

# KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

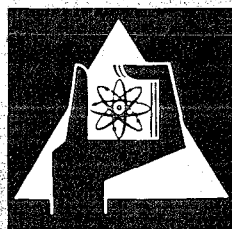
August 1972

KFK 1661

Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik  
Projekt Nukleare Sicherheit

Die ortsabhängige Spezifische Dosis  $d$  von  $J^{131}$

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

August 1972

KFK 1661

Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik  
Projekt Nukleare Sicherheit

Die ortsabhängige Spezifische Dosis  $d$  von  $J^{131}$

von

A. Bayer

Gesellschaft für Kernforschung mbH., Karlsruhe



## Übersicht

Für Daueremission von Jod-131 werden die ortsabhängigen Spezifischen Dosen für verschiedene Altersstufen ermittelt. Die Abluftquelle mit einer Höhe  $H=100\text{m}$  befindet sich im Zentrum des Einzugsbereiches einer Milchzentrale mit dem Radius  $R=100\text{km}$ . Es wird eine Zusammensetzung von 80% Normalwetter und 20% Inversionswetter angenommen und Ablagerungsvorgänge berücksichtigt, wobei zwischen Milch-Zentralversorgung und Milch-Eigenversorgung unterschieden wird. Die gefährdetste Gruppe sind Kleinkinder im ersten Lebensjahr bei Selbstversorgung in der Nähe des Reaktors. Bei einer Spezifischen Dosis für diese Gruppe von  $4 \cdot 10^{-2} \text{ rem/Ci}$  und einer maximal zulässigen Schilddrüsendosis von 90 mrem/a ist die Abgabenrate auf 2 Ci/a zu beschränken, davon maximal 1 Ci/a während der Grünfütterungszeit. Das aufgestellte Modell wird diskutiert.

## Abstract

For continuous emission of iodine-131 the space dependent specific doses are calculated for various ages. The source of 100m height is situated in the middle of the area, radius 100km, delivering raw milk to a dairy plant. A mixture of 80% normalweather and 20% inversionweather is assumed and deposition processes are taken into account. The radiological burden is calculated on the basis of the air intake and milk consumption, a distinction is being made between central-milk-supply and self-supply. The most endangered group are infants up to one year of age fed with self-supplied milk in the neighbourhood of the reactor. With a specific dose of  $4 \cdot 10^{-2} \text{ rem/Ci}$  and a maximum permissible thyroid dose of 90 mrem/a applicable to this age group the maximum emission rate must be limited to 2 Ci/a. During the period of greenstuff feeding the maximum limit is 1 Ci/a. The model used is discussed.



## Inhalt

1. Einleitung
2. Dosis D und Spezifische Dosis d
3. Dosisfaktoren
  - 3.1 Inhalations-Dosisfaktoren  $g_H$
  - 3.2 Ingestions-Dosisfaktoren  $g_G$
4. Ausbreitungsfaktoren
  - 4.1 Ausbreitungsfaktoren  $J(\vec{r} - \vec{r}_0)$
  - 4.2 Ausbreitungsfaktoren  $J(\vec{r} - \vec{r}_0) dF/F_{EB}$
5. Ortsabhängige Spezifische Dosis d
6. Diskussion des Modells
7. Schlußbemerkungen

Literatur

Tabellen

Abbildungen

## Liste der Abkürzungen

H	=	Inhalation
G	=	Ingestion
ZV	=	Milch-Zentralversorgung
EV	=	Milch-Eigenversorgung
MZ	=	Milchzentrale
EB	=	Einzugsbereich der Milchzentrale



