Neustadt/Weinstraße
"	Speyer
"	Worms
Landkreis	Alzey-Worms
"	Dürkheim
"	Donnersberg
"	Germersheim
"	Landau-Bergzabern
"	Ludwigshafen

4. Elsaß :

Landkreis	Hagenau
"	Weissenburg

Tab.3 : Personenzahl P in den Gefährdungszonen bei konservativen Windrichtungen  
für die Standorte Philippsburg und Ludwigshafen - BASF.

Standort	Ausbreitungsdauer	Wetterlage	Kaminhöhe	Konservative Windrichtungen		P (J <sub>x</sub> ) $\sqrt{\text{man}}$ für max (J <sub>p</sub> )															
						J <sub>x</sub> = 1 · 10 <sup>-3</sup> - 1 · 10 <sup>-4</sup>			J <sub>x</sub> = 1 · 10 <sup>-4</sup> - 1 · 10 <sup>-5</sup>			J <sub>x</sub> = 1 · 10 <sup>-5</sup> - 1 · 10 <sup>-6</sup>			J <sub>x</sub> = 1 · 10 <sup>-6</sup> - 1 · 10 <sup>-7</sup>			J <sub>x</sub> = 1 · 10 <sup>-7</sup> - 1 · 10 <sup>-8</sup>			
						J <sub>x</sub>	J <sub>p</sub>	1 · 10 <sup>-3</sup> -5 · 10 <sup>-4</sup>	5 · 10 <sup>-4</sup> -2 · 10 <sup>-4</sup>	2 · 10 <sup>-4</sup> -1 · 10 <sup>-4</sup>	1 · 10 <sup>-4</sup> -5 · 10 <sup>-5</sup>	5 · 10 <sup>-5</sup> -2 · 10 <sup>-5</sup>	2 · 10 <sup>-5</sup> -1 · 10 <sup>-5</sup>	1 · 10 <sup>-6</sup> -5 · 10 <sup>-6</sup>	5 · 10 <sup>-6</sup> -2 · 10 <sup>-6</sup>	2 · 10 <sup>-6</sup> -1 · 10 <sup>-6</sup>	1 · 10 <sup>-6</sup> -5 · 10 <sup>-7</sup>	5 · 10 <sup>-7</sup> -2 · 10 <sup>-7</sup>	2 · 10 <sup>-7</sup> -1 · 10 <sup>-7</sup>	1 · 10 <sup>-7</sup> -5 · 10 <sup>-8</sup>	5 · 10 <sup>-8</sup> -2 · 10 <sup>-8</sup>
Philippsburg Fkm 390	Kurzzeit- ausbreitung	Normal- wetter	H = 0 m H = 50 m H = 100 m	N 240 N 240 N 240	S 90 S 90 S 90																
		Inversions- wetter	H = 0 m H = 50 m H = 100 m	W 330 W 330 S 70	W 40 N 310 S 80		15 615	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
	Langzeit- ausbreitung	Normal- wetter	H = 0 m H = 50 m H = 100 m	N 300 N 300 N 300	S 90 S 90 S 90																
		Inversions- wetter	H = 0 m H = 50 m H = 100 m	N 240 W 330 N 310	S 90 S 90 S 80			1 534	15 309		58 252	11 775	22 727		11 524	23 399	---	25 847	7 459	11 539	
Ludwigshafen-BASF Fkm 428	Kurzzeit- ausbreitung	Normal- wetter	H = 0 m H = 50 m H = 100 m	N 310 N 310 N 310	W 30 W 30 W 30																
		Inversions- wetter	H = 0 m H = 50 m H = 100 m	N 270 W 340 O 170	N 270 W 330 W 330		11 775	---	---	---	1 549	---	---	---	---	---	---	4 770	---	---	---
	Langzeit- ausbreitung	Normal- wetter	H = 0 m H = 50 m H = 100 m	N 310 N 310 N 310	W 20 W 20 N 310																
		Inversions- wetter	H = 0 m H = 50 m H = 100 m	N 270 W 330 W 10	W 30 W 330 W 330			23 738		12 274	---	---	---	21 491	---	427	5 345	2 315	---	---	---

+) Windrichtung N 270

N = Windrichtung nach meteorologischen Gepflogenheiten

270 = Winkel des Windrichtungsvektors in Polarkoordinaten ( $\varphi = 270^\circ$ )

Vollständige Personenzahl  $\leftarrow \rightleftarrows \rightarrow$  Unvollständige Personenzahl, da ein Teil der betroffenen Bevölkerung außerhalb des 30 km Bereichs liegt.

## Abbildungen

Abb. 1 : Gebiet des Oberrheins zwischen Karlsruhe und Mannheim

Abb. 2a : Ausbreitungsfaktor J bei Normalwetter  
Kurzzeitausbreitung (feste Windrichtung)  
Langzeitausbreitung (schwankende Windrichtung)

Abb. 2b : Ausbreitungsfaktor J bei Inversionswetter  
Kurzzeitausbreitung (feste Windrichtung)  
Langzeitausbreitung (schwankende Windrichtung)

Abb. 3 : Windrosen des Raumes Karlsruhe - Mannheim

Abb. 4 : Vereinfachtes Flußdiagramm des Programms "MIPAF"

Abb. 5aa : Windrichtungsabhängige Individual-Ausbreitungsfaktoren  
JXNL bei Normalwetter und Langzeitausbreitung

Abb. 5ab : Windrichtungsabhängige Populations-Ausbreitungsfaktoren  
JPNL bei Normalwetter und Langzeitausbreitung

Abb. 5ba : Windrichtungsabhängige Individual-Ausbreitungsfaktoren  
JXIL bei Inversionswetter und Langzeitausbreitung

Abb. 5bb : Windrichtungsabhängige Populations-Ausbreitungsfaktoren  
JPIL bei Inversionswetter und Langzeitausbreitung

Abb. 6aa : Maximale Individual-Ausbreitungsfaktoren JXNK bei Normal-  
wetter und Kurzzeitausbreitung

Abb. 6ab : Maximale Populations-Ausbreitungsfaktoren JPNK bei Normal-  
wetter und Kurzzeitausbreitung

Abb. 6ac : Maximale Individual-Ausbreitungsfaktoren JXNL bei Normal-  
wetter und Langzeitausbreitung

Abb. 6ad : Maximale Populations-Ausbreitungsfaktoren JPNL bei Normalwetter und Langzeitausbreitung

Abb. 6ba : Maximale Individual-Ausbreitungsfaktoren JXIK bei Inversionswetter und Kurzeitausbreitung

Abb. 6bb : Maximale Populations-Ausbreitungsfaktoren JPIK bei Inversionswetter und Kurzeitausbreitung

Abb. 6bc : Maximale Individual-Ausbreitungsfaktoren JXIL bei Inversionswetter und Langzeitausbreitung

Abb. 6bd : Maximale Populations-Ausbreitungsfaktoren JPIL bei Inversionswetter und Langzeitausbreitung

Abb. 7a : Individual-Ausbreitungsfaktoren JXMD bei Mittlerer Wetterlage und Dauerausbreitung

Abb. 7b : Populations-Ausbreitungsfaktoren JPMD bei Mittlerer Wetterlage und Dauerausbreitung

Abb. 8 : Windrichtungsabhängige Individual-Ausbreitungsfaktoren JXNL und JXIL und Populations-Ausbreitungsfaktoren JPNL und JPIL bei Normal- sowie Inversionswetter und Langzeitausbreitung (H = 0 m)

