

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

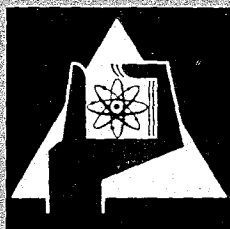
September 1967

KFK 646

Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik

Die Ausbreitung der radioaktiven Wolke und die zu
erwartenden Inhalationsdosen

A. Bayer



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.

KARLSRUHE



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

September 1967

KFK 646

Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik

Die Ausbreitung der radioaktiven Wolke und die zu
erwartenden Inhalationsdosen

(Ansatz zu einer meteorologisch neutralen Beurteilung von Reaktorstandorten)

von

A. Bayer

Gesellschaft für Kernforschung m.b.H., Karlsruhe

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

PHYSICS DEPARTMENT

PHYSICS 435

LECTURE 1

INTRODUCTION

1.1. THE CLASSICAL LIMIT

1.2. QUANTUM MECHANICS

1.3. SUMMARY

1.4. REFERENCES

I n h a l t s v e r z e i c h n i s

	Seite
Zusammenfassung	2
Einleitung	3
1. Mathematische Beschreibung der atmosphärischen Ausbreitung	4
1.1 Ausbreitung bei kurzem Ausfluß	5
1.2 Ausbreitung bei längerem Ausfluß	8
1.3 Ausbreitung bei kontinuierlichem Ausfluß	9
2. Vergleich der Modelle und konservative Abschätzung	9
2.1 Gültigkeit und Genauigkeit der Modelle	9
2.2 Konservative Abschätzung (Standard-Ausbreitungs- faktoren)	10
2.3 Vergleich mit Messungen	13
3. Berechnung der Inhalationsdosis	15
3.1 Diskussion der Voraussetzungen	15
3.2 Berechnung der Ausflußgefährdung	17
3.3 Vergleich und konservative Abschätzung der Inhalationsdosis (Standard-Inhalationsdosen)	20
4. Meteorologisch neutrale Beurteilung von Reaktor- standorten	22
Literaturverzeichnis	23
Erläuterungen zu den Abbildungen	25

Zusammenfassung

Es werden die zur Beschreibung der Ausbreitung einer radioaktiven Wolke von SUTTON, BLÄSSER-WIRTZ, DINUNNO et al. und PASQUILL benutzten Formeln und die dazugehörigen Parameter diskutiert. Für Kaminhöhen von $H = 0$ m, 50 m und 100 m werden die daraus resultierenden Ausbreitungsfaktoren für Quellabstände bis 100 km angegeben. Die erhaltenen Ergebnisse werden verglichen und eine konservative Abschätzung der Ausbreitungsfaktoren vorgeschlagen, die als Standard-Ausbreitungsfaktoren dienen können. Mit Hilfe der für einen vorgegebenen Maximum-Credible-Accident (MCA) auftretenden Ausflußgefährdung werden, unter Verwendung dieser konservativen Abschätzung, die Jod-Inhalationsdosen ermittelt. Schließlich wird eine Anleitung zur meteorologisch neutralen Beurteilung der Belastung des Individuums bei einem Unfall angegeben.

Einleitung

Für die in den nächsten Jahren zu errichtenden großen Kernkraftwerke werden im steigenden Maße auch Standorte in unmittelbarer Nähe von Ballungszentren vorgesehen. Diese Kernkraftwerke müssen so ausgelegt sein, daß sie sowohl bei Normalbetrieb, als auch unter Unfallbedingungen die jeweils vorgeschriebenen Grenzdosen, selbst unter ungünstigsten meteorologischen Gegebenheiten, nicht überschreiten. Für solche Standorte ist deshalb eine meteorologische Analyse von untergeordneter Bedeutung, da die Sicherheitsvorkehrungen so ausgelegt sein müssen, daß diese Kraftwerke als meteorologisch neutral bezeichnet werden können.

Der erste Schritt, in Richtung einer meteorologisch neutralen Beurteilung von Reaktorstandorten, ist die Aufstellung einer konservativen Standard-Ausbreitungskurve, welche die Ausbreitungsfaktoren für alle Wetterlagen einschließt. Als Vorlagen für diese Aufstellung, die in den nächsten Abschnitten erfolgt, dienen die aufgrund von Wetterbeobachtungen aufgestellten Ausbreitungsfaktoren nach Angaben von SUTTON, BLÄSSER-WIRTZ, DINUNNO et al. und PASQUILL, die im folgenden beschrieben und gemeinsam abgeschätzt werden.

1. Mathematische Beschreibung der atmosphärischen Ausbreitung

Die Ausbreitung von Verunreinigungen bzw. Schadstoffen in der Luft wird durch zwei Prozesse bestimmt, nämlich durch Transport und durch Diffusion. Durch Transport werden die Verunreinigungen zu anderen Orten befördert, durch Diffusion werden sie in der umgebenden Luft verdünnt.

Zur Berechnung des meteorologischen Ausbreitungsfaktors J, der anschaulich das von einer Einheitsquelle herrührende zeitliche Konzentrationsintegral darstellt, aufgrund der beiden genannten Prozesse in der Umgebung einer punktförmigen Quelle wird meist die SUTTON-Formel benutzt [1]. Diese Formel lautet für einen Beobachter in Bodennähe ($z = 0$)

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

Für einen Beobachter, der sich in Windrichtung zur Quelle aufhält ($y = 0$), vereinfacht sich obiger Ausdruck zu

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

Dabei sind: J = Ausbreitungsfaktor [$\text{sec} \cdot \text{m}^{-3}$]

x = Abstand des Beobachters von der Quelle [m]

H = Schornsteinhöhe [m]

\bar{u} = mittlere Windgeschwindigkeit [$\text{m} \cdot \text{sec}^{-1}$]

n = meteorologischer Exponent

C_y, C_z = Diffusionsparameter [$\text{m}^{n/2}$]

Der SUTTON-Formel liegen die Annahmen zugrunde, daß die Konzentrationsverteilungen sowohl in der Vertikalen als auch in der Horizontalen Gauß'sche Verteilungen sind, und daß sich die Dimension der Wolke nicht wesentlich in der Zeit verändert, in der die Wolke über den Beobachter hinwegzieht. Weiterhin wird durch Einführung einer mittleren Windgeschwindigkeit \bar{u} die Höhenabhängigkeit derselben vernachlässigt.

Die Parameter n , C_y und C_z hängen von der jeweiligen Wetterlage ab; ihnen werden, je nach den erhaltenen Beobachtungsergebnissen von den verschiedenen Autoren unterschiedliche Werte zugeordnet.

Nach Multiplikation des Ausbreitungsfaktors J mit der Quellstärke Q [sec^{-1}] erhält man die Konzentration χ [m^{-3}]

$$\chi = Q \cdot J \quad (1-3)$$

während nach Multiplikation mit der Auflußgefährdung G_e [$\text{rem} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$] sich die Inhalationsdosis I [rem] ergibt.

$$I = G_e \cdot J \quad (1-4)$$

Die bisherigen Überlegungen bezogen sich auf das Zeitintegral, das in den meisten Fällen von Interesse ist. Für zeitabhängige Betrachtungen $\chi(t)$ bzw. $I(t)$ muß zusätzlich die durch die endliche Windgeschwindigkeit bedingte Verzögerung zwischen Quelle und Beobachter in Rechnung gezogen werden.

1.1 Ausbreitung bei kurzem Ausfluß

Im folgenden werden für kurze Ausflüsse, bei denen Windschwankungen noch unberücksichtigt bleiben können, die von den verschiedenen Autoren angegebenen Parameter zitiert und die resultierenden Ausflußfaktoren J für die Kaminhöhen $H = 0 \text{ m}$, 50 m und 100 m angegeben.

a) SUTTON

SUTTON [¹] empfiehlt aufgrund von Messungen bei Porton (England) für die Abschätzung der Diffusion über Ebenen bei adiabatischem Temperaturabfall und mäßigem Wind folgende Parameter:

$$n = 0,25 ; C_y = 0,23 \text{ m}^{1/8} ; C_z = 0,12 \text{ m}^{1/8} \quad (\text{s}).$$

Der Abfall der Diffusionsparameter mit steigender Höhe H wird durch folgende empirische Formel wiedergegeben

$$C = C(0) - 0,075 \log_{10} H \quad H \text{ [m]} \quad (1-5)$$

Die resultierenden Ausbreitungsfaktoren $J(S)$ in Abhängigkeit vom Quellabstand x für die mittlere Windgeschwindigkeit $\bar{u} = 1 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ sind für $H = 0 \text{ m}$, 50 m und 100 m in die Abbildung 1, 2 und 3 eingetragen. SUTTON [2] weist darauf hin, daß für Fabrikschornsteine im Flachland die Konzentrationswerte von den wahren Werten bis zu einer Quelldistanz von 10 km höchstens um den Faktor 2 und in größeren Entfernungen höchstens um den Faktor 5 voneinander abweichen.

b) BLÄSSER-WIRTZ

Bei BLÄSSER-WIRTZ [3] werden zwei Standard-Wetterlagen mit folgenden Parametern unterschieden:

Normalwetter: $n = 0,25$; $C_y = 0,23 \text{ m}^{1/8}$; $C_z = 0,23 \text{ m}^{1/8}$ (BW_N)

Inversionswetter: $n = 0,5$; $C_y = 0,1 \text{ m}^{1/4}$; $C_z = 0,06 \text{ m}^{1/4}$ (BW_I)

Die Parameterwahl für Inversion entspricht einer Angabe von CHAMBERLAIN und MEGAW [4], die für Normalwetterlage den ursprünglichen Angaben von SUTTON [1] außer der Annahme isotroper Diffusion und dadurch bedingter Verdopplung des Wertes von C_z , was bei $H \neq 0$ und in Quellnähe zu einer konservativen Abschätzung führt. Die Ausbreitungsfaktoren J (BW_N und BW_I) sind für $\bar{u} = 1 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ ebenfalls in die Abbildungen 1, 2 und 3 eingetragen.

BLÄSSER-WIRTZ [3] führen sowohl Messungen bei Normalwetter an, bei denen in einem Quellabstand von 10^3 bis 10^4 m die Abweichungen von den Vorhersagen höchstens den Faktor 2 betragen, als auch Messungen in Oak-Ridge und Brookhaven, die auch die theoretisch schwerer zu erfassenden Inversionswetterlagen mitberücksichtigten, und bei denen 65 % aller Beobachtungen um weniger als den Faktor 5 und 95 % um weniger als den Faktor 10 vom theoretischen Wert abwichen.

c) DINUNNO et al.

Von DINUNNO et al. [5] wurden meteorologische Parameter für langsame Dispersion ausgewählt. Solche Bedingungen herrschen in den meisten Gegenden der USA in 15 % bis 25 % der Zeiträume.

$$n = 0,5; C_y = 0,4 \text{ m}^{1/4}; C_z = 0,07 \text{ m}^{1/4}; \bar{u} = 1 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad (\text{D})$$

Die Ausbreitungsfaktoren $J(D)$, die etwa der PASQUILL'schen Stabilitätskategorie F entsprechen (siehe Abschnitt d)), sind ebenfalls in den Abbildungen 1, 2 und 3 vermerkt.

d) PASQUILL

PASQUILL [6, 7] schlägt sechs verschiedene Stabilitätskategorien der Wetterlage A-F vor (Tabelle 1.1)

Tabelle 1.1

PASQUILL'sche Stabilitätskategorien

Stabilitätskategorie	Windgeschwindigkeit [m · sec ⁻¹]	Wetterlage
A	1	sehr sonniges Sommerwetter
B	2	sonnig und warm
C	5	teilweise bedeckt während des Tages
D	5	bedeckt (Tag oder Nacht)
E	3	teilweise bedeckt während der Nacht
F	2	klare Nacht

Nach einer von ihm angegebenen vereinfachten Beziehung errechnet sich der Ausbreitungsfaktor J zu

$$J = \frac{168}{\theta \cdot h \cdot \bar{u} \cdot x} \cdot \exp \left\{ -2,303 \frac{H^2}{h^2} \right\} \quad (1-6)$$

θ = Laterale Verbreiterung der Abluftfahne

h = Vertikale Verbreiterung der Abluftfahne

Für die Stabilitätskategorien A-F sind die Faktoren θ und h in Abhängigkeit von x bei PASQUILL aufgezeigt [6, 7]. PASQUILL [6, 7] und MEAD [8] geben außerdem an, daß die Berechnung der Konzentration nur angenäherte Werte zu liefern vermag. So zeigt zum Beispiel MEAD [8], daß h nur in einigen Fällen bis auf den Faktor 2 genau bestimmt werden kann.