## 1. Einleitung

Bei Sicherheitsbetrachtungen von Kernkraftwerken wird das Isotop  $J^{131}$  wegen seiner hohen Spaltausbeute, der relativ großen Flüchtigkeit von Jod und wegen seines hohen Schilddrüsen-Dosisfaktors als kritisches Isotop betrachtet. ERGEN [1] stellt bei der Betrachtung von Freisetzung- und Ausbreitungsvorgängen bei Unfällen fest, daß das tatsächliche Jod-Edelgas-Dosisverhältnis durch die oben geschilderten Eigenschaften des Jods das Verhältnis, das sich aus den Grenzdosis-Richtwerten ergibt - 300 rem Schilddrüsen-Grenzdosis durch Jod: 25 rem Ganzkörper-Grenzdosis durch Edelgase = 12:1 - um etwa den Faktor 23 übertrifft. Nach BEATTIE [2] ist nach einer Freisetzung von Spaltprodukten die Schilddrüsendosis durch inhaliertes Jod bei Kleinkindern  $10^2$  bis  $10^3$  mal größer als die Ganzkörperdosis durch externe Bestrahlung und ebenfalls  $10^2$  bis  $10^3$  mal größer als die Knochendosis durch inhaliertes Strontium.

Auf Grund dieser Bedeutung von  $J^{131}$  wurden in früheren Arbeiten altersabhängige Inhalations-Dosisfaktoren  $g_H$  [3] und altersabhängige Ingestions-Dosisfaktoren  $g_G$  [4] ermittelt. Erstere werden benötigt bei der Beschreibung der Gefährdung der Schilddrüse durch Inkorporation über die Atemwege, letztere bei der Beschreibung der Gefährdung der Schilddrüse durch Inkorporation über Nahrungsmittel speziell über Milch. Die Gesamtgefährdung setzt sich dann additiv aus den Einzelgefährdungen zusammen.

Die Gefährdung über die Atemwege ist dem örtlichen atmosphärischen Ausbreitungsfaktor  $J(r)$  proportional, so daß die Ortsabhängigkeit der Gefährdung von diesem beschrieben wird. Anders liegen die Verhältnisse bei der

Berechnung der Gefährdung über die Nahrungsmittelkette. Der größte Teil der Bevölkerung verbraucht Milch, die von sogenannten Milchzentralen ausgeliefert wird (Zentralversorgung ZV). Nach Schätzung des BUNDESMINISTERIUMS FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN  $\sqrt{5}$  liegt der Prozentsatz bei 85%. Durch den Einsammelprozess aus einem gewissen Einzugsbereich EB und Wiederauslieferung in dieses Einzugsgebiet findet ein Mittelungsprozess statt, so daß die Gefährdung innerhalb dieses Einzugsgebietes ortsunabhängig ist. In diesem Fall setzt sich die Gesamtgefährdung aus dem ortsabhängigen Inhalations-Anteil und dem ortsunabhängigen Ingestions-Anteil zusammen.

Ein geringer Teil der Bevölkerung ist Eigenversorger (EV). (Schätzung: 8%  $\sqrt{5}$ ). Da dieser Teil ihre Milch aus einem örtlich begrenzten Weidegebiet bezieht, ist die resultierende Gefährdung dem entsprechenden örtlichen Ausbreitungsfaktor  $J(r)$  proportional und somit auch die Gesamtgefährdung aus Inhalations- und Ingestions-Anteil.

In der vorliegenden Studie werden die Gefährdungs-Anteile dargestellt und ihre Summe gebildet. Die Darstellung erfolgt in Form der Spezifischen Dosis  $d$ . Dies ist die resultierende Dosis  $D \sqrt{\text{rem}}$ , die ein Individuum im Mittel bei Ausfluß von  $1 \text{ Ci } J^{131}$  aus einer - hier 100m hohen - Abluftquelle erhält. Es werden die Größen und ihre Dimensionen gezeigt, ein Modell aufgestellt und für verschiedene Altersgruppen die entsprechenden ortsabhängigen Zahlenwerte ermittelt. Schließlich wird das Modell einer Diskussion unterzogen.