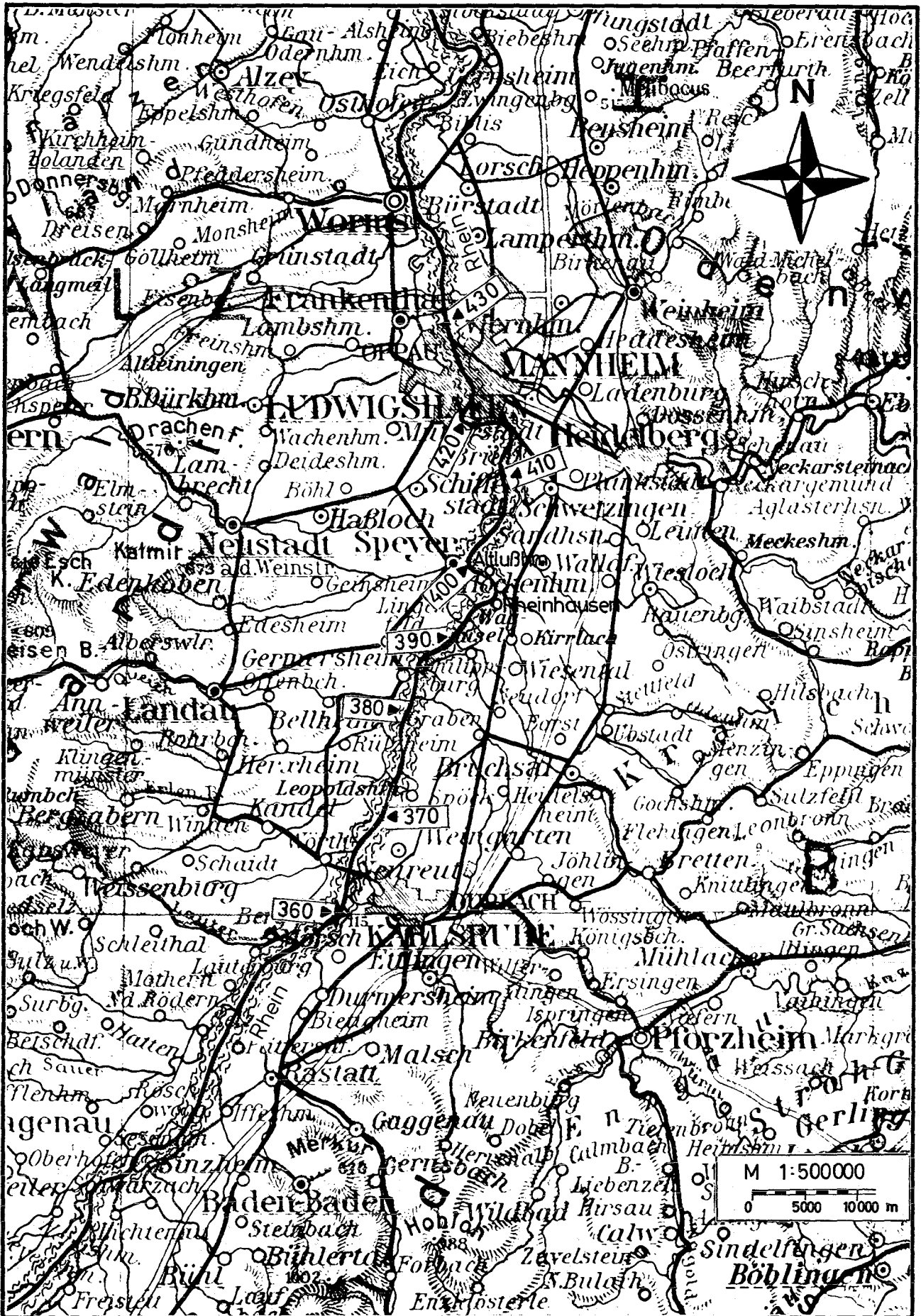
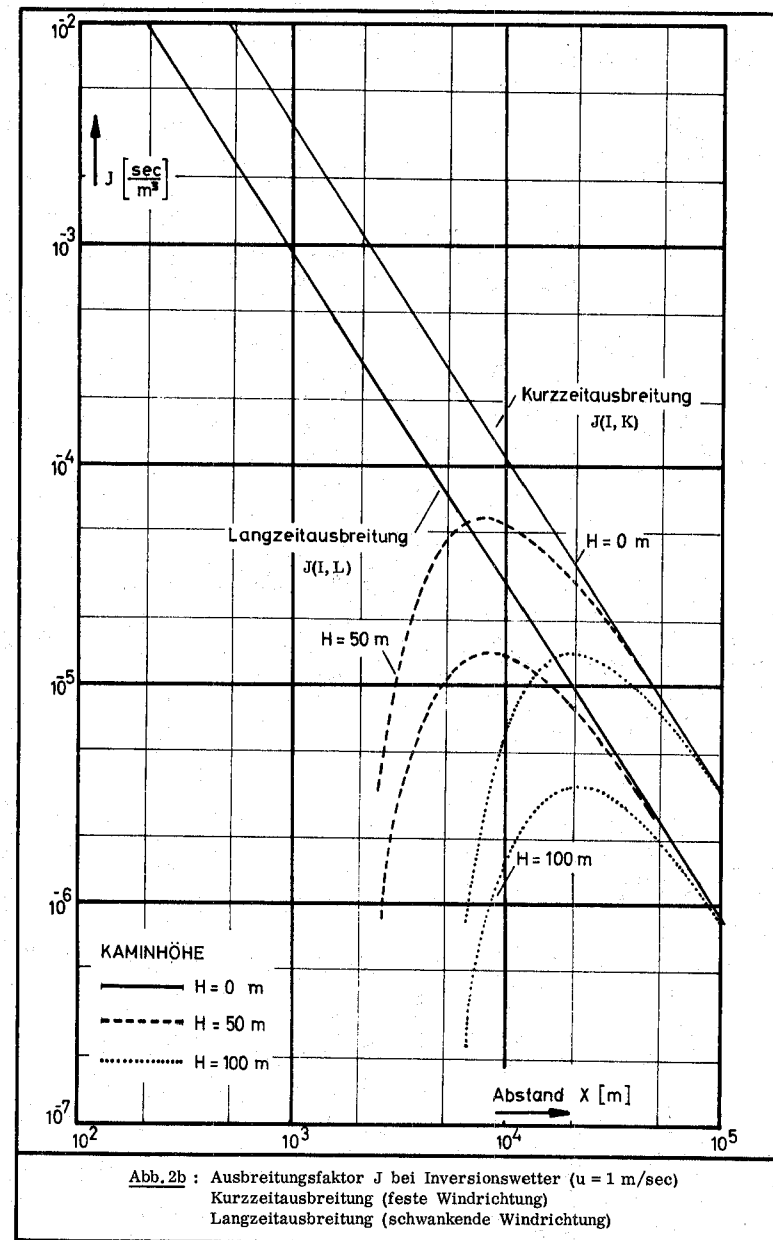
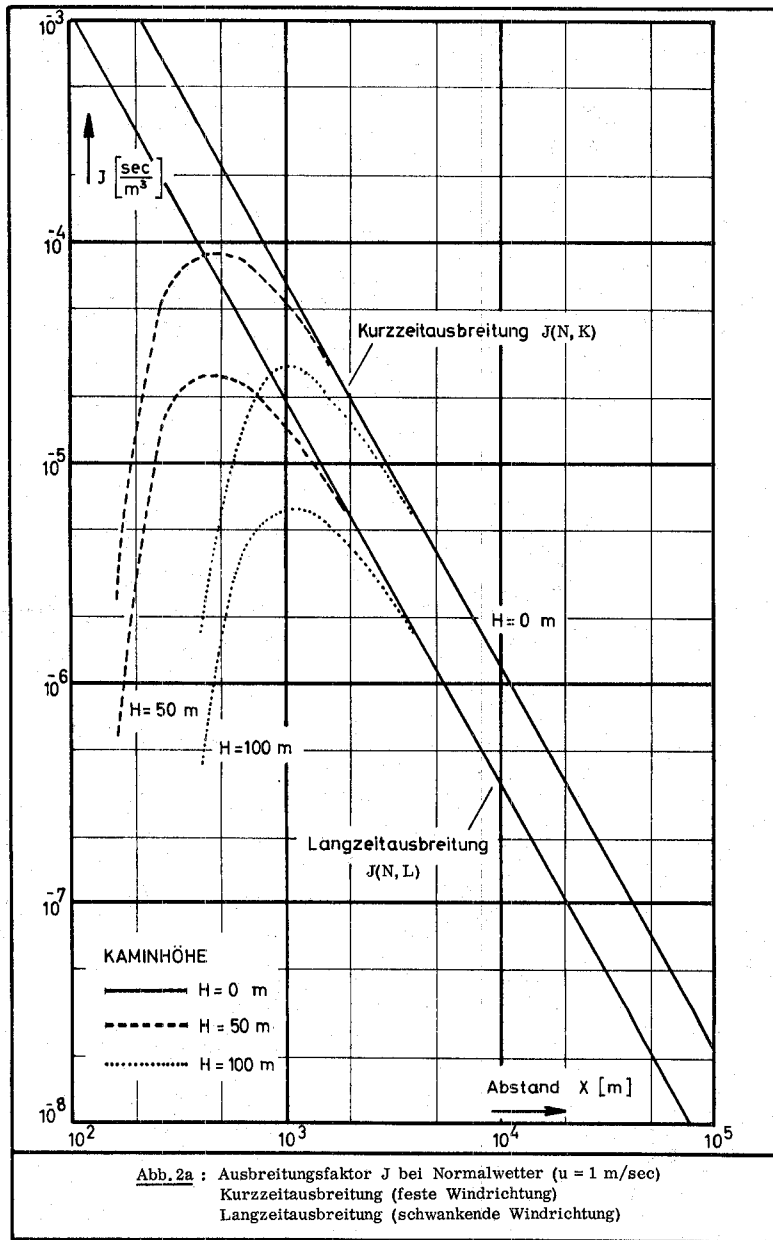