Die von BRYANT [9] aufgrund dieser Daten errechneten Ausbreitungsfaktoren J ($P_A \dots P_F$) sind in die Abbildungen 1, 2 und 3 mit eingetragen.

1.2 Ausbreitung bei längerem Ausfluß

Während einer längeren Zeitdauer (z. B. einige Stunden), in der der Hauptanteil der Aktivität ausfließt, bleiben im allgemeinen Windrichtung, Windgeschwindigkeit und die meteorologischen Parameter nicht konstant, sondern sie weisen zeitliche Schwankungen statistischen Charakters auf. Meist schwankt selbst bei konstanter Wetterlage und konstanter Hauptwindrichtung der Wind noch in einem Intervall Δ . In diesem Fall muß man einen mittleren Ausbreitungsfaktor \bar{J} formulieren, bei dem die Schwankungserscheinungen mit berücksichtigt werden.

a) BLÄSSER-WIRTZ

Bei BLÄSSER-WIRTZ [3] wurden die von WANTA [10] angegebenen Winkelstreuungen übernommen. Sie betragen

für Normalwetter $\Delta \approx 30^\circ$

für Inversionswetter $\Delta \approx 7,5^\circ$

Die über diese Winkel gemittelten Ausbreitungsfaktoren \bar{J} (BW_N und BW_I) sind aus den Abbildungen 4, 5 und 6 ersichtlich.

b) PASQUILL

Der von PASQUILL [6, 7] für eine kurze Freisetzung aufgestellte Ansatz zur Berechnung des Ausbreitungsfaktors J wurde von BEATTIE [11] auf eine sechs Stunden dauernde Freisetzung unter Berücksichtigung der Windschwankungen erweitert. Die Ergebnisse für die C-D-Kategorien \bar{J} (P_{C-D} (6h)) und für die F-Kategorie \bar{J} (P_F (6h)) sind ebenfalls in den Abbildungen 4, 5 und 6 vermerkt.

1.3 Ausbreitung bei kontinuierlichem Ausfluß

Auf PASQUILL [6, 7] aufbauend, hat BRYANT [9] die kontinuierliche Freisetzung untersucht. Dabei nahm sie eine für England typische Wetterzusammensetzung der Kategorien A-F und ein gleichmäßiges Drehen des Windes um den vollen Winkel 2π an. Ihre Ergebnisse \bar{J} (P_{A-F} ($\tau = \infty$)) sind zusätzlich in den Abbildungen 4, 5 und 6 angezeigt.

2. Vergleich der Modelle und konservative Abschätzung

2.1 Gültigkeit und Genauigkeit der Modelle

Im Ansatz der Modelle wird stets von einer freien Punktquelle ausgegangen. Diese Voraussetzung ist jedoch bei Reaktoranlagen ($H \approx 0$) mit voluminösen Druckbehältern, aus denen bei einem eintretenden Unfall durch eventuell vorhandene Lecks radioaktive Gase austreten können, in unmittelbarer Nähe der Anlage keineswegs erfüllt. Erst in einigen hundert Metern Entfernung darf der Druckbehälter als näherungsweise punktförmig betrachtet werden, so daß erst dort die Modelle strenge Gültigkeit besitzen.

Beim Austritt der Abgase aus dem Kamin ($H \neq 0$) ist zwar das Punktmodell besser erfüllt, doch hat GEISLER [12] darauf hingewiesen, daß die SUTTON'schen Formeln für Schornsteinnähe nicht gelten, so daß auch hier die Beschreibung des Ausbreitungsfaktors J erst in einigem Abstand zum Tragen kommt.

Aus den bei SUTTON, BLÄSSER-WIRTZ und PASQUILL zitierten Angaben über die Genauigkeit der vorgeschlagenen mathematischen Beschreibungen läßt sich übereinstimmend entnehmen, daß in Gebieten nahe der Quelle (ca. 1 km - 10 km) Abweichungen zwischen Modell und tatsächlicher Beobachtung von der Größe des Faktors 2 auftreten. Für größere Entfernungen werden die Abweichungen noch bedeutender. Diese Ungenauigkeiten sind zu berücksichtigen, wenn die Modelle in Relation zueinander gesetzt werden.

2.2 Konservative Abschätzung (Standard-Ausbreitungsfaktoren)

Um bei der Berechnung der möglichen Inhalationsdosis I nach Abgabe von aktiven Stoffen aus einer Reaktoranlage die Diskussion über den, vom angewandten meteorologischen Modell und jeweiliger Wetterlage abhängigen Ausbreitungsfaktor J künftig auszuschließen, empfiehlt sich die Einführung einer wetterunabhängigen Ausbreitungskurve J_0 , die als Standardkurve dienen kann. Diese sollte in nicht zu großzügiger Weise, um die daraus resultierenden Reaktorauslegungsdaten nicht unnötig zu verschärfen, alle bisherigen mathematischen Beschreibungen der Ausbreitung einer radioaktiven Wolke bei allen Wetterlagen in konservativer Weise einschließen. Derartige einhüllende Kurven (P bzw. $P(6h)$) wurden zum Beispiel über die Ausbreitungsfaktoren nach den PASQUILL'schen Stabilitätskategorien gelegt (Abbildung 1 bis 6).

Um die Kurvenverläufe der Ausflußfaktoren J der verschiedenen Autoren zu vergleichen und eine gemeinsame Einhüllende zu finden, ist es sinnvoll, die errechneten Werte zunächst auf eine gemeinsame Windgeschwindigkeit zu beziehen. Während den Berechnungen nach SUTTON, BLÄSSER-WIRTZ und DINUNNO eine mittlere Geschwindigkeit

von $\bar{u} = 1 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ unterlegt ist, sind wie aus Tabelle 1.1 ersichtlich, bei PASQUILL Windgeschwindigkeiten von 1 m bis 5 m angenommen. Durch Umrechnung der PASQUILL'schen Kurven auf $\bar{u} = 1 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ ergeben sich die neuen Einhüllenden P_1 bzw. $P_1(6h)$ (Abbildung 1 bis 6), wobei sich P_1 nur unwesentlich von der Einhüllenden über die Ausbreitungsfaktoren nach HILSMEIER-GIFFORD [13] unterscheidet, die nach ähnlichen Voraussetzungen aufgestellt wurden, wie die Faktoren nach PASQUILL. P_1 und $P_1(6h)$ umschließen auch die Ausflußfaktoren nach SUTTON und DINUNNO fast überall. Hingegen den Ausflußfaktoren für Normalwetter nach BLASSER-WIRTZ (BW_N), die für $H = 0$ unter den Einhüllenden P_1 liegen und für $H = 50$ m und $H = 100$ m diese für kleine Abstände x nur unwesentlich übersteigen, überragen die für Inversionswetter (BW_I) den P_1 -Verlauf bei $H = 100$ m bis um den Faktor 4. Diese Differenz läßt sich zum einen aus der bereits zitierten großen Ungenauigkeit der mathematischen Vorhersage bei großem Quellabstand erklären, zum anderen resultiert diese Diskrepanz aus der Tatsache, daß in die PASQUILL'schen Stabilitätskategorien keine ausgesprochenen Inversionswetterlagen aufgenommen sind. Diese Wetterlage tritt jedoch in Deutschland sehr häufig auf (z. B. in der Oberrheinischen Tiefebene), so daß sie bei einer konservativen Abschätzung mit berücksichtigt werden muß.

Die unter Berücksichtigung aller angeführten Diskussionspunkte gebildeten einhüllenden Standardkurven J_0 für kurzen Ausfluß und \bar{J}_0 für längeren Ausfluß sind jeweils für $\bar{u} = 1 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ in die Abbildungen 7 und 8 eingetragen. Sie umhüllen alle aufgezählten mathematischen Beschreibungen und alle angeführten Wetterlagen. Damit stellen sie eine konservative wetterunabhängige Abschätzung dar, deren Genauigkeit im Abstandsbereich von 1 bis 10 km bestenfalls bei einem Faktor 2 liegt; in größeren Abständen nimmt der Ungenauigkeitsfaktor höhere Werte an. Die Ausbreitungsfaktoren dieser Standardkurven sind außerdem in Tabelle 2.1 aufgelistet.

Die Ausbreitungskurven für kontinuierliche Freisetzung nach BRYANT [9] (Abbildung 4, 5 und 6) lassen sich nicht in allen Fällen als Standard-Ausbreitungsfaktoren $\bar{J}_0 (\tau = \infty)$ verwenden, da sie auf die meteorologischen Verhältnisse in England zugeschnitten sind und ein gleichförmiges Drehen des Windes voraussetzen. Wird die Windrichtung jedoch zum Beispiel vorwiegend durch den Verlauf eines Tales festgelegt, so ist diese Voraussetzung nicht erfüllt. Die Ausbreitungsfaktoren liegen dann entsprechend höher.

Tabelle 2.1

Konservative Standard-Ausbreitungsfaktoren ($\bar{u} = 1 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$)

Abstand x [m]	J_0 [sec · m ⁻³] (kurzer Ausfluß) Feste Windrichtung			\bar{J}_0 [sec · m ⁻³] (längerer Ausfluß) Schwankende Windrichtung		
	H = 0 m	H = 50 m	H = 100 m	H = 0 m	H = 50 m	H = 100 m
	2 · 10 ²	3,5 · 10 ⁻²	7 · 10 ⁻⁵	1 · 10 ⁻⁶	1,2 · 10 ⁻²	1 · 10 ⁻⁵
3 · 10 ²	2 · 10 ⁻²	9 · 10 ⁻⁵	1,2 · 10 ⁻⁵	7 · 10 ⁻³	3 · 10 ⁻⁵	
5 · 10 ²	9 · 10 ⁻³	9,5 · 10 ⁻⁵	2,5 · 10 ⁻⁵	3,7 · 10 ⁻³	4,5 · 10 ⁻⁵	3,5 · 10 ⁻⁶
7,5 · 10 ²	5 · 10 ⁻³	9 · 10 ⁻⁵	2,5 · 10 ⁻⁵	1,4 · 10 ⁻³	4 · 10 ⁻⁵	8 · 10 ⁻⁶
10 ³	3,5 · 10 ⁻³	9 · 10 ⁻⁵	2,5 · 10 ⁻⁵	8 · 10 ⁻⁴	3,5 · 10 ⁻⁵	9 · 10 ⁻⁶
2 · 10 ³	1,2 · 10 ⁻³	8 · 10 ⁻⁵	2,3 · 10 ⁻⁵	2,5 · 10 ⁻⁴	2 · 10 ⁻⁵	8 · 10 ⁻⁶
3 · 10 ³	7 · 10 ⁻⁴	7,5 · 10 ⁻⁵	2,1 · 10 ⁻⁵	1,3 · 10 ⁻⁴	1,5 · 10 ⁻⁵	7 · 10 ⁻⁶
5 · 10 ³	3 · 10 ⁻⁴	7 · 10 ⁻⁵	2 · 10 ⁻⁵	5 · 10 ⁻⁵	1,2 · 10 ⁻⁵	5 · 10 ⁻⁶
7,5 · 10 ³	1,7 · 10 ⁻⁴	6,5 · 10 ⁻⁵	1,8 · 10 ⁻⁵	2,5 · 10 ⁻⁵	1 · 10 ⁻⁵	4 · 10 ⁻⁶
10 ⁴	1,2 · 10 ⁻⁴	6 · 10 ⁻⁵	1,7 · 10 ⁻⁵	1,5 · 10 ⁻⁵	8 · 10 ⁻⁶	3,5 · 10 ⁻⁶
2 · 10 ⁴	4 · 10 ⁻⁵	3 · 10 ⁻⁵	1,5 · 10 ⁻⁵	5 · 10 ⁻⁶	4 · 10 ⁻⁶	2 · 10 ⁻⁶
3 · 10 ⁴	2 · 10 ⁻⁵	2 · 10 ⁻⁵	1,2 · 10 ⁻⁵	2,5 · 10 ⁻⁶	2,5 · 10 ⁻⁶	1,5 · 10 ⁻⁶
5 · 10 ⁴	1 · 10 ⁻⁵	1 · 10 ⁻⁵	7 · 10 ⁻⁶	1,3 · 10 ⁻⁶	1,3 · 10 ⁻⁶	1 · 10 ⁻⁶
7,5 · 10 ⁴	5 · 10 ⁻⁶	5 · 10 ⁻⁶	5 · 10 ⁻⁶	7 · 10 ⁻⁷	7 · 10 ⁻⁷	7 · 10 ⁻⁷
10 ⁵	3,5 · 10 ⁻⁶	3,5 · 10 ⁻⁶	3,5 · 10 ⁻⁶	5 · 10 ⁻⁷	5 · 10 ⁻⁷	5 · 10 ⁻⁷

2.3 Vergleich mit Messungen

Von BARRY [14] wurden seit 1963 Konzentrationsmessungen bei Chalk-River durchgeführt, wobei als Tracer das aus dem Abluftkamin des NRX entweichende Ar-41 Verwendung fand. Die Ausbreitungsfaktoren sind aus Meßergebnissen, die jeweils über eine Stunde gemittelt wurden gewonnen. Da in diesem Zeitraum bereits Windschwankungen auftreten, sind die Meßergebnisse mit den oben definierten Ausbreitungsfaktoren \bar{J} vergleichbar.