2. Dosis D und Spezifische Dosis d

Die Dosis D am Ort  $\vec{r}$  durch Freisetzung von  $J^{131}$  aus einer Abluftquelle am Ort  $\vec{r}_0$  errechnet sich bei Milch-Zentralversorgung ZV wie folgt:

$$D_{ZV}(\vec{r}) = g_H \cdot J(\vec{r}-\vec{r}_0) \cdot A + g_G \cdot \frac{\int J(\vec{r}-\vec{r}_0) dF}{F_{EB}} \cdot A \quad (2.-1)$$

$D(r) \frac{[rem]}{[Ci]}$  = Dosis am Ort  $\vec{r}$

$A \frac{[Ci]}{[Ci]}$  = Aktivitätsfreisetzung einer Quelle am Ort  $\vec{r}_0$

$J(\vec{r}-\vec{r}_0) F \frac{[sec]}{[m^3]}$  = Ausbreitungsfaktor am Ort  $\vec{r}$  bei einer Quelle am Ort  $\vec{r}_0$

$\frac{\int J(\vec{r}-\vec{r}_0) dF}{F_{EB}} \frac{[sec]}{[m^3]}$  = Gemittelter Ausbreitungsfaktor  $J_m$  über den Einzugsbereich (EB) einer Milchzentrale

$g_H \frac{[rem \cdot m^3]}{[Ci \cdot sec]}$  = Inhalations-Dosisfaktor

$g_G \frac{[rem \cdot m^3]}{[Ci \cdot sec]}$  = Ingestions-Dosisfaktor

Die Spezifische Dosis d ist die Dosis D, die bei der Freisetzung von  $A = 1 Ci$  appliziert wird

$$d_{ZV}(\vec{r}) = \frac{D_{ZV}(\vec{r})}{A} = g_H \cdot J(\vec{r}-\vec{r}_0) + g_G \cdot \frac{\int J(\vec{r}-\vec{r}_0) dF}{F_{EB}} \quad (2.-2)$$

$d_{ZV}(\vec{r}) \frac{[rem]}{[Ci]}$  = Spezifische Dosis am Ort  $\vec{r}$

alle übrigen Größen wie unter (2.-1)

Die Dosis  $D$  bei Eigenversorgung EV errechnet sich wie folgt:

$$D_{EV}(\vec{r}) = (g_H + g_G) \cdot J(\vec{r}-\vec{r}_0) \cdot A \quad (2.-3)$$

und die spezifische Dosis  $d$

$$d_{EV}(\vec{r}) = \frac{D_{EV}(\vec{r})}{A} = (g_H + g_G) \cdot J(\vec{r}-\vec{r}_0) \quad (2.-4)$$

### 3. Dosisfaktoren

#### 3.1 Inhalations-Dosisfaktoren $g_H$

Der Inhalations-Dosisfaktor  $g_H$   $\left[ \frac{\text{rem} \cdot \text{m}^3}{\text{Ci} \cdot \text{sec}} \right]$  ist der Zahlenwert

der Dosis  $D$   $[\text{rem}]$ , die ein Individuum im Laufe seines Lebens auf die Schilddrüse erhält, wenn es sich bei normaler Atmung eine Sekunde in einer gasförmigen Wolke mit einer Konzentration  $K = 1 \frac{\text{Ci}}{\text{m}^3} \text{ J}^{131}$  aufgehalten hat.

#### 3.2 Ingestions-Dosisfaktoren $g_G$

Der Ingestions-Dosisfaktor  $g_G$   $\left[ \frac{\text{rem} \cdot \text{m}^3}{\text{Ci} \cdot \text{sec}} \right]$  ist der Zahlenwert

der Dosis  $D$   $[\text{rem}]$ , die ein Individuum im Laufe seines Lebens auf die Schilddrüse erhält, wenn es jene Menge Milch, die dem durchschnittlichen Konsum pro Sekunde entspricht, zu sich genommen hat, die von Weidetieren herrührt, welche ihr Grünfutter von Weidegebieten beziehen, über denen eine Konzentration  $K = 1 \frac{\text{Ci}}{\text{m}^3} \text{ J}^{131}$  herrscht.

Beide Faktoren wurden in den Berichten 3,4 ausführlich erklärt, diskutiert und ihre altersabhängigen Zahlenwerte bestimmt. Diese sind in Tab. 1 wiedergegeben.