Abb.1 : Gebiet des Oberrheins zwischen  
Karlsruhe und Mannheim





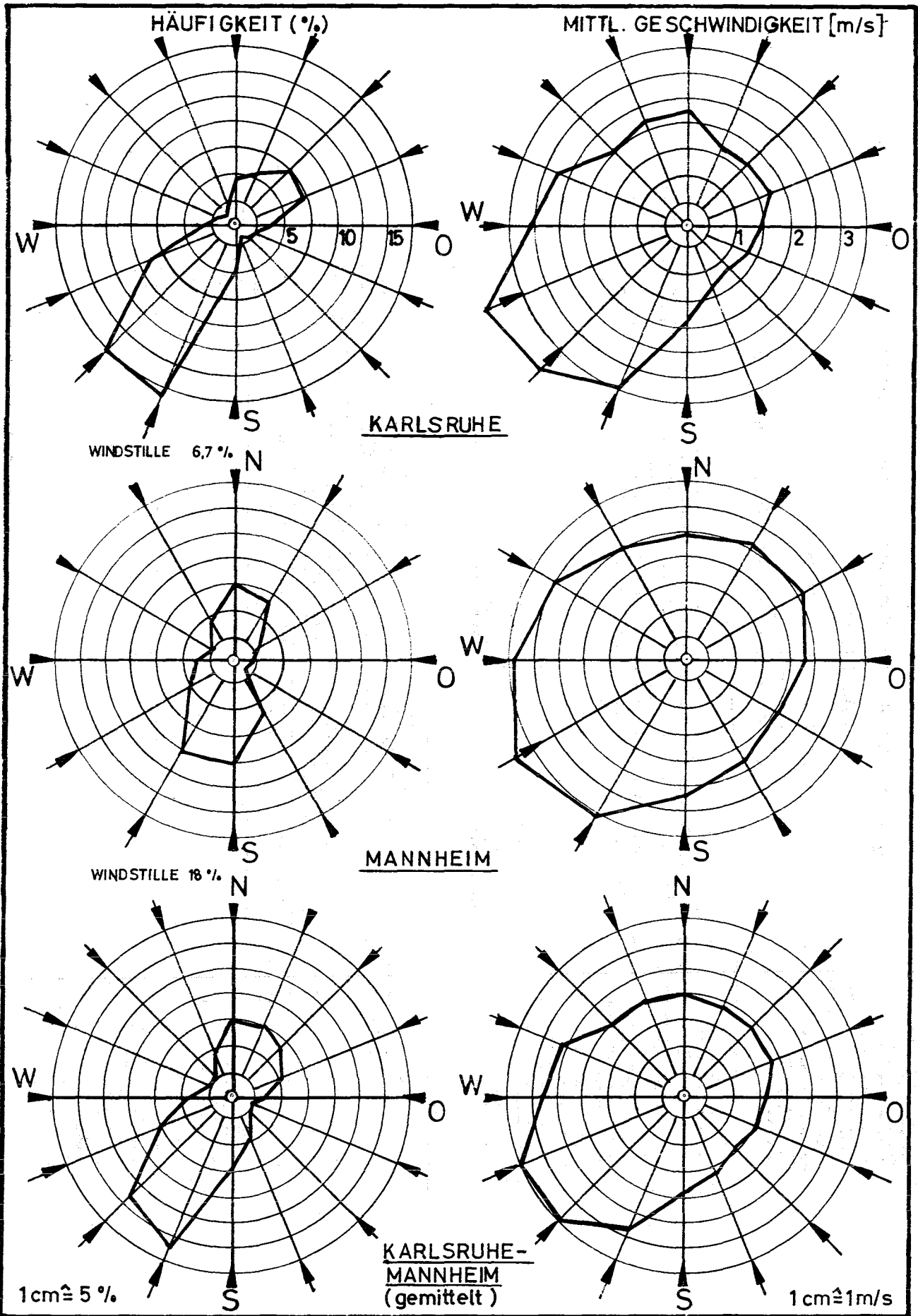


Abb. 3 : Windrosen des Raumes Karlsruhe - Mannheim

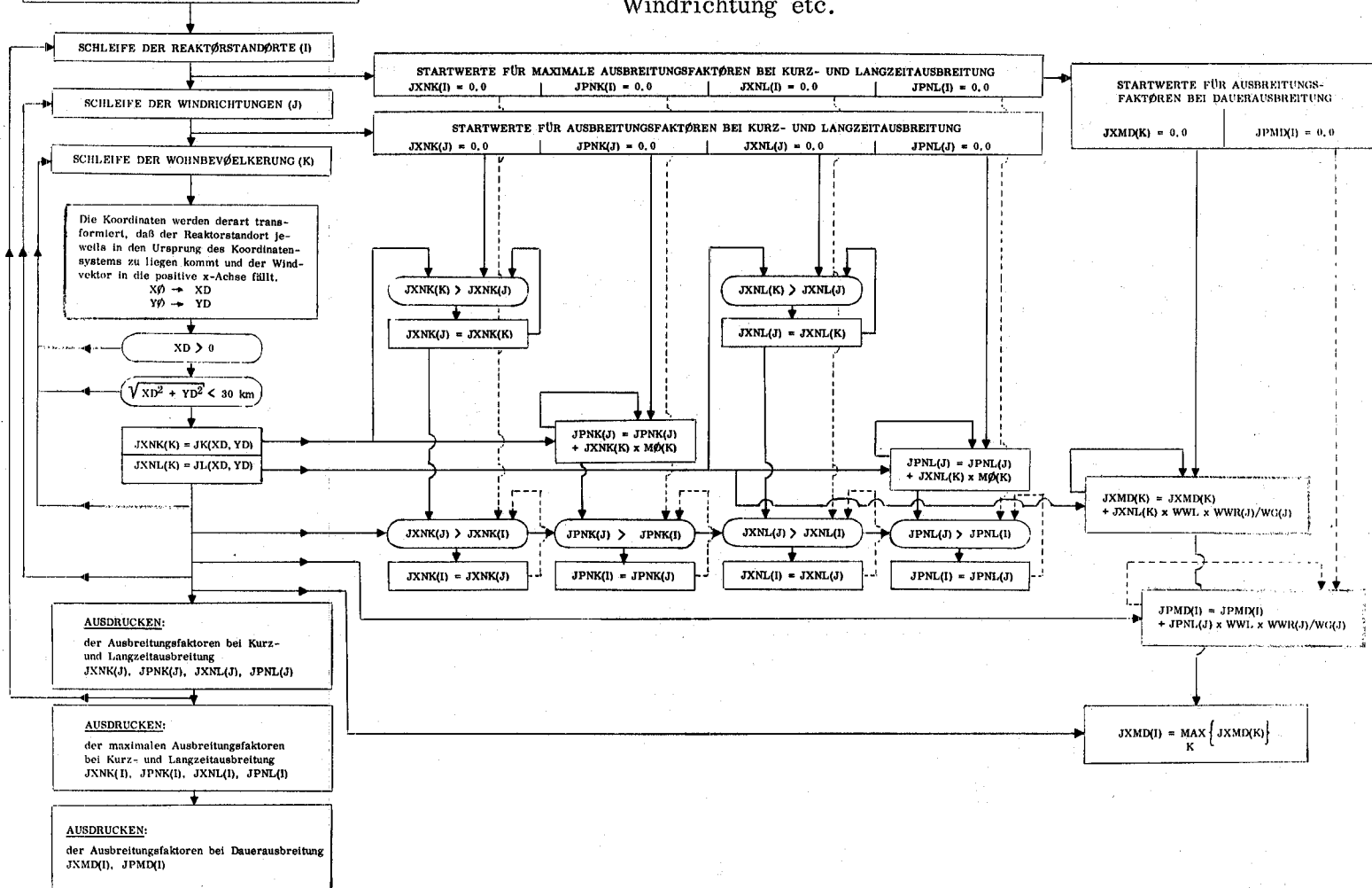
**EINLESEN UND AUSDRUCKEN VON**

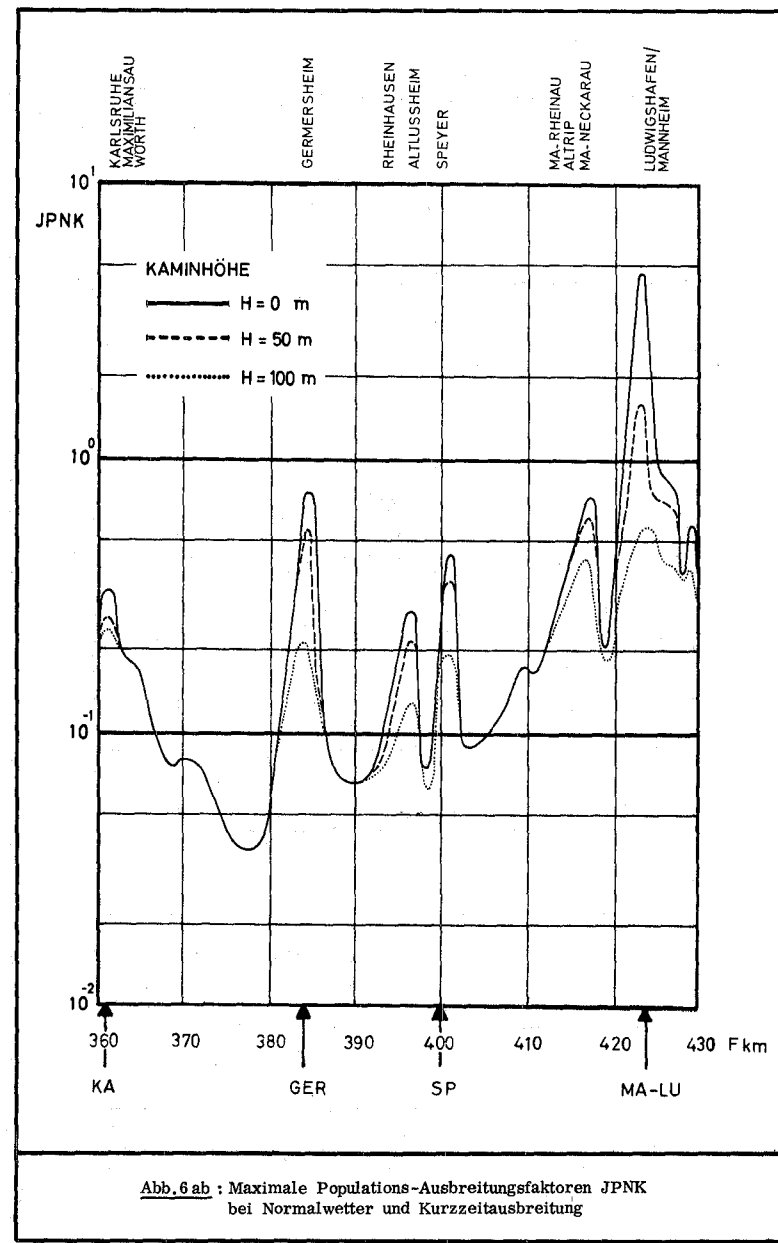
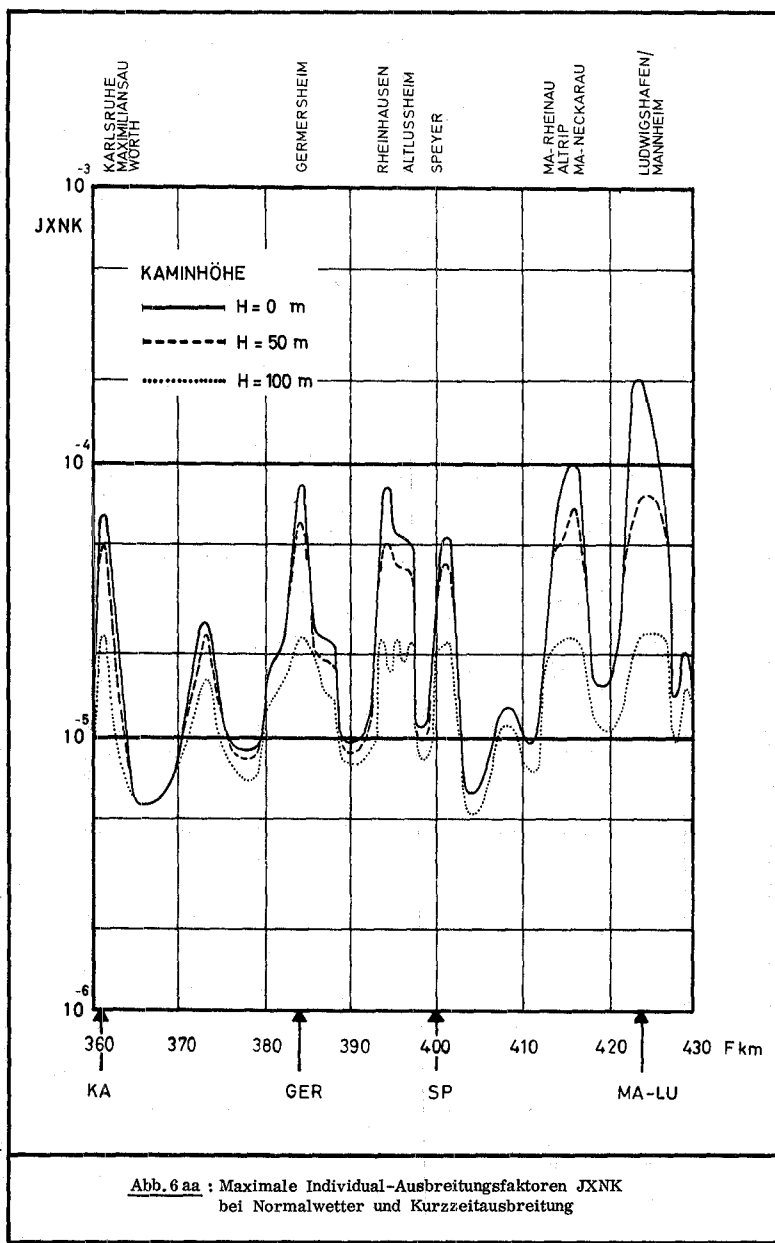
1. DATEN DER REAKTORSTÄNDORTE (I)  
Flußkilometer FS(I)  
Standortbezeichnung STAND(I)  
Ortskoordinaten XS(I), YS(I)
2. DATEN DER WETTERLAGEN (J)  
Wahrscheinlichkeit von Wetterlagen WWL  
Vektorwinkel des Windes PSI(J)  
Wahrscheinlichkeit der Windrichtung WWR(J)  
Windgeschwindigkeit WG(J)
3. DATEN DER WÖHNBEVÖLKERUNG (K)  
Kennzahl des Ortes KENN(K)  
Ortsname ORT(K)  
Ortskoordinaten XØ(K), YØ(K)  
Einwohnerzahl MØ(K)