BARRY summiert, ohne Berücksichtigung der Windrichtung, die gemessenen Wahrscheinlichkeiten mit der bestimmte Konzentrationen auftreten von hohen Konzentrationswerten beginnend auf, und gibt als Beispiel für die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines bestimmten Risikos jenen Ausbreitungsfaktor an, der gemeinsam mit höheren Faktoren sich nur in 1 % der Zeiträume einstellt. Die entsprechenden Daten sind in Tabelle 2.2 eingetragen. Außerdem sind dort die mittleren auftretenden Windgeschwindigkeiten und die Wahrscheinlichkeit, mit der der Wind in den Winkelraum der Beobachtungsstation bläst, angegeben.

Tabelle 2.2

Der Ausbreitungsfaktor $\bar{J}(1h)$ nach Messungen von BARRY [14]

Beobachtungsstation		$\bar{J}(1h, 1 \%)$	\bar{u}	Häufigkeit	$\bar{J}(1h, 1 \%, 33 \%)$
Entfernung	Schornsteinüberhöhung	$[\text{sec} \cdot \text{m}^{-3}]$	$[\text{msec}^{-1}]$	der Windrichtung	$[\text{sec} \cdot \text{m}^{-3}]$
$[\text{km}]$	$[\text{m}]$			$[\%]$	
0,6	80	$4 \cdot 10^{-6}$	3,91	33	$4 \cdot 10^{-6}$
1,1	94	10^{-5}	2,64	22	$1,2 \cdot 10^{-5}$
1,5	43	$8 \cdot 10^{-6}$	3,91	33	$8 \cdot 10^{-6}$
4,8	84	$2 \cdot 10^{-6}$	3,91	33	$2 \cdot 10^{-6}$

Bezieht man alle Daten auf die gleiche Wind-Häufigkeit von 33% , so ergeben sich Ausbreitungsfaktoren, wie sie in der letzten Spalte der Tabelle angegeben sind. Setzt man voraus, daß der Wind fortwährend in Richtung der Beobachtungsstation bläst, so bedeutet der angegebene Ausbreitungsfaktor, daß mit einer Wahrscheinlichkeit von 3% sich dieser Wert oder ein höherer einstellt.

Die Ergebnisse von BARRY, die in Abbildung 8 mit eingezeichnet sind, liegen bis auf einen Faktor 2 um die Standard-Ausbreitungskurve \bar{J}_0 für $H = 100$ m. Dieser Vergleich zeigt, daß die vorangegangene konservative Abschätzung der Beschreibung von Ausbreitungsfaktoren ca. 97% aller auftretenden Wetterlagen einschließt. Zwar wurde diese Zahl nur für Messungen bei Chalk-River ermittelt, doch dürften die entsprechenden Werte für andere Stationen nicht sehr davon abweichen.

In Tabelle 2.3 sind die vom gleichen Autor über sehr lange Zeiten gemittelten Ausbreitungsfaktoren angegeben. Der maximale Faktor von $5,9 \cdot 10^{-7}$ bei 1,1 km liegt etwa um den Faktor 6 über dem von BRYANT [9] für $H = 80$ m angegebenen Ausbreitungsfaktor von $1 \cdot 10^{-7}$.

Während man also für eine bestimmte Windrichtung auch unter Berücksichtigung der innerhalb einiger Stunden auftretenden Schwankungen standortunabhängige, konservative Aussagen machen kann, ist dies für sehr lange Zeiträume, wie im Beispiel von Chalk-River, wo längs des Flusses eine Windvorzugsrichtung vorliegt, nicht mehr möglich. In diesen Fällen ist die standortabhängige Windrose von Bedeutung.

Tabelle 2.3

Der Ausbreitungsfaktor $\bar{J}(\tau = \infty)$
nach Messungen von BARRY [14]

Beobachtungsstation		$\bar{J}(\tau = \infty)$ [$\text{sec} \cdot \text{m}^{-3}$]
Entfernung [km]	Schornstein- überhöhung [m]	
0,6	80	$1,9 \cdot 10^{-7}$
1,1	94	$5,9 \cdot 10^{-7}$
1,5	43	$3,9 \cdot 10^{-7}$
4,8	84	$0,5 \cdot 10^{-7}$

3. Berechnung der Inhalationsdosis für Jodisotope

Es werden nun die Inhalationsdosen I für Jodisotope nach Annahmen von BLÄSSER-WIRTZ [3] und DINUNNO et al. [5] berechnet und die Ergebnisse verglichen. Außerdem wird mit Hilfe der in Abschnitt 2 aufgestellten konservativen Standard-Ausbreitungsfaktoren J_0 und \bar{J}_0 und der bei einem sogenannten MCA (Maximum-Credible-Accident) auftretenden Ausflußgefährdung G_e die entsprechenden Standardkurven für die zu erwartenden Inhalationsdosen I_0 und \bar{I}_0 aufgestellt.

3.1 Diskussion der Voraussetzungen

Bei einem Vergleich der Ergebnisse von Inhalationsdosisberechnungen verschiedener Autoren nach Gleichung (1-4) müssen zunächst die Ausgangsannahmen sowohl bei der Bestimmung der Ausflußgefährdung G_e (Sättigungsaktivität, Freisetzungsfaktor, Leckrate etc.) als auch bei der Berechnung des Ausbreitungsfaktors J (Ausbreitungsformel, Diffusionsparameter etc.) diskutiert werden. Die Diskussion von J erfolgte bereits in den vorangegangenen Abschnitten und zeigte, daß die Ergebnisse aufgrund von Beobachtungen an verschiedenen Standorten beträchtliche Abweichungen aufweisen können.

Während bei der Berechnung der Ausflußgefährdung G_e die Annahmen über die Sättigungsaktivität auf physikalischen Grundlagen beruhen, sind die Umrechnungsfaktoren zur Ermittlung der biologischen Wirksamkeit noch mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. Leckrate, Rückhalte- und Filterfaktoren, sowie Schornsteinhöhe sind hingegen technische Parameter, die vom Reaktorhersteller angegeben werden.

Diese technischen Parameter müssen aufeinander abgestimmt werden, um den Vergleich der Ausführungen verschiedener Autoren zu ermöglichen.

Im folgenden werden die Inhalationsdosen für die auftretenden Jodisotope, die den Hauptanteil der Gefährdung darstellen, nach Annahmen von BLÄSSER-WIRTZ [3] und DINUNNO et al. [5] für einen MCA (Maximum-Credible-Accident), bei dem das totale Niederschmelzen des Cores angenommen wird, verglichen. Dabei werden folgende technische Parameter nach DINUNNO et al. [5] vorausgesetzt

Reaktorleistung:	P	= 1 MW _{th}
Leckrate (aus dem Containment):	c	= 10 ⁻³ d ⁻¹
Freisetzungsfaktor (für Jod):	v	= 0,5
inhärenter Filterfaktor (für Jod):	f _{inh}	= 0,5

Während der Freisetzungsfaktor den Bruchteil der im Reaktor vorhandenen Isotope angibt, der freigesetzt und in das Reaktorgebäude überführt wird, gibt der inhärente Filterfaktor f_{inh} jenen Anteil der freigesetzten Spaltprodukte an, der sich in der Gasphase befindet.

Diese Parameter stellen zwar eine starke Vereinfachung des tatsächlichen Unfallgeschehens dar, so kann zum Beispiel die Spaltproduktfreisetzung zeitabhängig und die Leckrate druckabhängig betrachtet werden [15], doch liefern sie als konservative Annahmen bereits die in der Größenordnung richtigen Dosen.

3.2 Berechnung der Ausflußgefährdung

Die angenommenen Sättigungsaktivitäten nach BLÄSSER-WIRTZ [3] und DINUNNO et al. [5] sind in Tabelle 3.1 zusammengefaßt

Tabelle 3.1

Sättigungsaktivitäten

Nuklid i	$\tau_{1/2_i}$	$A_{i_0}^s$ (1 MW) [°C]	
		BW	D
J ¹³¹	8d	$2,5 \cdot 10^4$	$2,51 \cdot 10^4$
J ¹³²	2,3h	$3,7 \cdot 10^4$	$3,81 \cdot 10^4$
J ¹³³	21h	$5,1 \cdot 10^4$	$5,63 \cdot 10^4$
J ¹³⁴	53m	-	$6,58 \cdot 10^4$
J ¹³⁵	6,7h	$4,7 \cdot 10^4$	$5,10 \cdot 10^4$

Die aus dem vorgegebenen Daten resultierenden Aktivitätsausflüsse A_{i_e} innerhalb der Zeit $\tau = 100$ d (BW) bzw. $\tau = \infty$ (D) nach dem Unfallgeschehen sind in Tabelle 3.2 aufgelistet.

Tabelle 3.2

Aktivitätsausfluß

Nuklid i	A_{i_e} (1 MW) [°C]	
	BW ($\tau = 100$ d)	D ($\tau = \infty$)
J ¹³¹	$7,30 \cdot 10^1$	$7,20 \cdot 10^1$
J ¹³²	$4,26 \cdot 10^1$	$4,42 \cdot 10^1$
J ¹³³	$1,61 \cdot 10^1$	$1,75 \cdot 10^1$
J ¹³⁴	-	$8,70 \cdot 10^{-1}$
J ¹³⁵	$4,76 \cdot 10^0$	$5,15 \cdot 10^0$

Wie ersichtlich differieren die Werte aufgrund der im Vergleich zu den vorgegebenen τ -Werten kurzen Halbwertszeiten der Jodisotope nur unwesentlich voneinander.

Zur Berechnung der Gefährdungsausflüsse werden bei BLÄSSER-WIRTZ [3] die Dosisfaktoren in der Einheit $\text{rem} \cdot \text{C}^{-1}$ und bei DINUNNO et al. [5] in der Einheit $\text{rad} \cdot \text{C}^{-1}$ angegeben (Tabelle 3.3).