#### 4. Ausbreitungsfaktoren

##### 4.1 Ausbreitungsfaktoren $J(r-r_0)$

Der Ausbreitungsfaktor ist das zeitliche Konzentrationsintegral am Ort  $r$ , das von einer Einheitsquelle am Ort  $r_0$  herrührt. In einer früheren Arbeit [6] wurde gezeigt, daß die Ausbreitungsfaktoren, die von verschiedenen Modellen herrühren, sich nicht wesentlich unterscheiden. Im folgenden wird das von SUTTON [7] verwandt.

Legt man die Abluftquelle in die Ursprungsachse ( $r_0=0$ ), so erhält man bei Annahme einer isotropen Windrose den Ausbreitungsfaktor [8].

$$J(r) = \frac{1}{\pi^{3/2} \cdot C_Z \cdot U \cdot r^{2 - \frac{n}{2}}} \cdot \exp \left\{ -\frac{1}{r^{2-n}} \cdot \left( \frac{H}{C_Z} \right)^2 \right\} \quad (4.-1)$$

$J$ [sec/m <sup>3</sup> ]	=	Ausbreitungsfaktor
$r$ [m]	=	Abstand von der Quelle
$H$ [m]	=	Höhe der Quelle über der Beobachtebene ( $Z=0m$ )
$U$ [m/sec]	=	Windgeschwindigkeit
$n$ [dimensionslos]	=	Turbulenzparameter
$C_Z$ [m <sup>n/2</sup> ]	=	Diffusionsparameter in Z-Richtung

Bei BLÄSSER und WIRTZ [9] werden die Parameter wie folgt angegeben.

Turbulenz- und Diffusionsparameter bei verschiedenen Wetterlagen

	Turbulenzparameter n	Diffusionsparameter $C_Z$
Normalwetter	0,25	0,23 m <sup>1/8</sup>
Inversionswetter	0,50	0,06 m <sup>1/4</sup>

Für eine Windgeschwindigkeit von  $U = 1$  m/sec und einer Höhe der Abluftquelle von  $H = 100$  m (übliche Höhe des Abluftkamins) sind die entsprechenden Ausbreitungsfaktoren für ein 80% Normalwetter-20% Inversionswetter-Gemisch in Abb. 1 eingezeichnet.

Unberücksichtigt blieben bei den Ausbreitungsformeln (4.-1) der radioaktive Zerfall und die Ablagerung von  $J^{131}$ . Beide führen zu einer effektiven Abnahme des Ausbreitungsfaktors mit der Entfernung.

Der radioaktive Zerfall kann durch folgenden Faktor berücksichtigt werden

$$f_R(r) = e^{-\frac{r}{U \cdot T}} \quad (4.-2)$$

$\frac{1}{T} = \text{Lebensdauer von } J^{131} \quad (T_{1/2} = 8 \text{ Tage})$

Mit  $U = 1$  m/sec errechnet sich ein  $U \cdot T = 1008$  km, so daß sich für einen Abstand  $r = 100$  km, bis zu welchem die Überlegungen ausgedehnt werden sollen, ein

$$f_R(100 \text{ km}) \approx 0,9 \quad \text{ergibt.}$$

Dies ist vernachlässigbar gegenüber dem Einfluß der Ablagerung. Dieser wird für  $H = 0$  m durch folgenden Faktor berücksichtigt  $\frac{1}{10}$

$$f_V(r) = e^{-\frac{4 \cdot V_g}{\sqrt{\pi} \cdot U \cdot n \cdot C_Z}} \cdot r^{n/2} \quad (2.-5)$$

$V_g$  [m/sec] = Ablagerungsgeschwindigkeit

Da bei einer Kaminhöhe  $H > 0$  der Ablagerungsprozess erst in jenem Abstand einsetzt, in dem die Abluftwolke bis zum Boden reicht, muß ein modifizierter Faktor  $f_V^+(r)$  verwendet werden

$$f_V^+(r) = \begin{cases} 1 & r \leq r_K \\ \frac{f_V(r)}{f_V(r_K)} & r \geq r_K \end{cases} \quad (2.-6)$$