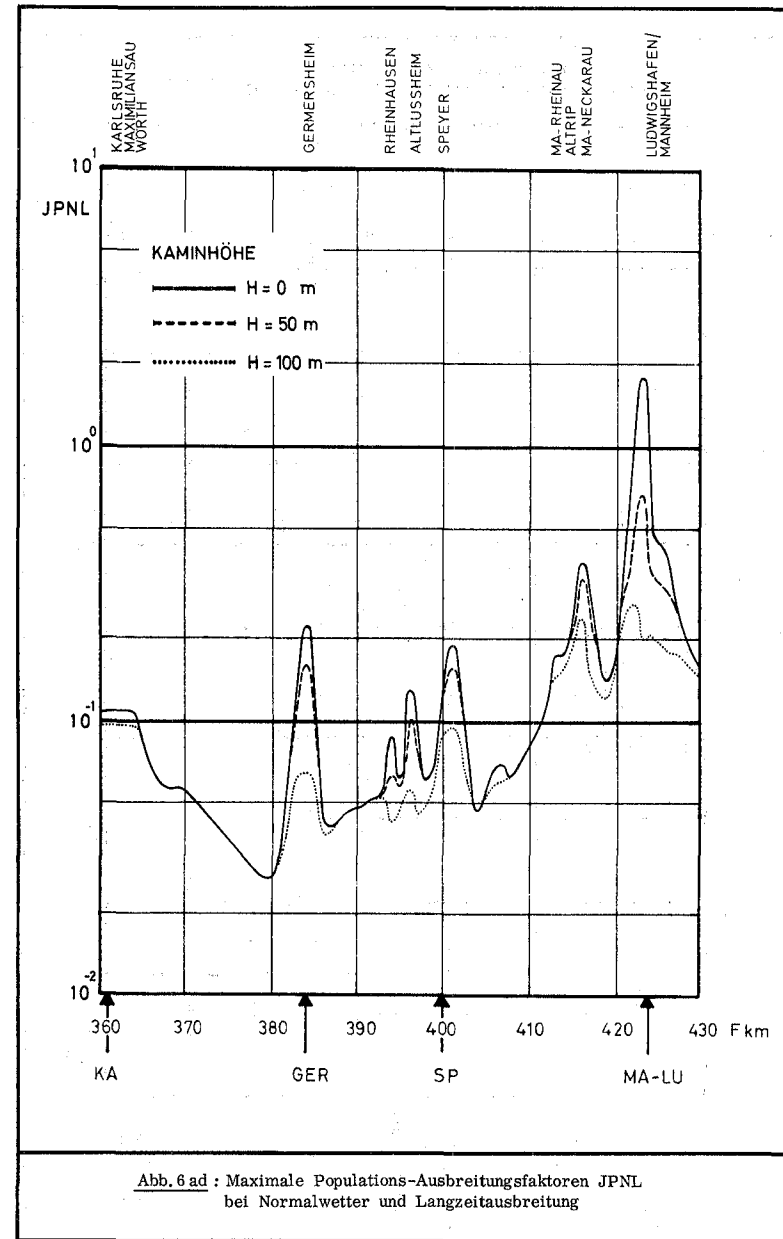
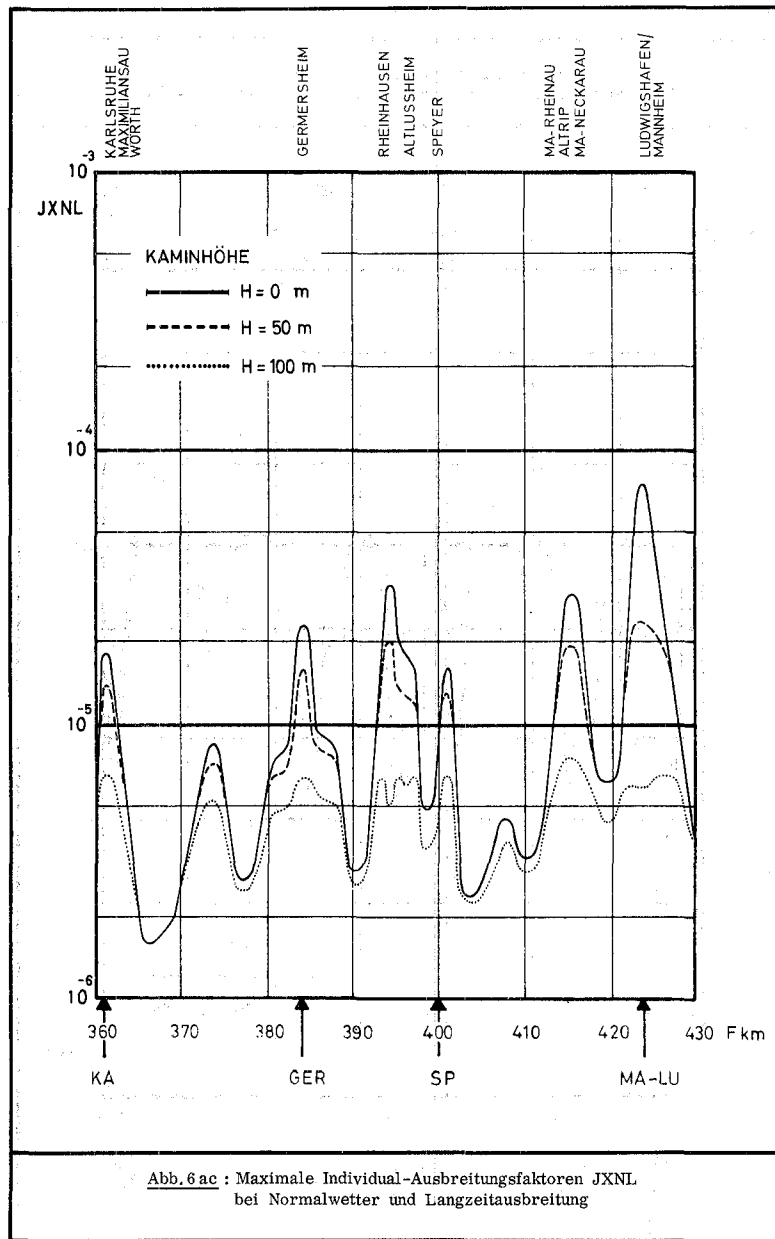
Abb. 4 : Vereinfachtes Flußdiagramm des Programms "MIPAF"

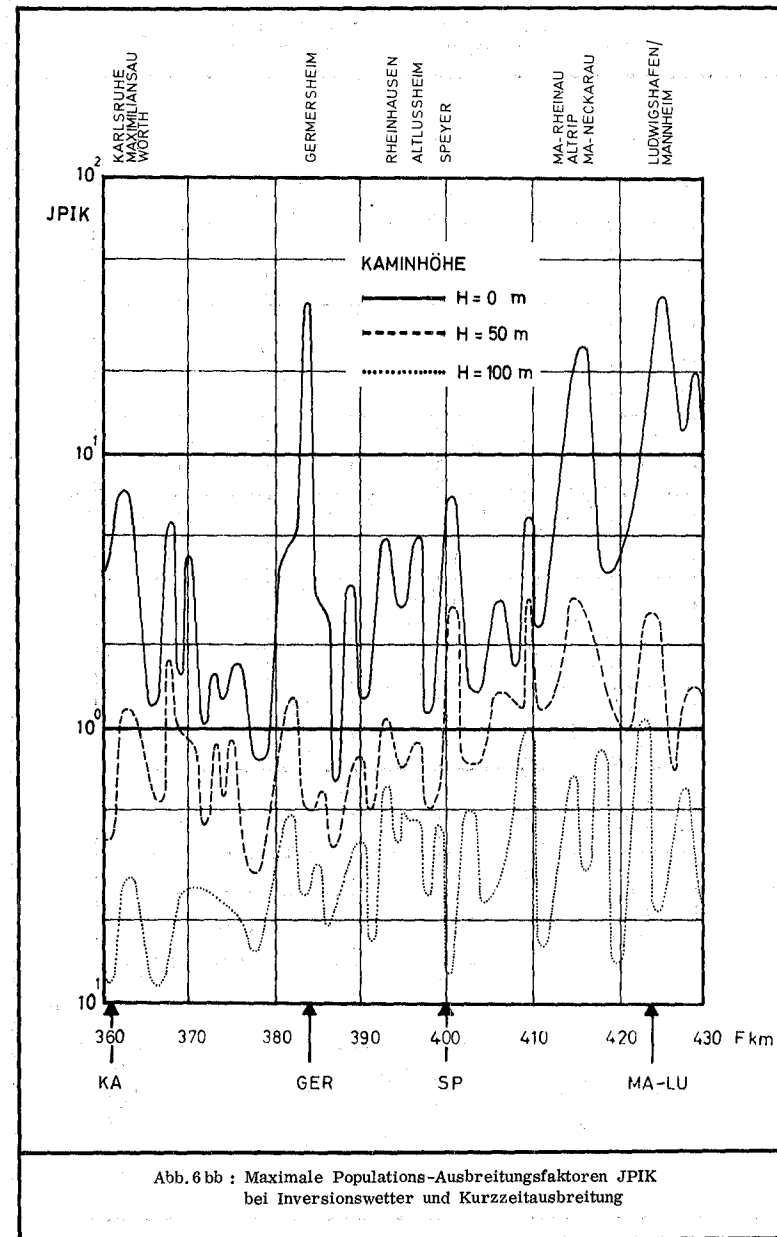
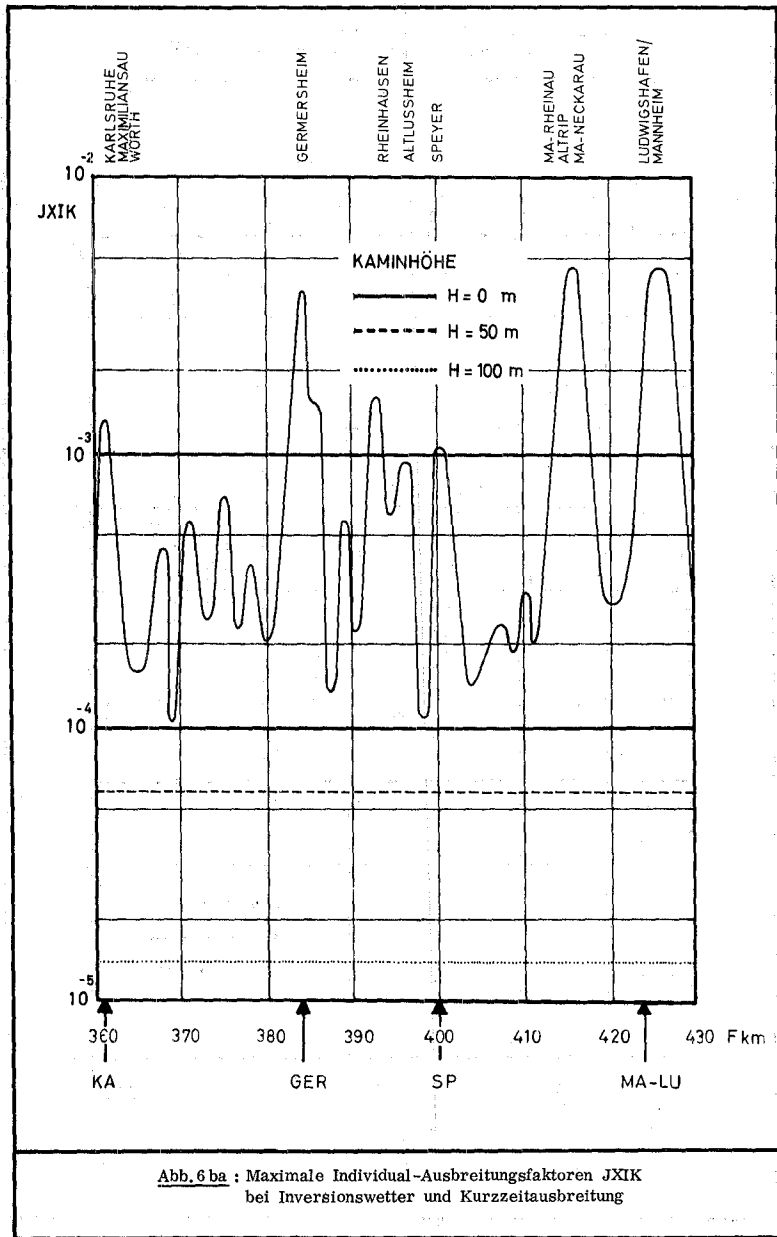
Ohne Berücksichtigung von