Tabelle 3.3

Dosisfaktoren

Nuklid i	Di	
	BW $[\text{rem} \cdot \text{C}^{-1}]$	D $[\text{rad} \cdot \text{C}^{-1}]$
J ¹³¹	$9,63 \cdot 10^5$	$1,48 \cdot 10^6$
J ¹³²	$3,66 \cdot 10^4$	$5,35 \cdot 10^4$
J ¹³³	$2,27 \cdot 10^5$	$4,0 \cdot 10^5$
J ¹³⁴	-	$2,5 \cdot 10^4$
J ¹³⁵	$6,3 \cdot 10^4$	$1,24 \cdot 10^5$

Zwischen der Einheit der biologischen Dosis "rem" und der Einheit der Energiedosis "rad" besteht die Beziehung

$$\text{rem} = \text{RBW} \cdot \text{rad} \quad (3-1)$$

Da die "Relative Biologische Wirksamkeit" RBW für β - und γ -Strahlung etwa 1 ist [16], sind die Zahlenwerte mit den Dimensionen rem und rad direkt vergleichbar. Wie aus Tabelle 3.3 hervorgeht, liegen die Dosisfaktoren nach DINUNNO et al. [5] um etwa den Faktor 1,5 über denen nach BLÄSSER-WIRTZ [3].

Mit Hilfe dieser Werte ergeben sich schließlich die Dosisausflüsse $G_{i_e}^*$ (Tabelle 3.4).

$$G_{i_e}^* = A_{i_e} \cdot D_i \quad (3-2)$$

Tabelle 3.4

Dosisausflüsse

Nuklid i	BW [rem]	$G_{i_e}^{\#}$ D [rad]
J ¹³¹	$7,03 \cdot 10^7$	$1,06 \cdot 10^8$
J ¹³²	$1,56 \cdot 10^6$	$2,36 \cdot 10^6$
J ¹³³	$3,65 \cdot 10^6$	$7,0 \cdot 10^6$
J ¹³⁴	-	$2,17 \cdot 10^4$
J ¹³⁵	$2,99 \cdot 10^5$	$6,38 \cdot 10^5$
Summe	$7,58 \cdot 10^7$	$1,17 \cdot 10^8$

Um die Gefährdungsausflüsse G_e zu erhalten, müssen die Dosisausflüsse noch mit dem durchschnittlichen Luftumsatz eines Menschen multipliziert werden. Sowohl bei BLÄSSER-WIRTZ [3] als auch bei DINUNNO et al. [5] wird der Wert $20 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1} = 2,32 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$ verwendet, wobei DINUNNO et al. noch einen besonderen Luftumsatz für Arbeiter von $10 \text{ m}^3 \cdot (8\text{h})^{-1} = 3,47 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$ angibt. Aus ersterem Wert resultieren folgende Gefährdungsausflüsse für Jodisotope

$$\text{BLÄSSER-WIRTZ} : G_e = 1,76 \cdot 10^4 \text{ rem} \cdot \text{m}^3 \text{ sec}^{-1}$$

$$\text{DINUNNO et al.} : G_e = 2,72 \cdot 10^4 \text{ rad} \cdot \text{m}^3 \text{ sec}^{-1}$$

Durch die höheren Dosisfaktoren bedingt, liegt der Gefährdungsausfluß nach DINUNNO et al. etwa um den Faktor 1,5 über dem nach BLÄSSER-WIRTZ bei gleichen technischen Parametern. Der Unterschied beruht darauf, daß bei BLÄSSER-WIRTZ [3] Dosisfaktoren nach BURNETT [17] verwendet wurden, während DINUNNO et al. [5] ihre Berechnungen auf Angaben des ICRP [18] stützten. In ersterer Arbeit [17] wird für den Anteil der Aktivität, der von der Atemluft in das kritische Organ gelangt, der Wert 0,15 angegeben, während sich in letztgenannter Literatur [18] der Wert 0,23 findet.

3.3 Vergleich und konservative Abschätzung der Inhalationsdosis (Standard-Inhalationsdosen)

Unter Verwendung der erhaltenen Gefährdungsausflüsse und der in Abschnitt 1 ermittelten Ausbreitungsfaktoren J bzw. \bar{J} ergeben sich nach Gleichung (1-4) die entsprechenden Inhalationsdosen I bzw. \bar{I} für feste bzw. schwankende Windrichtungen, die in die Abbildungen 9 und 10 eingetragen sind.

Die veränderte Differenz der beiden Dosiskurven BW_I und D in Abbildung 9 gegenüber den Abweichungen der entsprechenden Ausbreitungsfaktoren in den Abbildungen 1 bis 3, erklärt sich daraus, daß der 4-fach höhere C_y -Wert von DINUNNO et al. [5] gegenüber BLÄSSER-WIRTZ [3] zwar zu einem entsprechend kleineren Ausbreitungsfaktor J führt (Abbildungen 1, 2 und 3); durch die ca. 1,5-fach höheren Dosisfaktoren wird die Diskrepanz jedoch etwa auf den Faktor 2,7 vermindert.

In Anbetracht der diskutierten Ungenauigkeiten, mit der die einzelnen Faktoren behaftet sind, darf deshalb den beiden Kurven eine gewisse Übereinstimmung zuerkannt werden.

In Anlehnung an die in Abschnitt 2.2 aufgestellten konservativen Standard-Ausbreitungsfaktoren J_0 bzw. \bar{J}_0 sollen unter den vorgenannten Parametern und den errechneten Gefährdungsausflüssen die entsprechenden konservativen Standard-Inhalationsdosen I_0 bzw. \bar{I}_0 für Jodisotope bei fester und schwankender Windrichtung definiert werden. Die Ergebnisse dieser Aufstellung, bei der der Gefährdungsausfluß nach BLÄSSER-WIRTZ verwendet wurde, sind aus den Abbildungen 11 und 12 ersichtlich. Sie gelten für einen 1 MW_{th} -Reaktor, bei den in Abschnitt 3.1 definierten Bedingungen. Dabei ist zu beachten, daß zu den in Abschnitt 2.1 diskutierten Ungenauigkeiten der Beschreibung der meteorologischen Ausbreitung noch die Ungenauigkeiten der verwendeten Dosisfaktoren hinzutreten, die etwa den Faktor 1,5 bis 2 ausmachen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3.5 aufgeführt.

Tabelle 3.5

Konservative Standard-Inhalationsdosen für Jodisotope ($\bar{u} = 1 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$)
(1 MW_{th}-Reaktor)

Abstand x [m]	I ₀ [rem] Feste Windrichtung			Ī ₀ [rem] Schwankende Windrichtung		
	H = 0 m	H = 50 m	H = 100 m	H = 0 m	H = 50 m	H = 100 m
2 · 10 ²	600	1,2	0,02	250	0,15	
3 · 10 ²	350	1,6	0,2	120	0,5	
5 · 10 ²	170	1,7	0,45	50	0,75	0,06
7,5 · 10 ²	90	1,6	0,45	24	0,7	0,13
10 ³	60	1,6	0,45	15	0,6	0,16
2 · 10 ³	20	1,5	0,4	4	0,35	0,15
3 · 10 ³	12	1,4	0,37	2	0,27	0,11
5 · 10 ³	5,5	1,2	0,35	0,9	0,22	0,08
7,5 · 10 ³	3	1,1	0,33	0,45	0,17	0,065
10 ⁴	2	1,0	0,3	0,25	0,15	0,055
2 · 10 ⁴	0,7	0,5	0,25	0,08	0,07	0,035
3 · 10 ⁴	0,4	0,4	0,2	0,04	0,04	0,025
5 · 10 ⁴	0,2	0,2	0,13	0,02	0,02	0,018
7,5 · 10 ⁴	0,1	0,1	0,1	0,015	0,015	0,015
10 ⁵	0,07	0,07	0,07	0,009	0,009	0,009

4. Meteorologisch neutrale Beurteilung von Reaktorstandorten

In den Abschnitten 1 und 2 wurde aus bereits vorliegenden, im Rahmen der vorgegebenen Genauigkeiten wenig voneinander abweichenden Ausbreitungsfaktoren, die entsprechenden konservativen Standard-Ausbreitungsfaktoren J_0 bzw. \bar{J}_0 für feste bzw. schwankende Windrichtungen abgeschätzt. Diese Standard-Ausbreitungsfaktoren geben für einen Ort, der sich im Abstand x in Windrichtung von der Quelle befindet, das an diesem Punkt maximal auftretende zeitliche Konzentrationsintegral an. Die Faktoren beziehen sich auf die Windgeschwindigkeit $\bar{u} = 1 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$.

Anhand dieser Kurven wurde in Abschnitt 3 für das Niederschmelzen des Cores eines 1 MW_{th} -Reaktors die zu erwartenden Inhalationsdosen berechnet. Obgleich erst nach Berücksichtigung der weiteren Schadstoffe (Feststoffe, flüchtige Feststoffe, Plutonium und Edelgase) eine vollständige Standard-Inhalationskurve aufgestellt werden kann, geben, da die Jodisotope den Hauptanteil der Gefährdung bilden, die angegebenen Kurven bereits die in der Größenordnung richtigen Gesamt-Inhalationsdosen wieder.

Für einen vorgesehenen Standort kann nun, mit Hilfe der errechneten Inhalationsdosen und unter eventueller Abänderung entsprechender Parameter (Reaktorleistung, Filterfaktor etc.), die bei einem Unfall unter ungünstigsten Wetterbedingungen für eine Einzelperson zu erwartende Belastung abgelesen und mit den gesetzlichen Höchstgrenzen verglichen werden. Dabei wird als Abstand der Einzelperson zur Quelle vernünftigerweise die Entfernung zwischen Reaktor und nächster Wohnsiedlung verwendet. Falls für alle um ein Kernkraftwerk liegenden Siedlungen, die nach diesem Verfahren maximal zu erwartenden Inhalationsdosen unter den gesetzlichen Bestimmungen liegen, kann dieses Kernkraftwerk als meteorologisch neutral bezeichnet werden.

Literaturverzeichnis

- [1] O.G. Sutton. Micrometeorology, 1955
- [2] O.G. Sutton. The Theoretical Distribution of Airborne Pollution from Factory Chimneys
Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society
73, 426-436, 1947
- [3] G. Blässer und K. Wirtz. Nukleare Grundlagen für Standort- und Geländewahl von Kernreaktoren
Nukleonik, 3, 164-178, 210-231, 1961
- [4] A.C. Chamberlain and W.J. Megaw.
AERE HP/M, 109
- [5] J.J. Dinunno et al. Calculation of Distance Factors for Power and Test Reactors
TID-14844, 1962
- [6] F. Pasquill. The Estimation of the Dispersion of Windborne Material
Meteorological Magazine, 90, p. 33, 1961
- [7] F. Pasquill. Atmospheric Diffusion, 1962
- [8] P.J. Meade. Meteorological Aspects of the Peaceful Uses of Atomic Energy
WMO, 33, 1960
- [9] P.M. Bryant. Methods of Estimation of the Dispersion of Windborne Material and Data to Assist in their Application
AHSB (RP) R-42, 1964
- [10] R.C. Wanta. Meteorology and Atomic Energy
AECU 3066, 1955
- [11] J.R. Beattie. An Assessment of Environmental Hazards from Fission Product Releases
AHSB (S) R-64, 1963

- [12] E. Geisler. Über die Gültigkeit der Sutton-Formel in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und der Emissionszeit
VDI-Forschungsheft, 483, 23-29, 1961
- [13] W.F. Hilsmeier and F.A. Gifford Jr. Graphs for Estimating Atmospheric Dispersion
ORO-545, 1962
- [14] B.J. Barry. The Concept of Standard Site
AECL-2676 (1967)
- [15] F. Heller, W. Schikarski und A. Wickenhäuser.
MUNDO - Digitalprogramm zur Berechnung von Unfalldosen in der Umgebung einer Reaktoranlage
KFK-653, 1967
- [16] K. Wirtz und K.H. Beckurts. Elementare Neutronenphysik
1958
- [17] Th.J. Burnett. Reactor, Hazards vs. Power Level
Nuclear Science and Engineering, 2, 382-393, 1957
- [18] Report of ICRP, Committee II on Permissible Dose for Internal Radiation
Pergamon Press, 1959