$r_K$  ist die in einer früheren Arbeit [11] abgeleitete "Kaminersparnis"

$$r_K = \left(\frac{H}{C_Z}\right)^{\frac{2}{2-n}} \cdot 2^n \quad (2.-7)$$

$r_K$  nimmt für  $H = 100$  m folgende Zahlenwerte an

Normalwetter:  $r_K = 1,25$  km

Inversionswetter:  $r_K = 27,5$  km

In einer früheren Arbeit [4] wurde für Grasnarbe und J<sup>131</sup> ein  $V_g = 0,8$  cm/sec hergeleitet. Da jedoch Waldgebiete sicher eine größere Ablagerungsgeschwindigkeit besitzen, aber für diese und andere Bodenbedeckungen außer ersten allgemeinen Untersuchungen [12] keine Zahlenwerte vorliegen [13] wird im folgenden mit einem  $V_g = 1$  cm/sec gerechnet. Die entsprechend korrigierten Ausbreitungs-



faktoren sind in Abb. 1 eingezeichnet.

4.2 Ausbreitungsfaktor

$$\frac{\int_{F_{EB}} J(\vec{r} - \vec{r}_0) dF}{F_{EB}}$$

Dieser Ausbreitungsfaktor, im folgenden kurz mit  $J_m$  bezeichnet, ist formell der über einen Flächenbereich gemittelte Ausbreitungsfaktor  $J$ . Dieser Bereich ist identisch mit dem Einzugsbereich EB einer Milchzentrale. In diesem Bereich wird der größte Teil der erzeugten Milch zur Weiterverarbeitung an die Zentrale geliefert und von dort aus als aufbereitete Milch den Einzel-Verkaufsstellen zugeleitet.

Der Mittelungsprozess bei diesem Verfahren der Zentralversorgung ZV vollzieht sich dabei über zwei Vorgänge

- 1.) Bei der Verarbeitung der Milch in der Zentrale werden zumindest teilweise Anlieferungen aus verschiedenen Gegenden gemeinsam behandelt.
- 2.) Beim Kauf der Milch in kleinen Portionen durch die einzelnen Haushalte findet über ein Jahr hinweg ebenfalls eine Mittelung statt.

Das Einzugsgebiet derartiger Milchzentralen liegt je nach Grundlandnutzung im Bereich von  $R = 50$  bis  $150 \text{ km} \sqrt{147}$ . Im folgenden soll mit einem mittleren Bereich von  $R = 100 \text{ km}$  gerechnet werden. Weiterhin soll bei diesem Modell vereinfachend angenommen werden, daß das Einzugsgebiet ein kreisförmiges Gebiet ist, das konzentrisch zur Abluftquelle liegt. Abweichungen von diesen Annahmen werden weiter unten diskutiert.

Die entsprechenden Zahlenwerte von  $J_m$  für die weiter oben getroffenen Wetterbedingungen sind in Abb. 1 eingetragen.

Für Selbstversorger SV gelten weiterhin die unter 4.1 angegebenen Ausbreitungsfaktoren  $J(r)$ .

5. Ortsabhängige spezifische Dosis d

Mit Hilfe der Dosisfaktoren  $g_H$  und  $g_G$  und der Ausbreitungsfaktoren  $J$  und  $J_m$  wurden die Spezifischen Dosen  $d_{ZV}$  und  $d_{EV}$  nach den Gleichungen (2.-2) und (2.-4) berechnet. Letztere schreiben sich vereinfacht

$$d_{ZV}(r) = g_H \cdot J(r) + g_G \cdot J_m \quad (5.-1)$$

$$d_{EV}(r) = (g_H + g_G) \cdot J(r) \quad (5.-2)$$

Die Ergebnisse sind für acht Altersstufen in den Abb. 2a-h dargestellt.