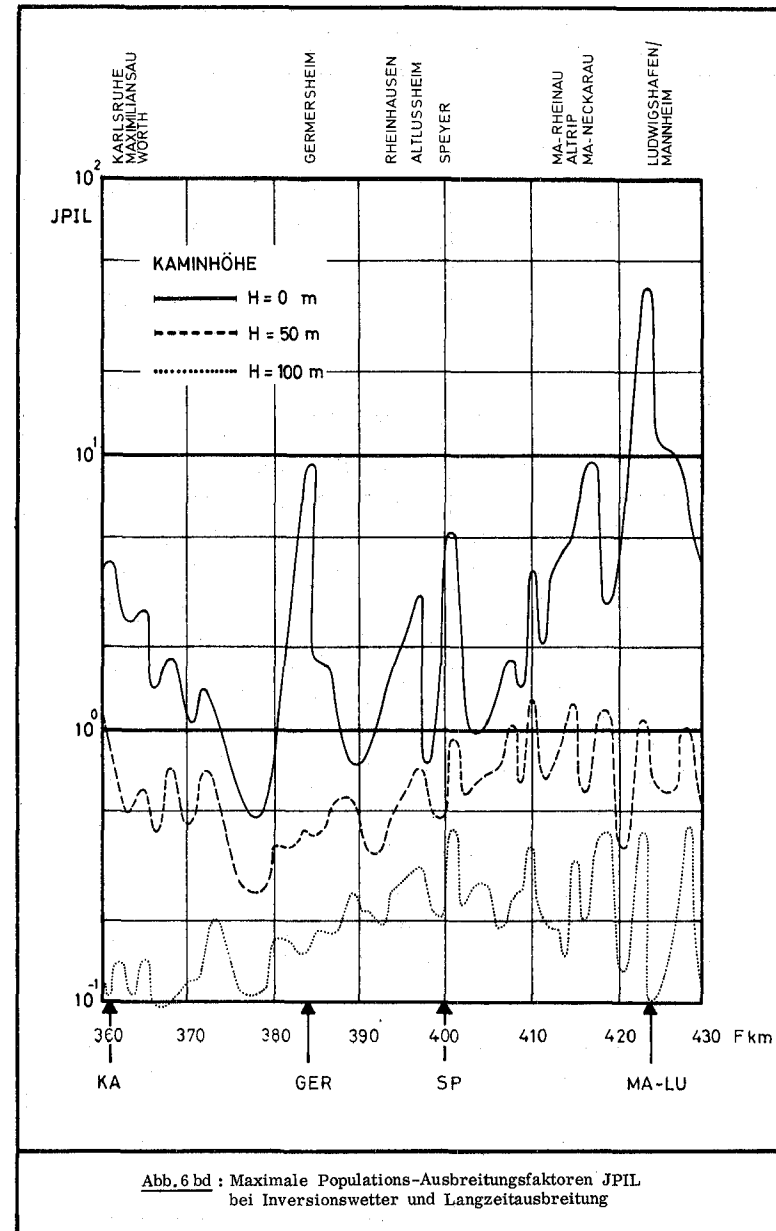
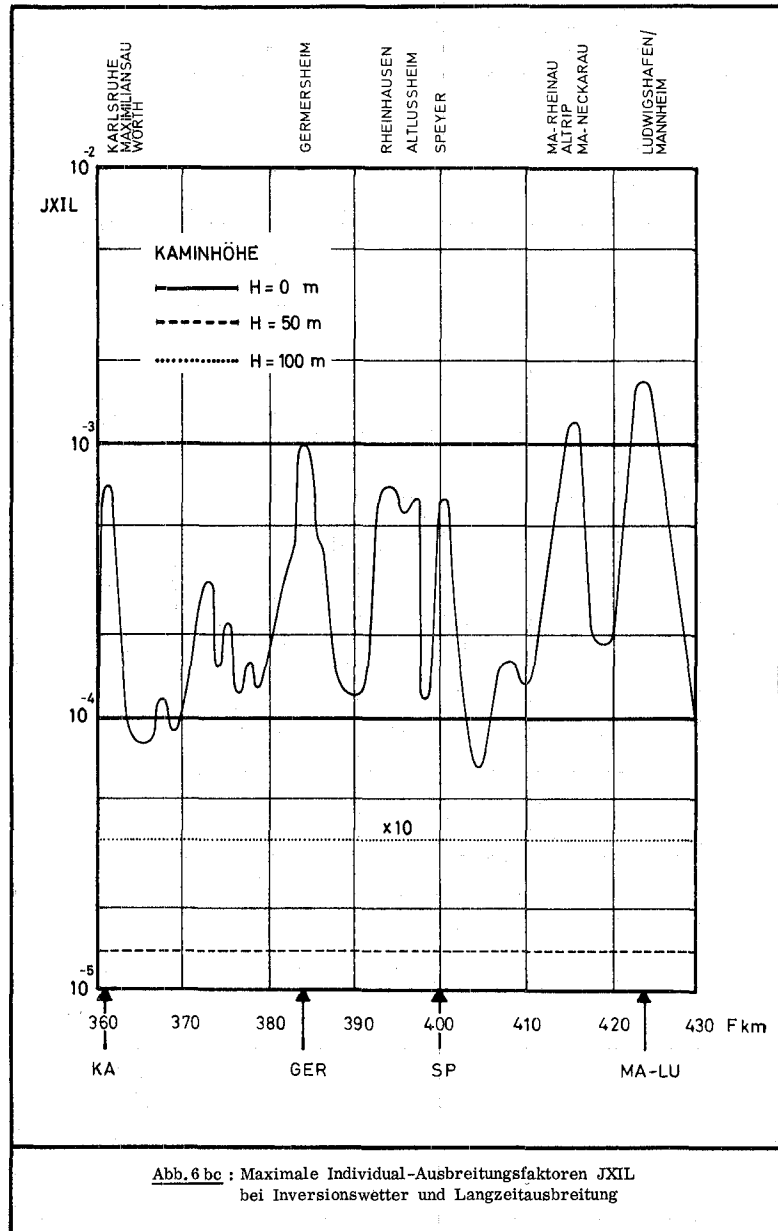
1. Inversionswetterlage,
2. Kaminhöhe,
3. Kennzahlen, Indizes, Kennzeichnung der Windrichtung etc.

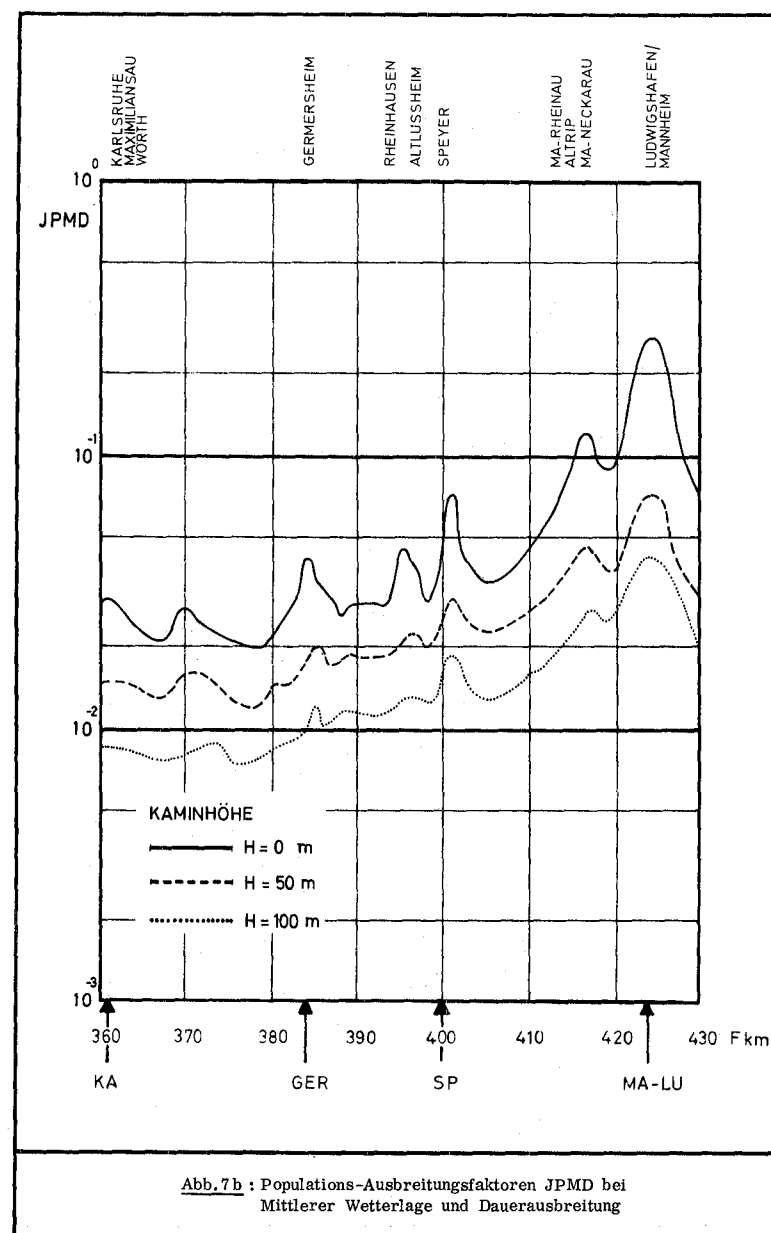
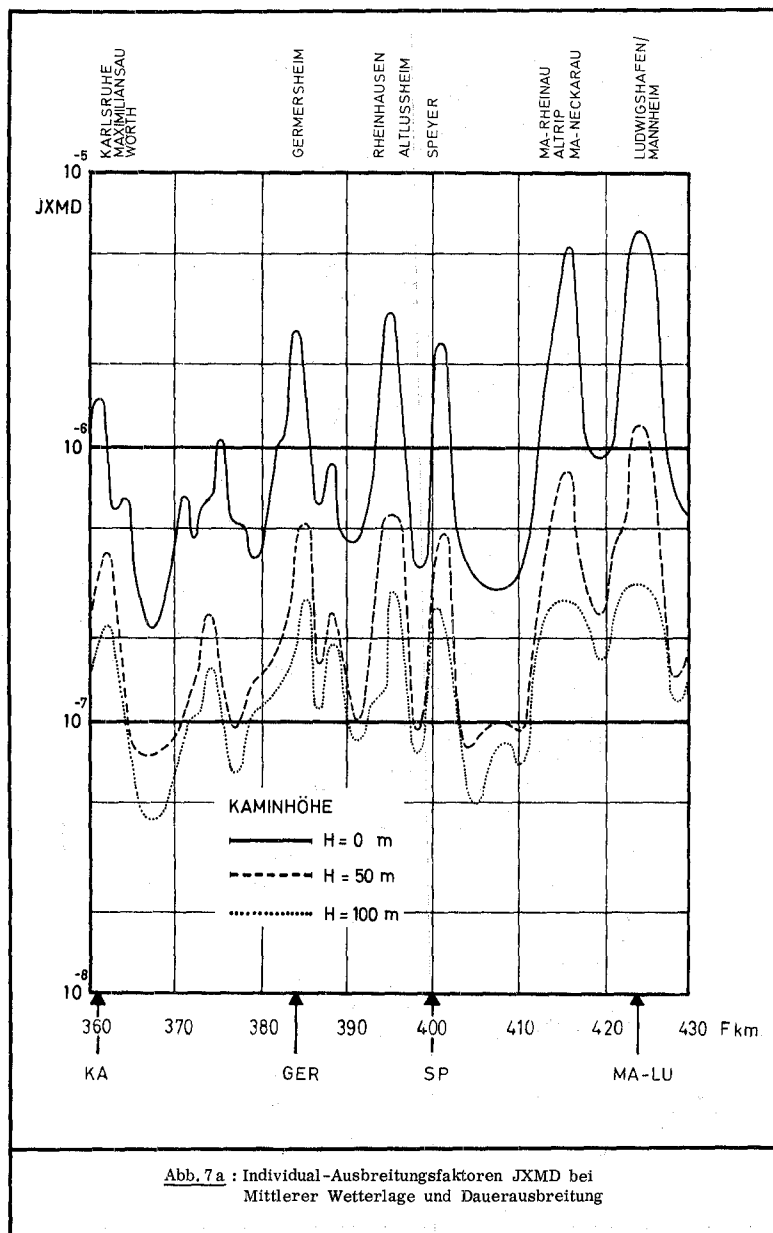