Erläuterungen zu den Abbildungen

- x : Abstand Quelle - Beobachter $[m]$
- J : Ausbreitungsfaktor bei fester Windrichtung
(kurzer Ausfluß) $[sec \cdot m^{-3}]$
- \bar{J} : Ausbreitungsfaktor bei schwankender Windrichtung
(längerer Ausfluß) $[sec \cdot m^{-3}]$
- J_0 : Konservativer Standard-Ausbreitungsfaktor bei
fester Windrichtung (kurzer Ausfluß) $[sec \cdot m^{-3}]$
- \bar{J}_0 : Konservativer Standard-Ausbreitungsfaktor bei
schwankender Windrichtung (längerer Ausfluß) $[sec \cdot m^{-3}]$
- I : Inhalationsdosis bei fester Windrichtung für Jodisotope
 $[rem, rad]$
- \bar{I} : Inhalationsdosis bei schwankender Windrichtung
für Jodisotope $[rem, rad]$
- I_0 : Konservative Standard-Inhalationsdosis bei fester Wind-
richtung für Jodisotope $[rem, rad]$
- \bar{I}_0 : Konservative Standard-Inhalationsdosis bei schwankender
Windrichtung für Jodisotope $[rem, rad]$
-
- S : SUTTON
- $BW_{N,I}$: BLÄSSER-WIRTZ (Normalwetter, Inversion)
- D : DINUNNO et al.
- $P_{A,...,F}$: PASQUILL, BEATTIE, BRYANT (Stabilitätskategorie A,...,F)

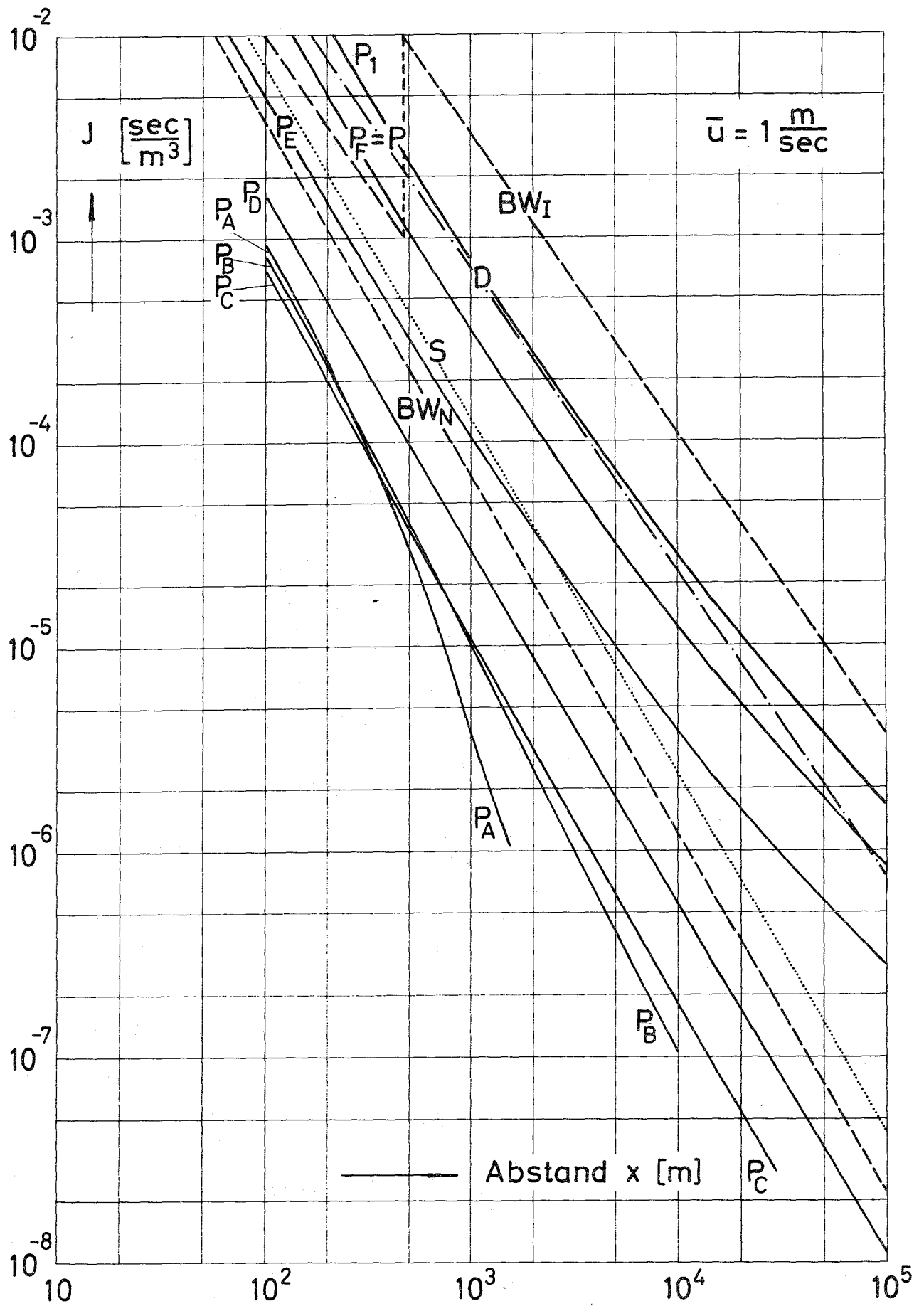


Abb. 1 Ausbreitungsfaktor J ($H = 0$)
 (kurzer Ausfluß)
 Feste Windrichtung

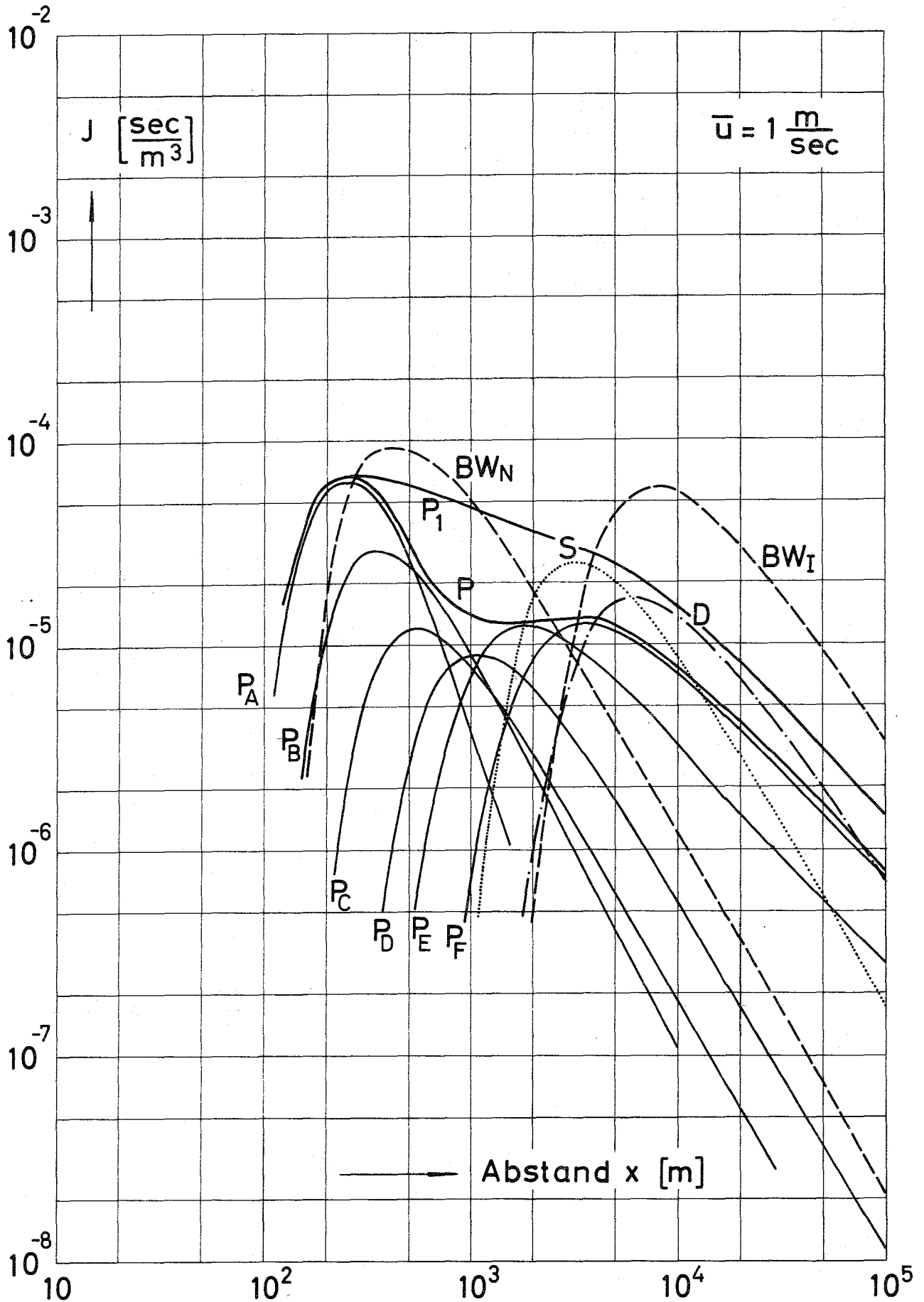


Abb. 2 Ausbreitungsfaktor J ($H = 50 \text{ m}$)
 (kurzer Ausfluß)
 Feste Windrichtung

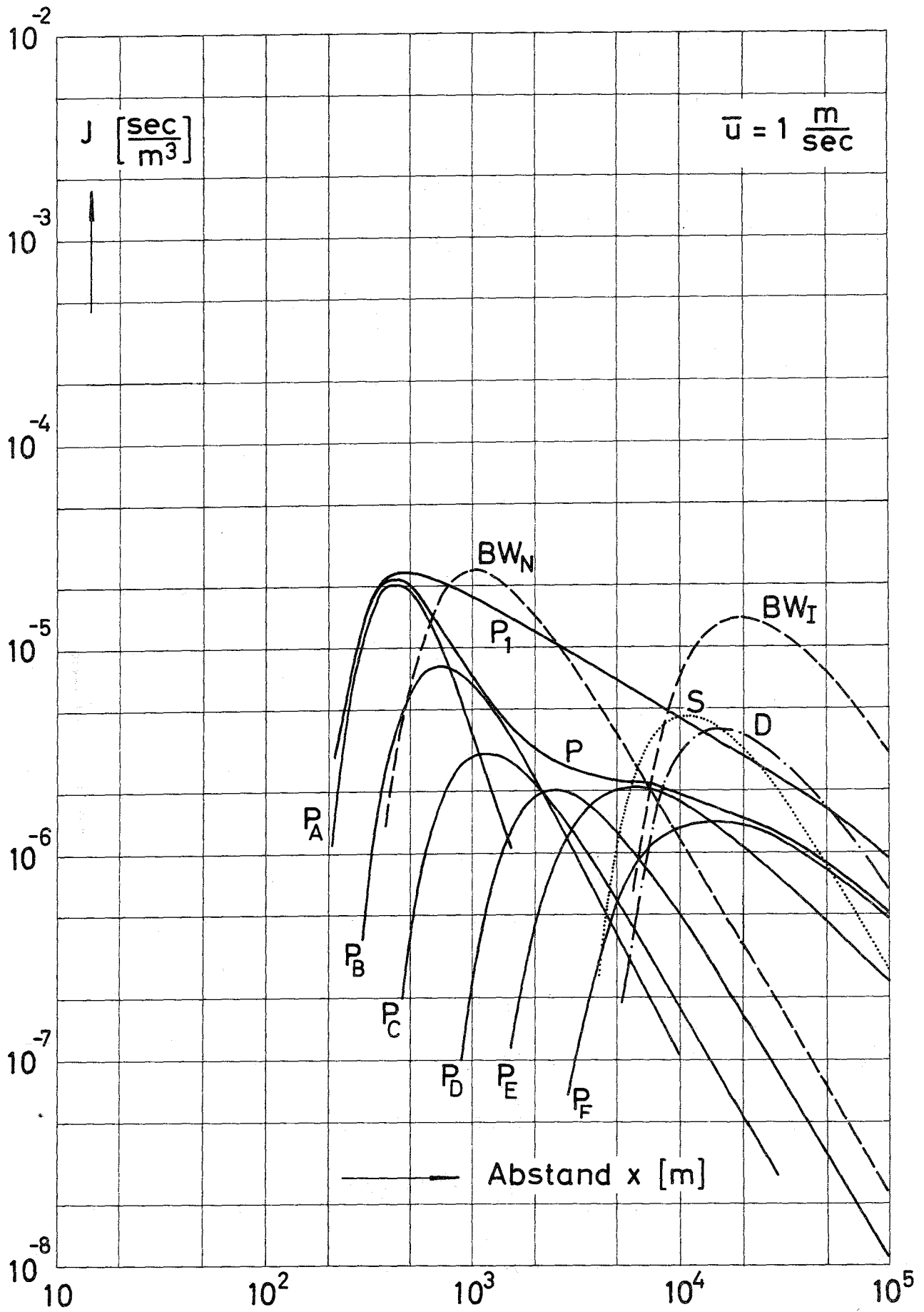


Abb. 3 Ausbreitungsfaktor J ($H = 100 \text{ m}$)
(kurzer Ausfluß)