Wie von den Dosisfaktoren her zu erwarten, zeigen sich auch die Spezifischen Dosen als altersabhängige Größen, wobei die Maxima innerhalb des ersten Lebensjahres liegen. Bezüglich der Entfernung liegen die Maxima der Spezifischen Dosen unabhängig von der Altersstufe bei  $r = 1$  km. Dies resultiert aus dem Maximum des Ausbreitungsfaktors  $J(r)$  (Abb.1), das ebenfalls bei 1 km liegt. Für den Bereich nahe der Abluftquelle liegen die Spezifischen Dosen bei Eigenversorgung wesentlich über denen bei Zentralversorgung.

Mit zunehmendem Abstand fallen die Spezifischen Dosen bei Eigenversorgung sehr stark ab, so daß für große Entfernungen schließlich die Spezifischen Dosen bei Zentralversorgung überwiegen.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß die eben abgeleiteten Spezifischen Dosen nur für den Zeitraum der halbjährigen Grünfütterungszeit Gültigkeit besitzen. Für den Zeitraum der Trockenfütterung besteht die Gefährdung nur noch über die Atemwege. Dann gilt

$$d_{ZV}(r) = d_{EV}(r) = g_H \cdot J(r) \quad (5.-3)$$

Für das entsprechende jährliche Mittel, zeitlich konstante Emission vorausgesetzt, gilt dann

$$a \frac{d_{ZV}}{d_{ZV}}(r) = \frac{1}{2} \cdot \left( 2 g_H \cdot J(r) + g_G \cdot J_m \right) \quad (5.-4)$$

$$a \frac{d_{EV}}{d_{EV}}(r) = \frac{1}{2} \cdot \left( 2 g_H + g_G \right) \cdot J(r) \quad (5.-5)$$

Betrachtet man den kritischsten Fall, nämlich ein Kleinkind (0,5 Jahre), für das sich bei Eigenversorgung eine maximale Spezifische Dosis von  $a \frac{d_{EV}}{d_{EV}} = 4 \cdot 10^{-2} \frac{\text{rem}}{\text{Ci}}$  errechnet und

stellt dann in Rechnung die maximal zulässige Schilddrüsenbelastung von  $90 \text{ mrem/a} \sqrt{15}$ , so erhält man als Forderung, daß die Abgabe eines Daueremittenten  $2 \text{ Ci } J^{131}$  im Jahr nicht übersteigen darf. Bei Anlagen mit mehreren Kernkraftwerksblöcken gilt dieser Grenzwert für die gesamte Anlage, d.h. die Abgaben der Einzelemittenten muß entsprechend reduziert werden.

## 6. Diskussion des Modells

Die Kritik an einem Modell befaßt sich i.a. mit den getroffenen Vereinfachungen. Die folgende Diskussion soll zeigen, inwieweit diese Vereinfachungen zulässig sind und wie bei erheblichen Abweichungen vom Modell durch einfache, im folgenden angegebenen Korrekturmöglichkeiten diesen Rechnung getragen werden kann.

### a) Ausbreitungs- und Ablagerungsmodell

Hier wurde eine isotope Windrose und eine effektive Windgeschwindigkeit  $U = 1$  m/sec angenommen.

Der Einfluß der Anisotropie einer Windrose auf den Ausbreitungsfaktor  $J(r)$  wurde für das Beispiel des Oberrheingebietes bereits in einer früheren Arbeit /16/ untersucht. Dabei zeigte es sich, daß windrichtungsabhängige Schwankungen von  $J(r)$  von ca.  $\pm 25\%$  um den Mittelwert auftreten können. Auf den gemittelten Ausbreitungsfaktor  $J_m$  hat die Anisotropie keinen Einfluß, da durch den Integrationsvorgang ihr Einfluß verschwindet.

Die effektive Windgeschwindigkeit kann den örtlichen meteorologischen Gegebenheiten entsprechend eingesetzt werden. Die resultierenden Spezifischen Dosen verhalten sich dann umgekehrt proportional zu  $u$ . Auf das Verfahren zur Bildung der effektiven Windgeschwindigkeit sei hingewiesen /8 - Anhang 1/.