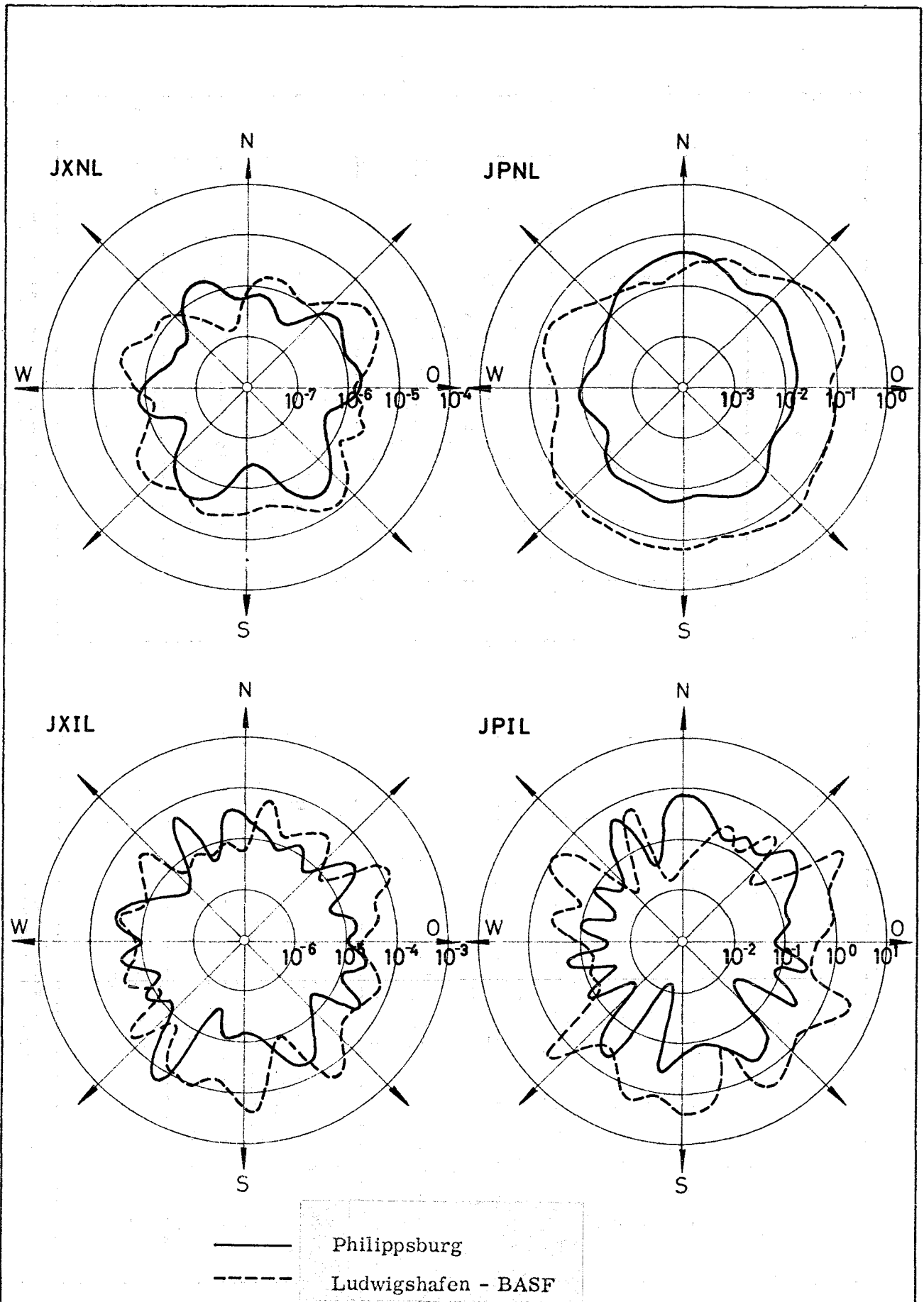






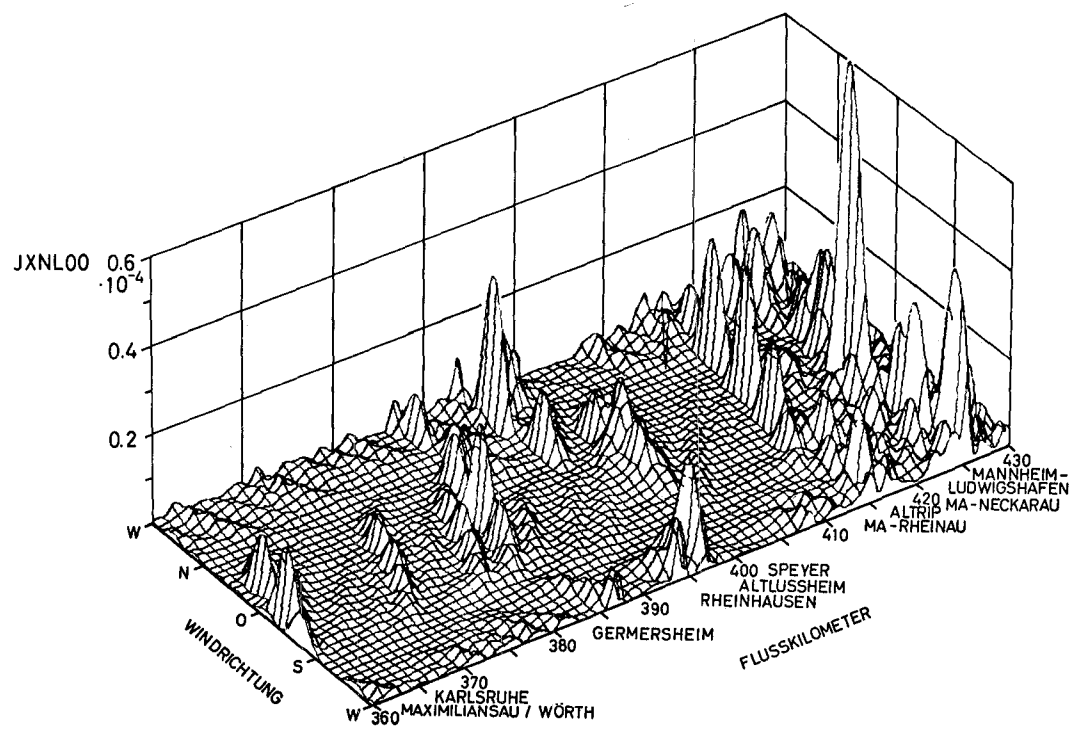




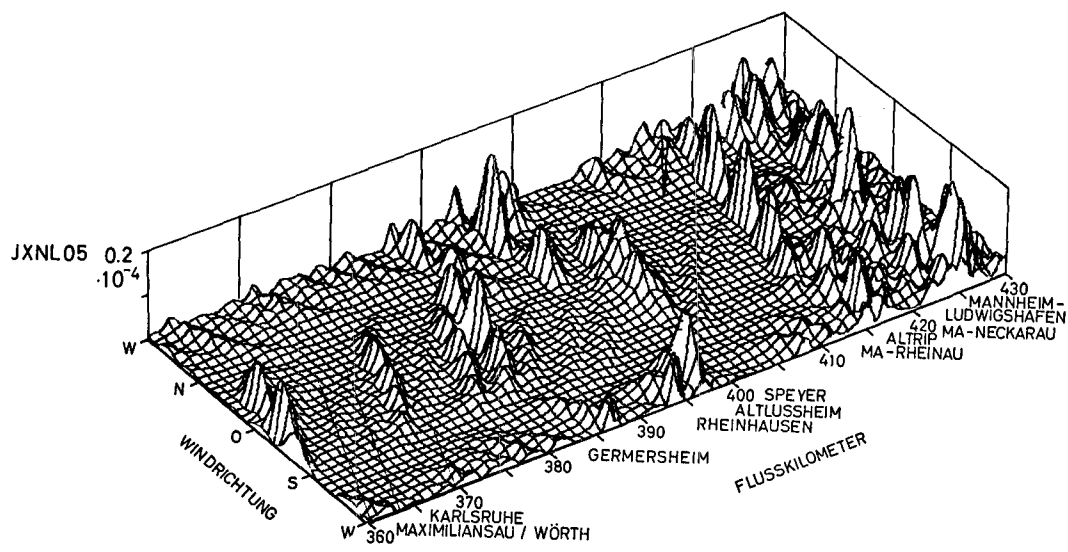


**Abb. 8 :** Windrichtungsabhängige Individual-Ausbreitungsfaktoren JXNL und JXIL und Populations-Ausbreitungsfaktoren JPNL und JPIL bei Normal- sowie Inversionswetter und Langzeitausbreitung (H = 0 m)

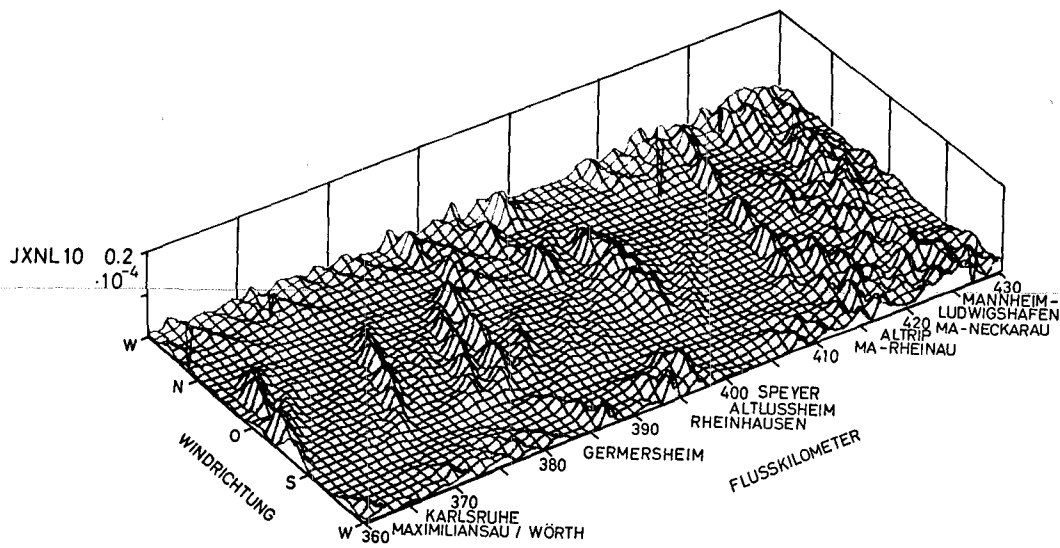




H = 0 m



H = 50 m



H = 100 m

Abb.5 aa : Windrichtungsabhängige Individual-Ausbreitungsfaktoren JXNL  
bei Normalwetter und Langzeitausbreitung