Feste Windrichtung

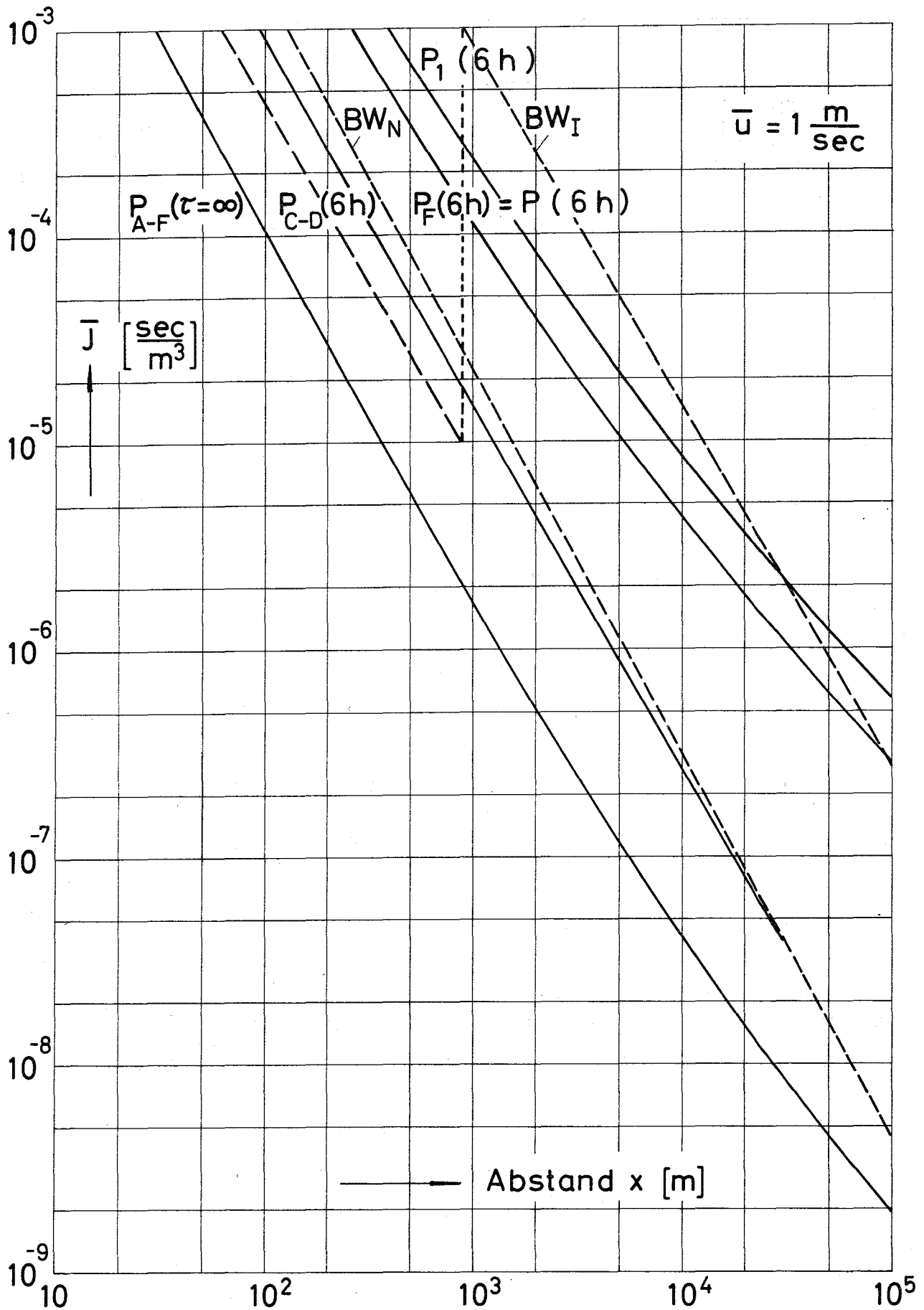


Abb. 4 Ausbreitungsfaktor \bar{J} ($H = 0$)
(längerer Ausfluß)

Schwankende Windrichtung

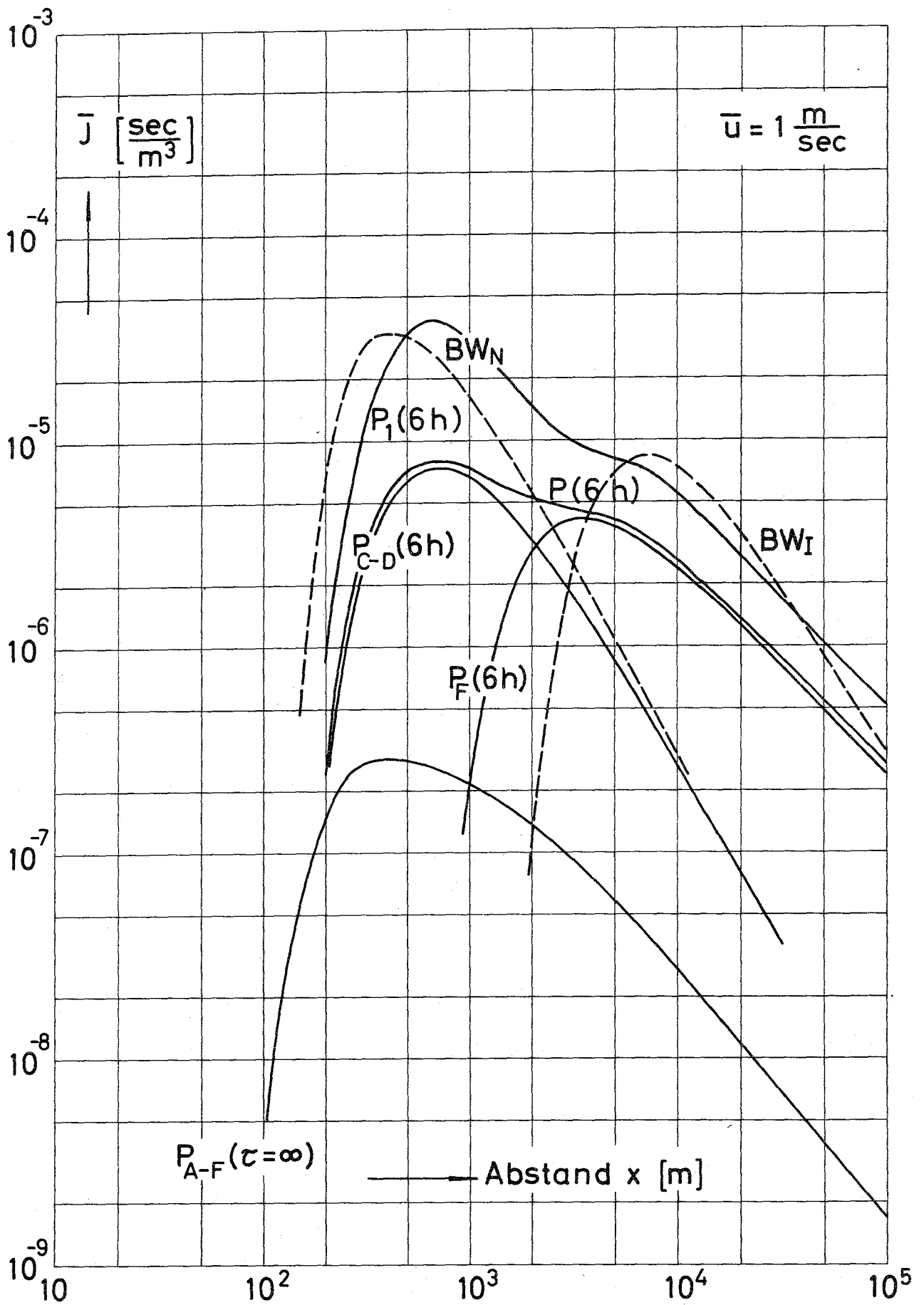


Abb. 5 Ausbreitungsfaktor \bar{J} ($H = 50 \text{ m}$)
 (längerer Ausfluß)
 Schwankende Windrichtung

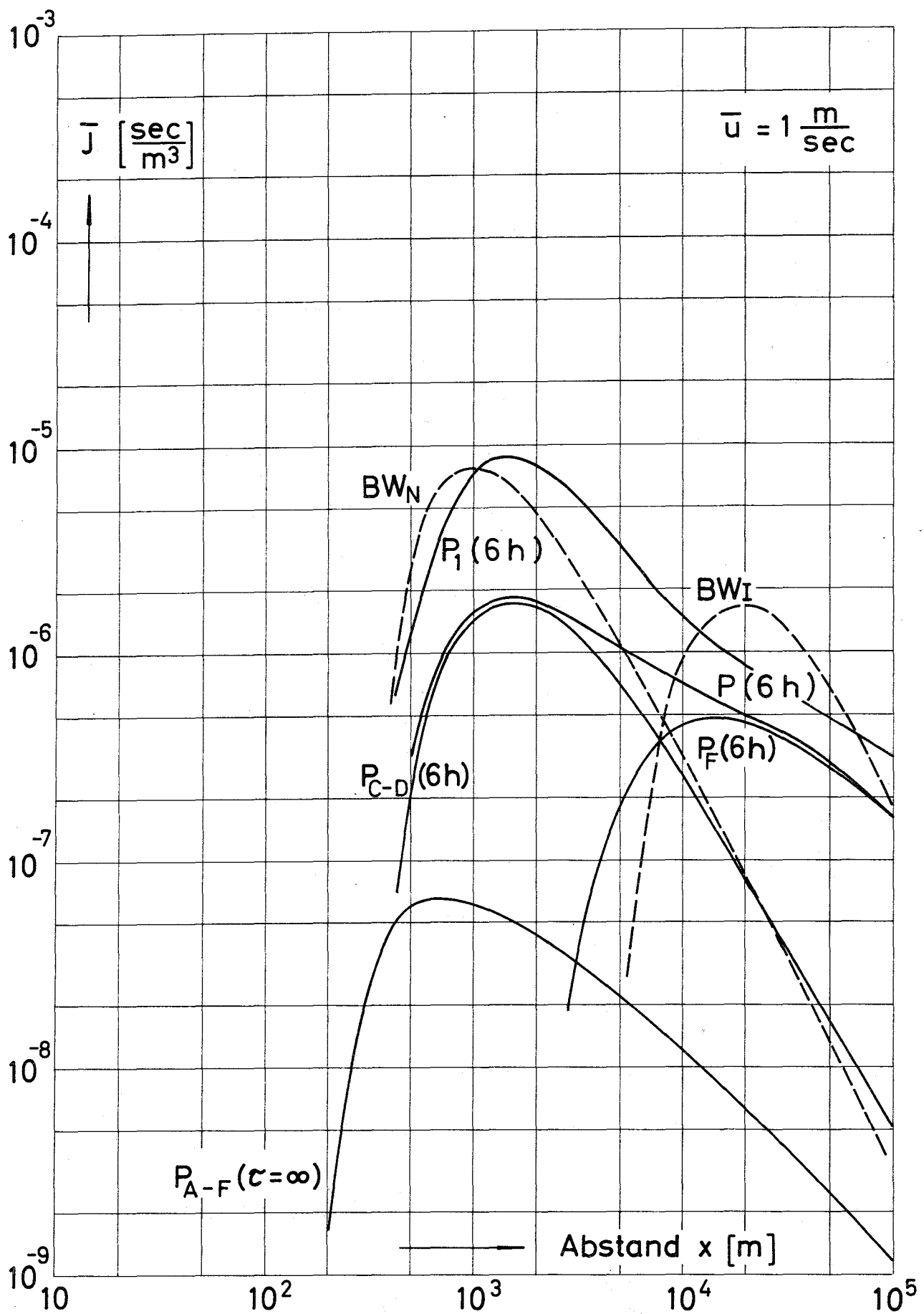


Abb. 6 Ausbreitungsfaktor \bar{J} ($H = 100\text{m}$)
(längerer Ausfluß)