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit wurde einheitlich mit  $V_g = 1$  cm/sec angenommen, da zum einen keine detaillierten Daten über unterschiedliche Bewuchsformen vorliegen und zum andern eine detaillierte Rechnung nur für konkrete Standorte sinnvoll ist.

Außerdem wurde angenommen, daß einmal abgelagertes Jod nicht durch meteorologische Vorgänge neu verteilt wird  $\sqrt{17}$ . Dieser Vorgang ist außerdem wegen des Integrationsvorganges bei der Bildung von  $J_m$  vernachlässigbar.

b) Modell der Milcherzeugung und des Verbrauchs

Bei Eigenversorgung gelten die gezeigten Kurven nur dann in voller Strenge, wenn eine örtlich eng begrenzte Weidefläche vorliegt. Tatsächlich dürfte bei den meisten landwirtschaftlichen Betrieben eine Grünfütterung von mehreren verteilt liegenden Einzelgrasflächen stattfinden, so daß u.U. eine Mittelung bis zu den Gemarkungsgrenzen einer Gemeinde stattfindet. Die resultierenden Änderungen in der Belastung sind jedoch nicht erheblich.

Weiterhin wurde angenommen, daß die Milch unmittelbar nach der Erzeugung verbraucht wird. Diese Annahme ist jedoch nur für den Fall der Eigenversorgung in einem gewissen Sinn gültig. Bei der Zentralversorgung vergeht eine gewisse Zeitspanne ~~zwischen Produktion und Verbrauch~~, die sich in der Größenordnung von 2 - 3 Tagen bewegt  $\sqrt{18}$ . Aufgrund der Halbwertszeit von  $J-131$  von 8 Tagen würde dies bedeuten, daß die Belastung durch Ingestion bei Zentralversorgung um ca. 25% überschätzt würde gegenüber der Belastung bei Eigenversorgung. Im Rahmen der erreichbaren Genauigkeit aller hier verwandter Daten ist diese konservative Abschätzung erlaubt.

c) Modell der Bevölkerung

Die Bevölkerung, die im Modell als unbewegt angenommen wurde, zeigt eine gewisse Mobilität, die sich z.B. in der täglichen Fahrt zur Arbeits- oder Ausbildungsstätte äußert. Diese Mobilität mittelt die Inhalationsdosis über den örtlichen Bewegungsbereich.

Für die gefährdetsten Personengruppen, nämlich Kinder und Kleinkinder trifft diese Mobilität noch nicht zu, so daß für sie die erhaltenen Werte uneingeschränkt gelten.

d) Modell Quelle-Einzugsbereich

Das vorgelegte Modell geht von einer Quelle aus, die konzentrisch in einem kreisförmigen Einzugsbereich mit dem Radius  $R = 100$  km liegt.

Abweichungen von diesem kreisförmigen Einzugsgebiet bedürfen bei konkreten Fällen einer gesonderten Behandlung.

Für von  $R = 100$  km abweichende Radien des Einzugsgebietes finden sich in Abb. 3 die entsprechend gemittelten Ausbreitungsfaktoren  $J_m$ . Der Ausbreitungsfaktor  $J(r)$  bleibt davon unberührt. Änderungen von  $J_m$  bei Abweichungen der Quelle von der konzentrischen Lage sind in Abb. 4 dargestellt. Der Ausbreitungsfaktor  $J(r)$  muß dann in  $J(\vec{r} - \vec{r}_q)$  abgeändert werden.

Liegen mehrere Quellen vor, so findet eine lineare Superposition der Einzeldosen statt, unabhängig davon, ob sich die Quellen innerhalb oder außerhalb des Einzugsbereiches befinden. Die Gleichungen (2.-1) bzw. (2.-3) schreiben sich dann

$$D_{ZV}(\vec{r}) = g_H \cdot \sum_i J(\vec{r} - \vec{r}_{O_i}) \cdot A_i + g_G \cdot \sum_i \frac{\int_{F_{EB}} J(\vec{r} - \vec{r}_{O_i}) dF}{F_{EB}} \cdot A_i \quad (6.-1)$$

bzw.

$$D_{EV}(\vec{r}) = (g_H + g_G) \cdot \sum_i J(\vec{r} - \vec{r}_{O_i}) \cdot A_i \quad (6.-2)$$

Die Formulierung der Spezifischen Dosis  $d(r)$  läuft analog, wenn die Gleichheit aller Quellstärken  $A_i$  vorausgesetzt werden kann.