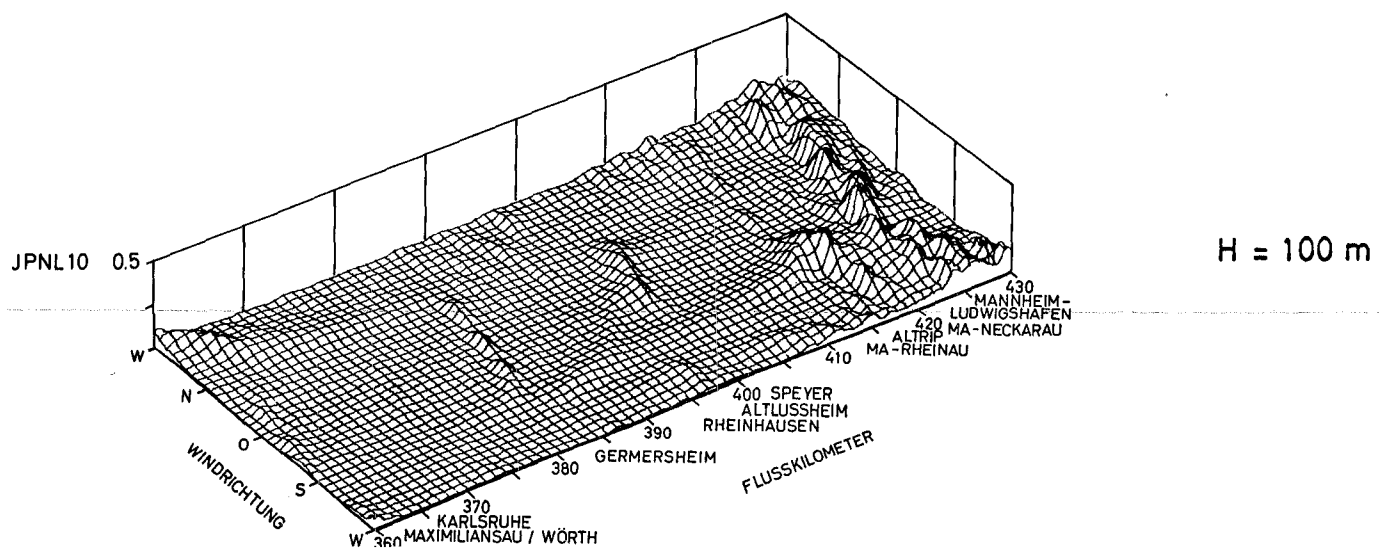
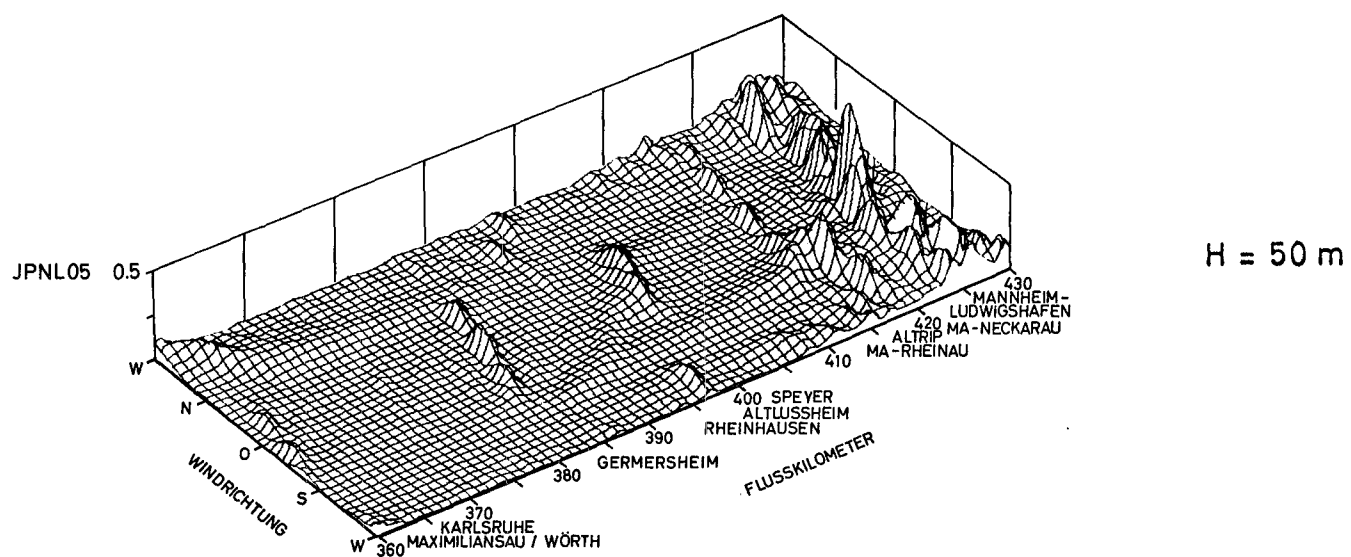
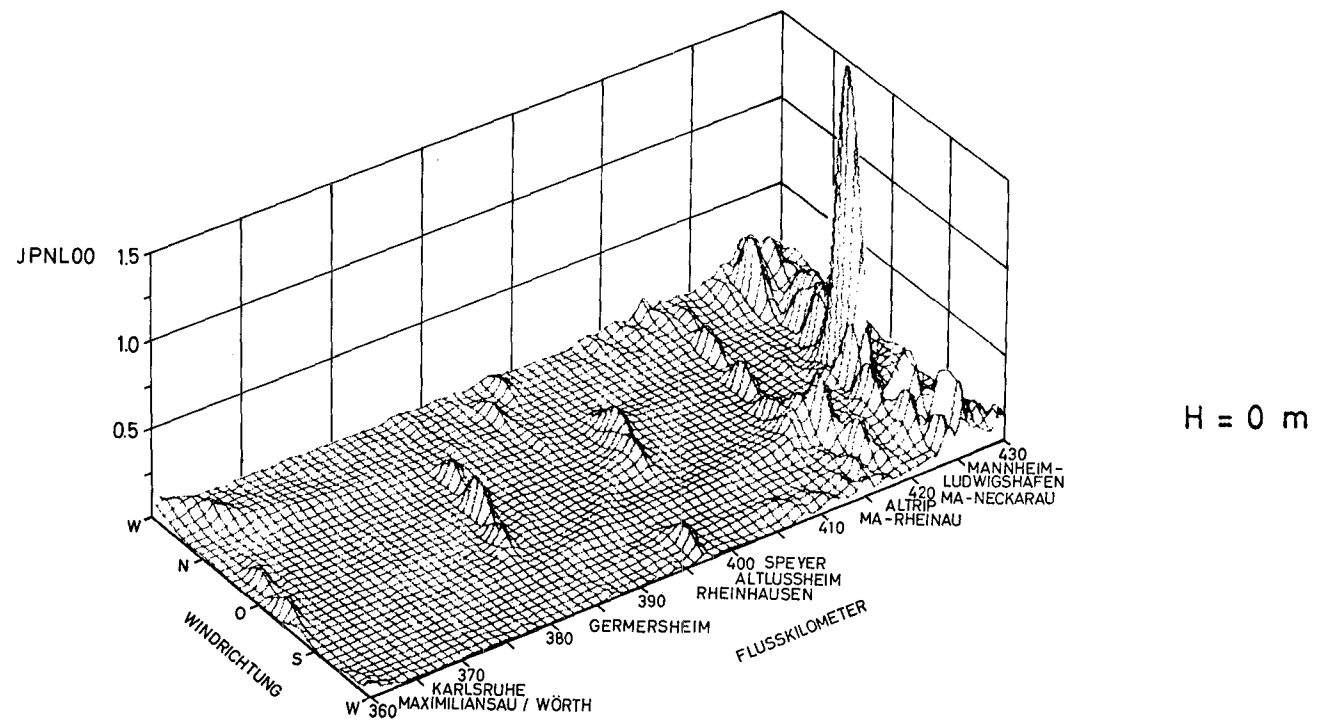
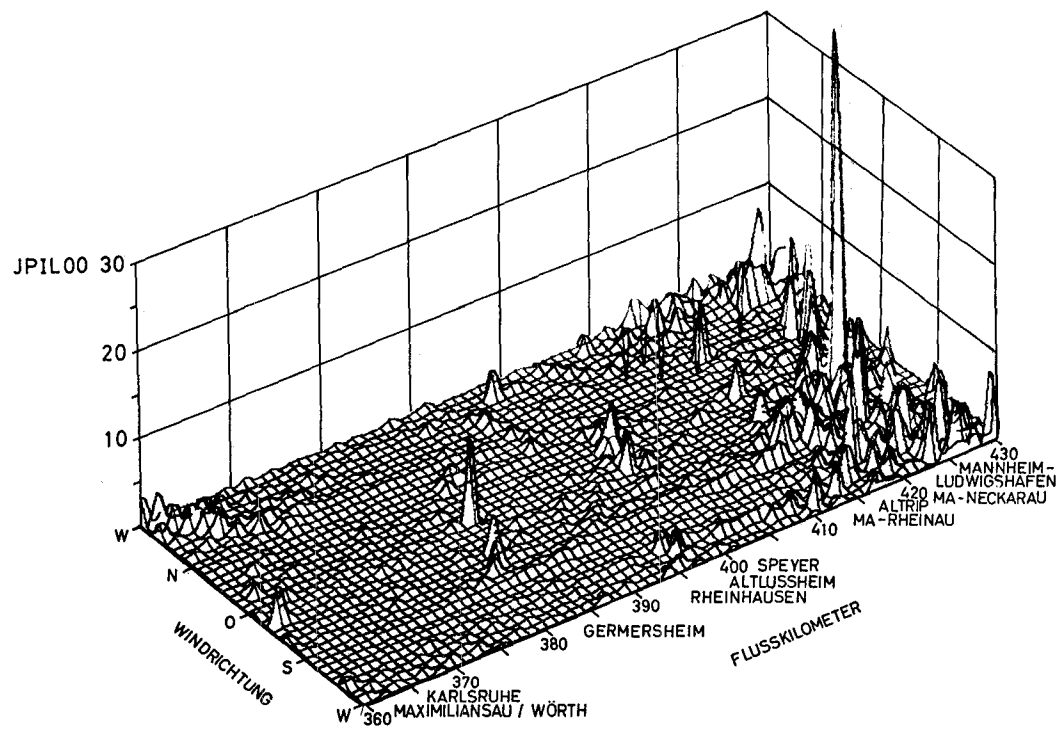
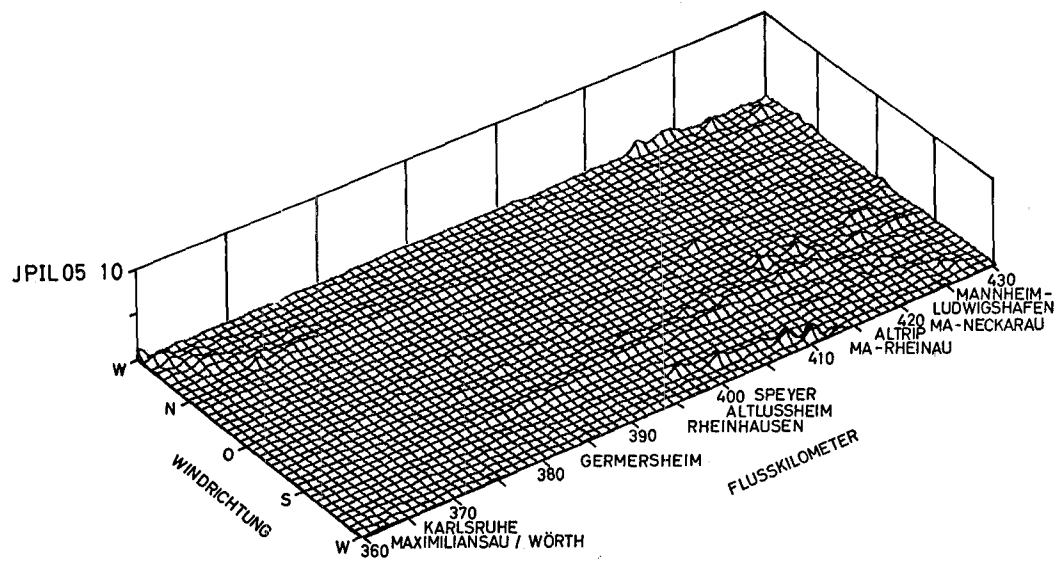