Schwankende Windrichtung

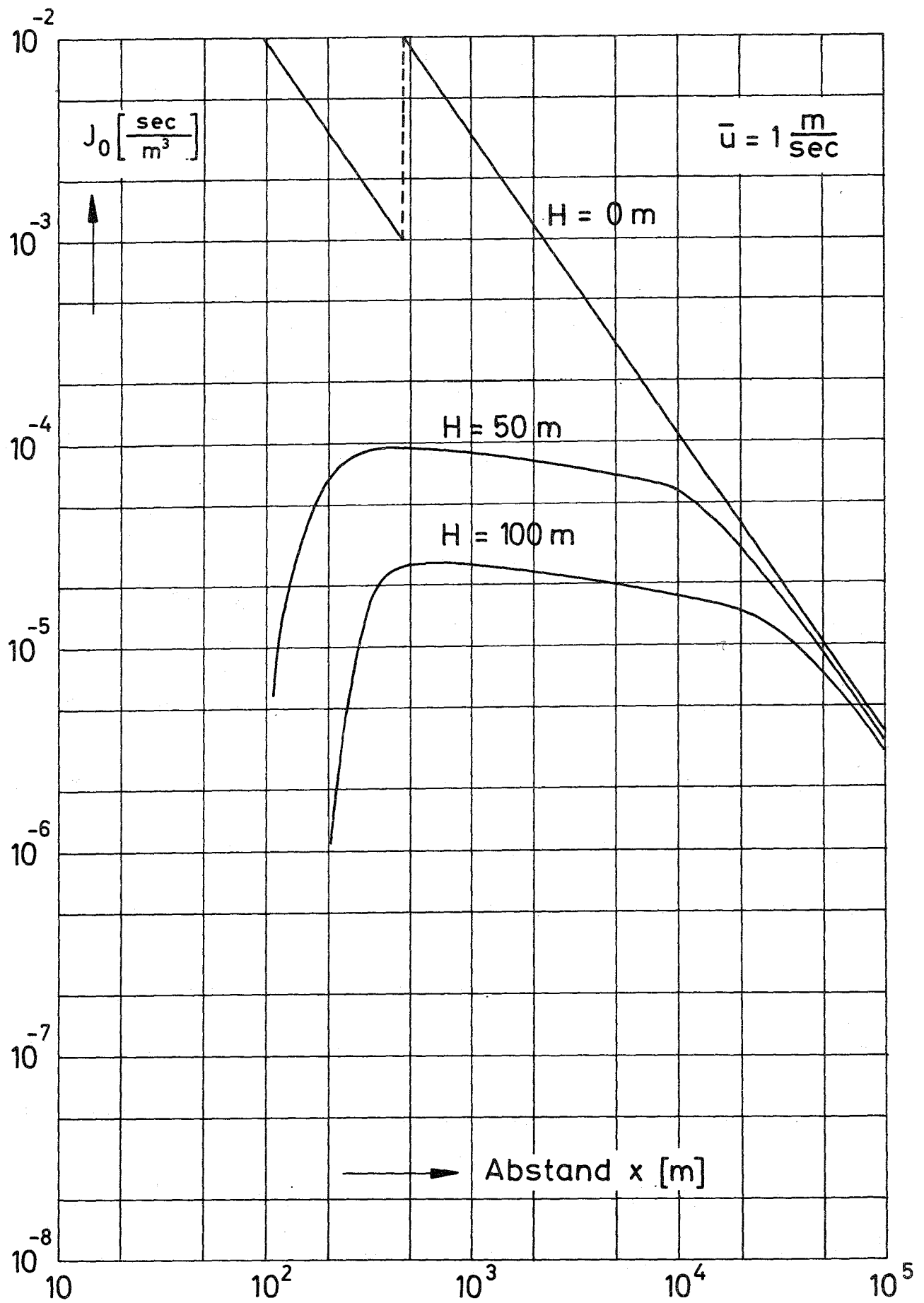


Abb. 7 Konservativer Standard - Ausbreitungsfaktor J_0
 (kurzer Ausfluß)
 Feste Windrichtung

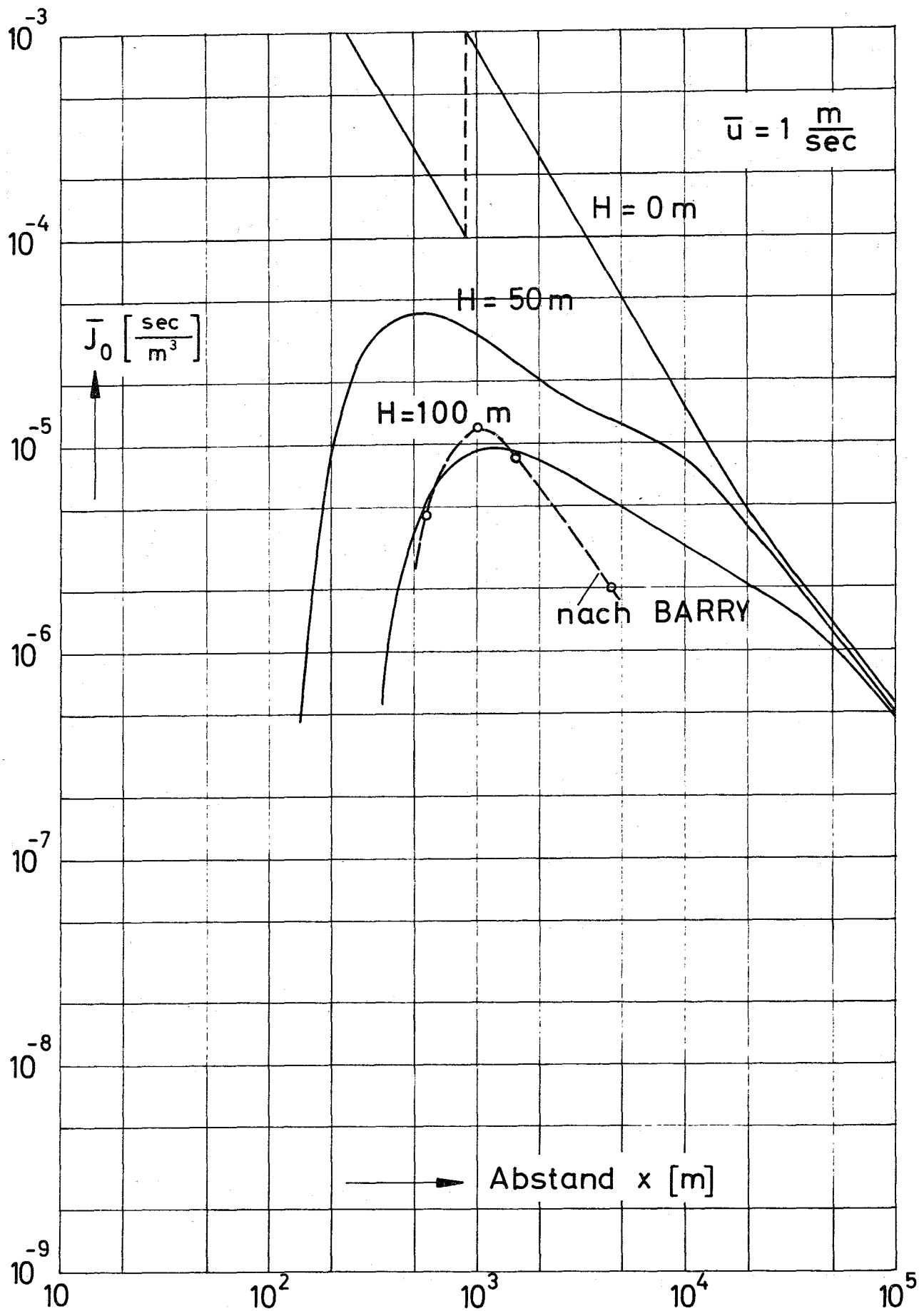


Abb.8 Konservativer Standard - Ausbreitungsfaktor \bar{J}_0
 (längerer Ausfluß)
 Schwankende Windrichtung