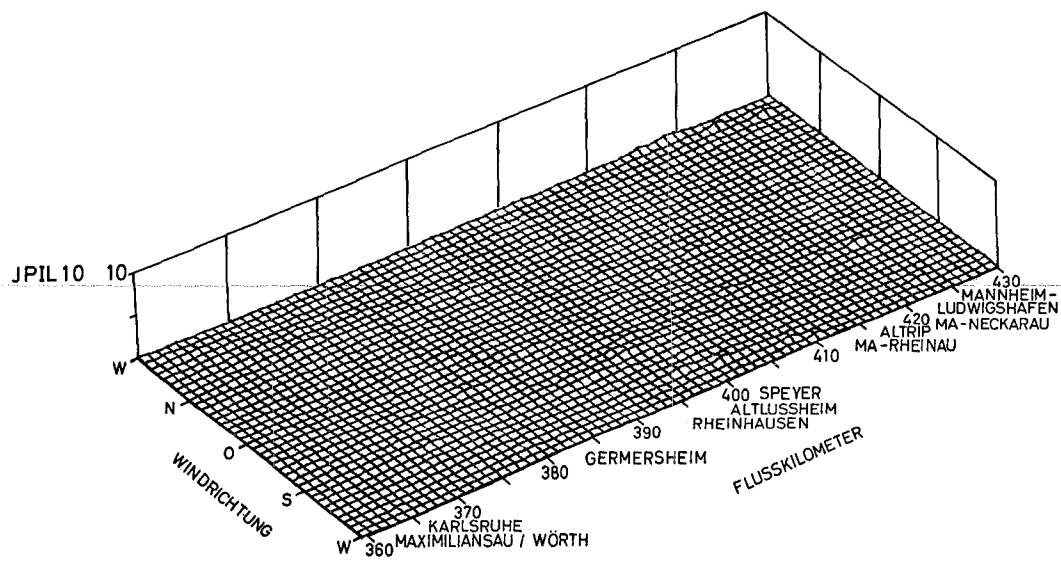
Abb.5 ab : Windrichtungsabhängige Populations-Ausbreitungsfaktoren JP NL  
bei Normalwetter und Langzeitausbreitung



H = 0 m

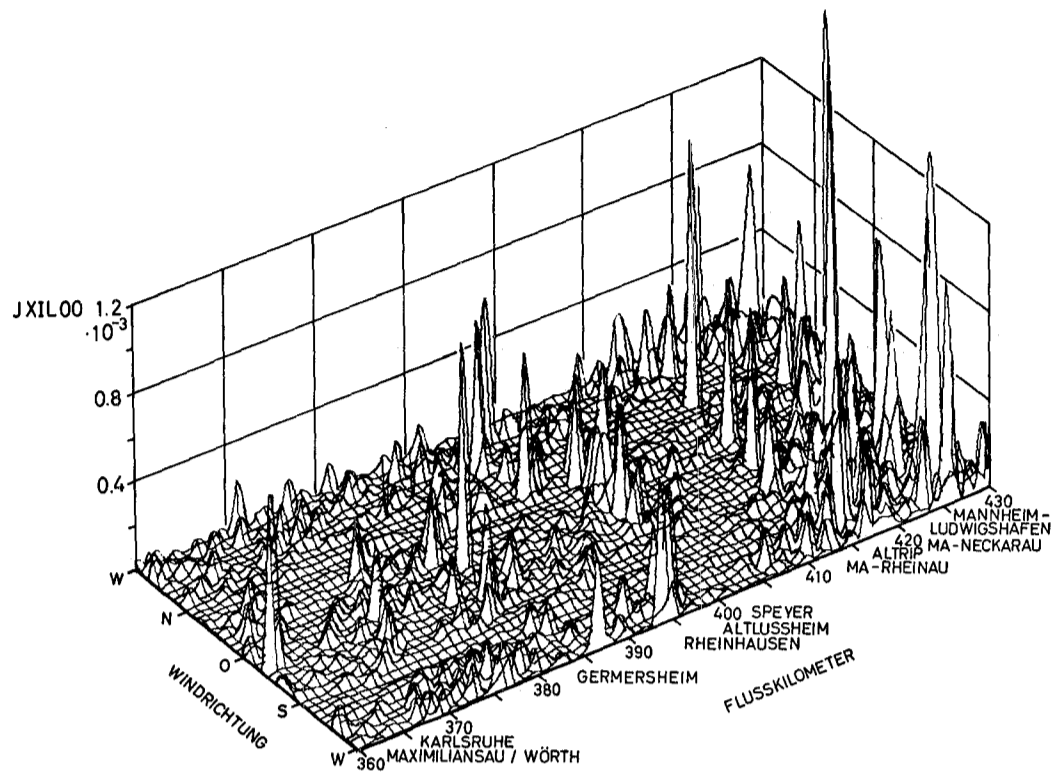


H = 50 m

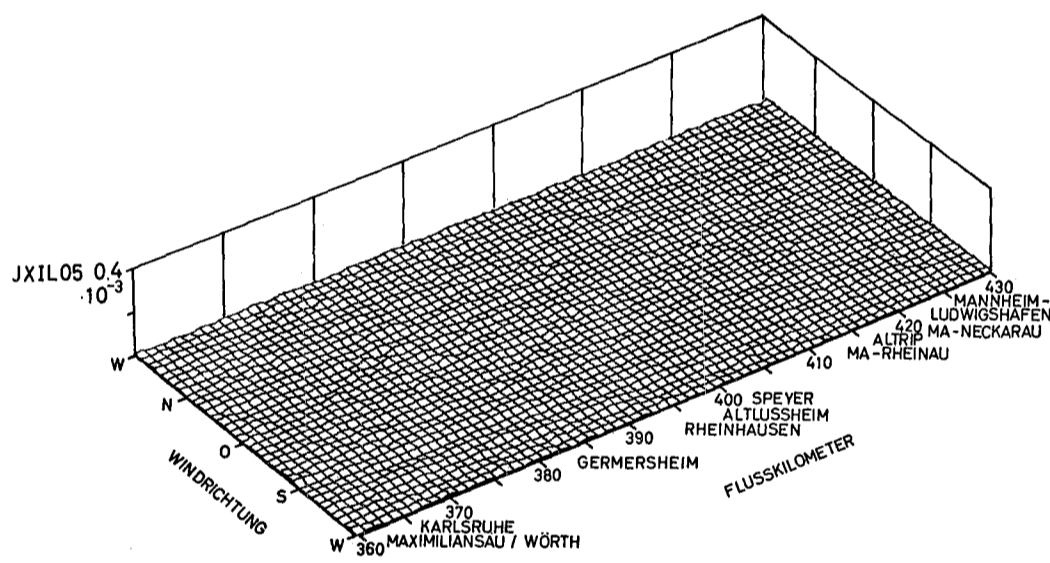


H = 100 m

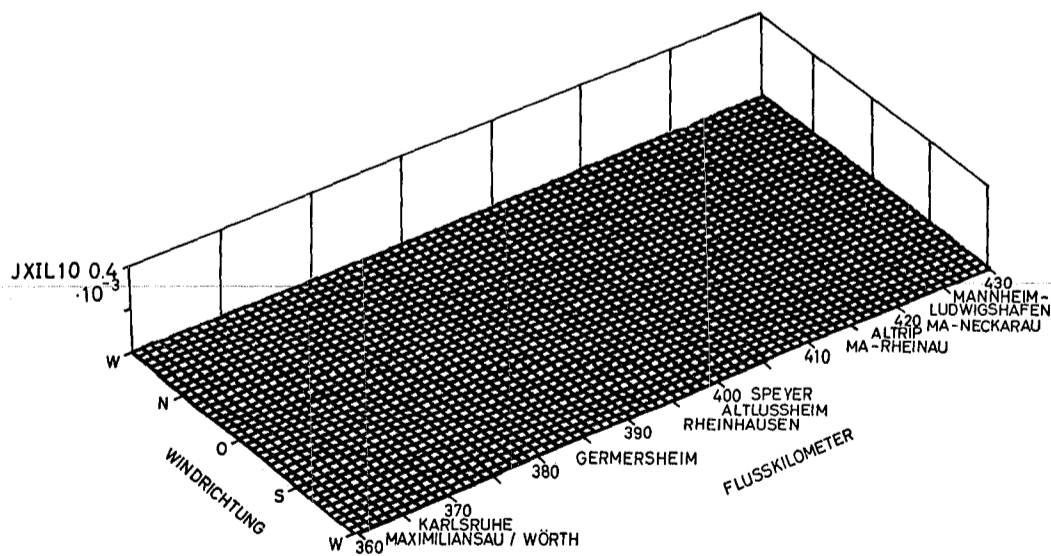
Abb. 5 bb : Windrichtungsabhängige Populations-Ausbreitungsfaktoren JPIL  
bei Inversionswetter und Langzeitausbreitung



H = 0 m



H = 50 m



H = 100 m

Abb. 5 ba : Windrichtungsabhängige Individual-Ausbreitungsfaktoren JXIL  
bei Inversionswetter und Langzeitausbreitung