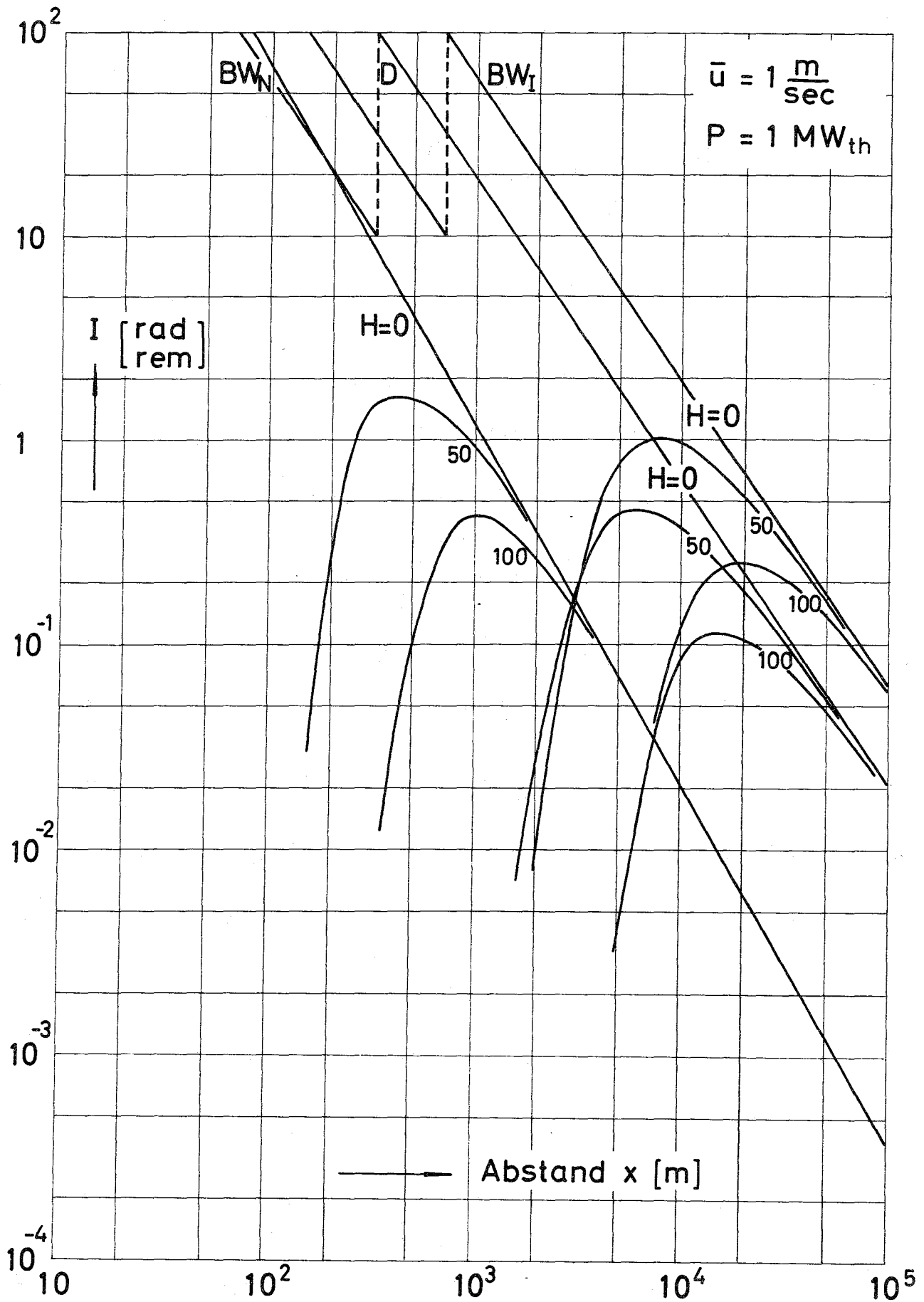


Abb. 9 Inhalationsdosis I für Jodisotope
Feste Windrichtung

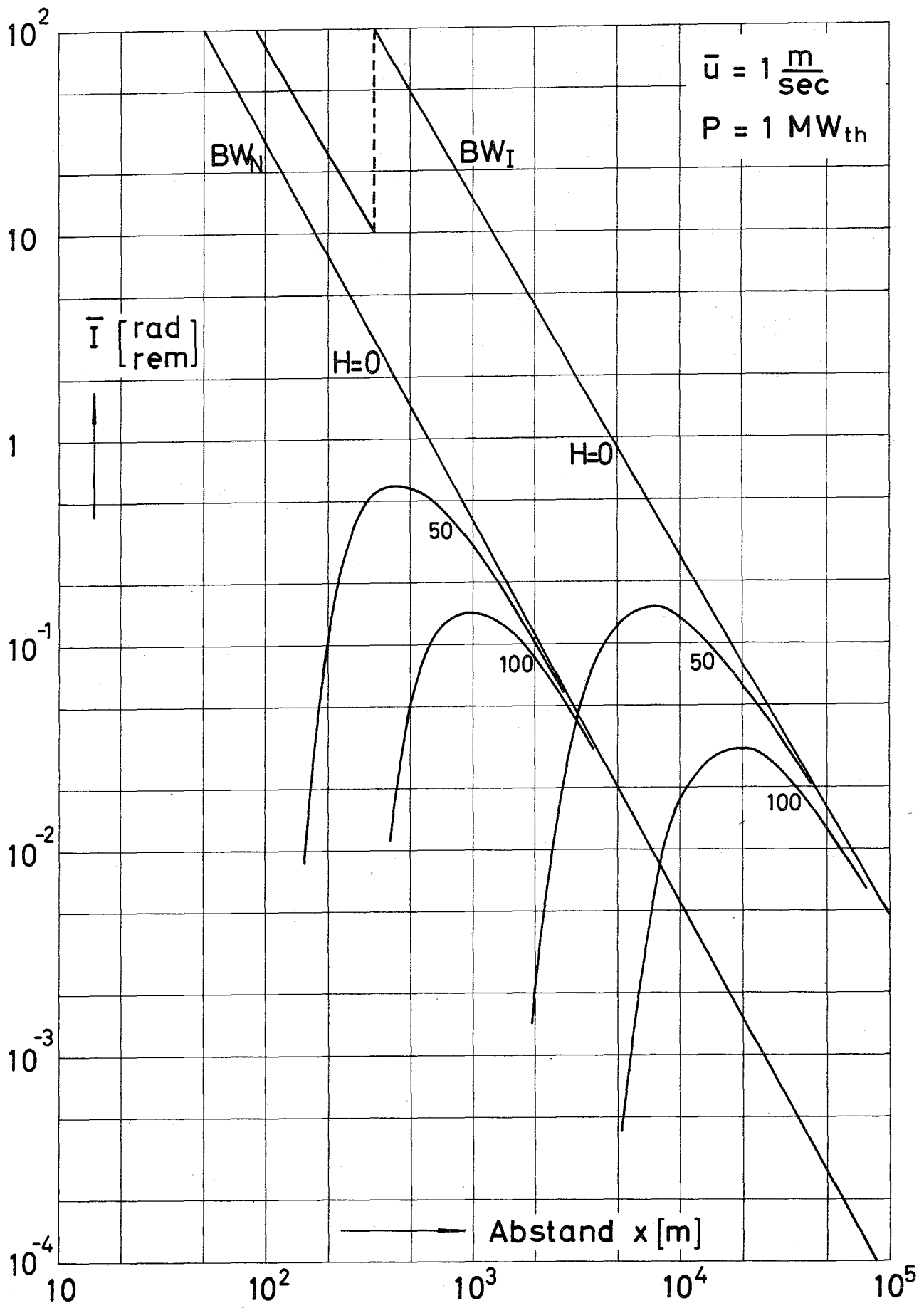


Abb.10 Inhalationsdosis \bar{I} für Jodisotope
 Schwankende Windrichtung

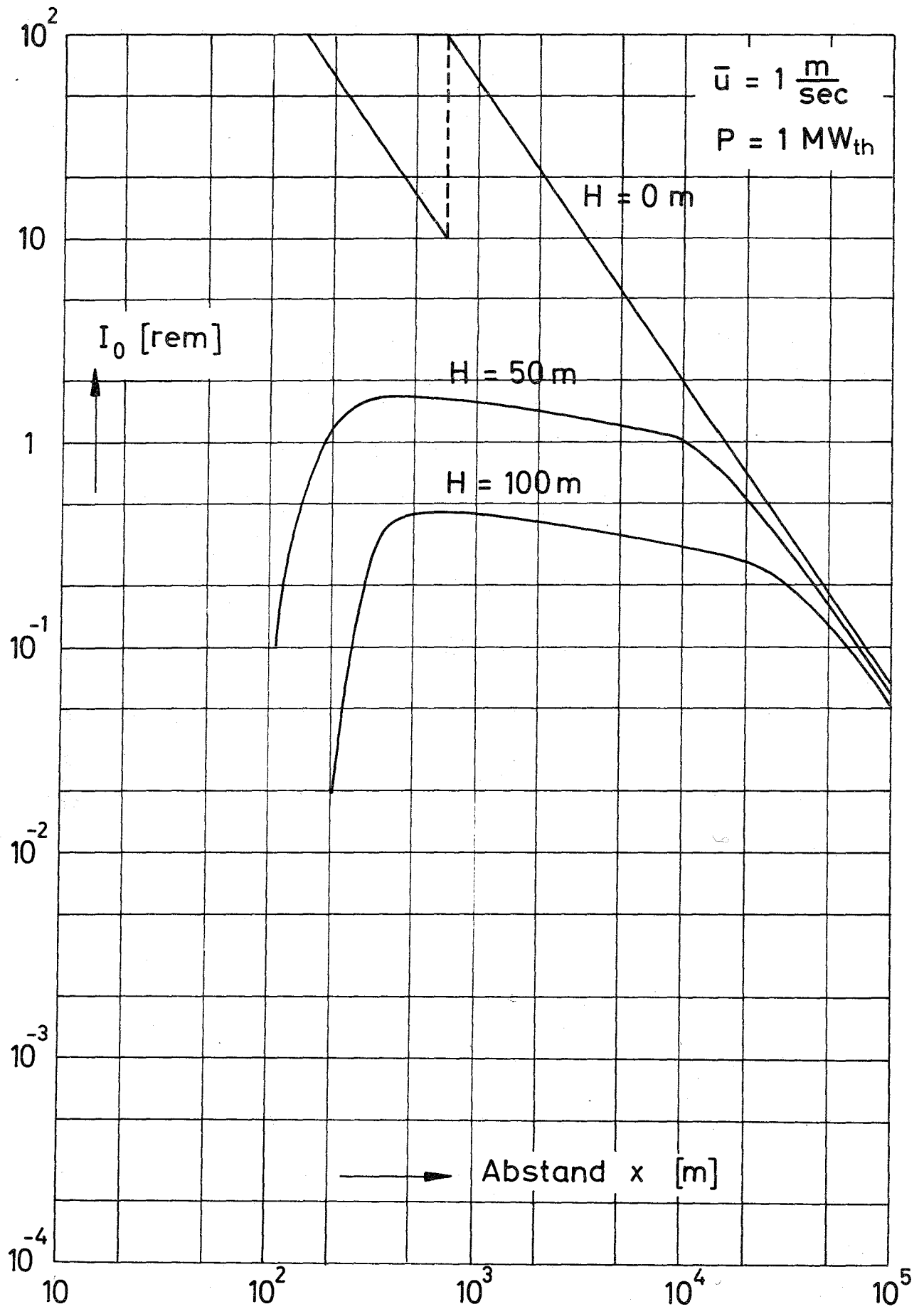


Abb.11 Konservative Standard - Inhalationsdosis I_0
 für Jodisotope
 Feste Windrichtung

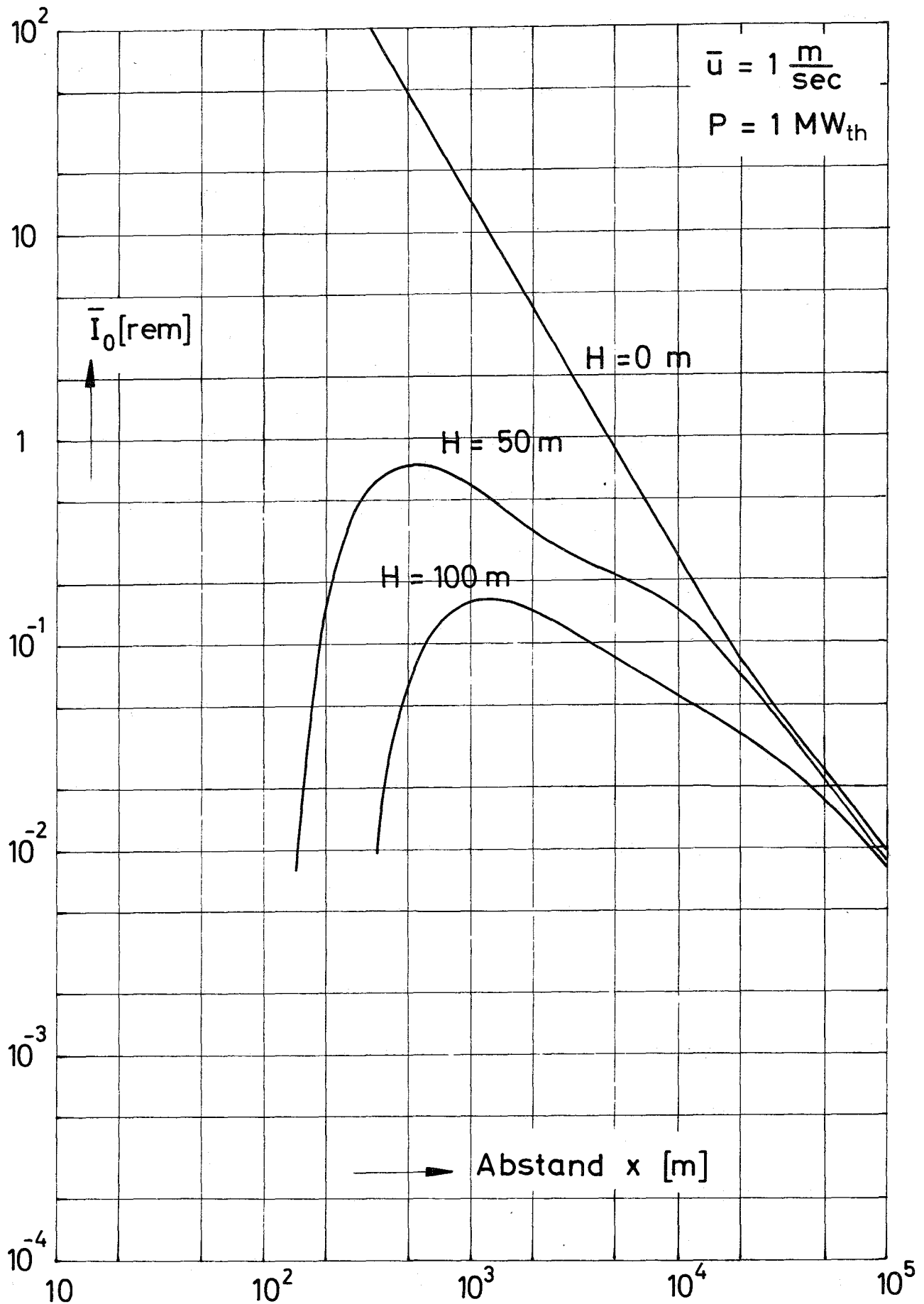


Abb.12 Konservative Standard - Inhalationsdosis \bar{I}_0
für Jodisotope
Schwankende Windrichtung