## 7. Schlußbemerkungen

Diese Studie wurde durchgeführt, um anhand eines einfachen Modells über die Spezifische Dosis  $d$  eine Aussage über die radiologische Belastung der Umgebungsbevölkerung eines Kernkraftwerkes durch abgegebenes Jod-131 zu gewinnen. Die erhaltenen Werte sind zwar Relativzahlen - erst die Multiplikation mit der Größe der abgegebenen Aktivität ergibt die Dosis  $D$  -, doch liefern sie bereits eine Aussage über den Gefährdungsgrad von bestimmten Personengruppen.

Die gefährdetste Gruppe ist die der Milch-Selbstversorger in der Nähe einer Reaktoranlage, wobei hiervon wiederum die Untergruppe der Kleinkinder am meisten belastet wird. Da sich Sicherheitsüberlegungen stets an der gefährdetsten Gruppe orientieren, ergibt sich aufgrund dieser Personengruppe eine maximale Abgaberate von 2 Ci/a bei Daueremission, wobei davon maximal 1 Ci in die Grünfütterungszeit fallen darf.

Besondere Überlegungen sind bei der Ballung von Kernkraftwerken zu treffen. Hier ist durch entsprechende Reduzierung der Abgaberraten Sorge dafür zu tragen, daß die maximale Dosis von 90 mrem/a nicht überschritten wird.

Literatur

- [ 1 ] W. ERGEN  
Site criteria for Reactors with Multiple Containment  
Nuclear Safety 4 (4), 8-14 (1962/63)
- [ 2 ] J.R. BEATTIE  
Risk Assessment  
Nuclear Engineering and Design 13, 240-242 (1970)
- [ 3 ] A. BAYER  
Der altersabhängige Inhalations-Dosisfaktor  $g_H$  von  $J^{131}$   
Bericht KFK 1073 (1969)
- [ 4 ] A. BAYER  
Die altersabhängigen Ingestions-Dosisfaktoren  $g_G$  und  $g_G'$   
von  $J^{131}$   
Bericht KFK 1582 (1972)
- [ 5 ] BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN  
Private Mitteilung  
Bonn (1972)
- [ 6 ] A. BAYER  
Die Ausbreitung der radioaktiven Wolke und die zu erwartenden Inhalationsdosen  
Bericht KFK 646 (1967)
- [ 7 ] O.G. SUTTON  
Micrometeorology  
McGraw-Hill, Toronto-London (1955)
- [ 8 ] A. BAYER  
Untersuchung von Individual- und Populations-Ausbreitungsfaktoren für mögliche Reaktorstandorte am Rhein von Karls-



ruhe (Flußmilometer 360) bis Mannheim (Flußkilometer 430)  
Bericht KFK 1501 (1971)

/9/ G. BLÄSSER und K. WIRTZ  
Nukleare Grundlagen für Standort- und Gebäudewahl von  
Kernreaktoren  
Nukleonik 3, 164-178, 210-231 (1961)

/10/ A.C. CHAMBERLAIN  
Aspects of Travel and Deposition of Aerosol and Vapour  
Clouds  
Report AERE-HP/R 1261 (1953)

/11/ A. BAYER  
Die Ausbreitung einer radioaktiven Wolke und die für  
die Gesamtbevölkerung zu erwartenden Dosen  
Bericht KFK 868 (1968)

/12/ G.S. RAYNOR  
Effects of a Forest on Particulate Dispersion  
aus: Proceedings of the USAEC Meteorological Informa-  
tion Meeting, Chalk River  
Report AECL-2787 (1967)

/13/ J.R. BUCHANAN  
Private Mitteilung  
Oak Ridge National Laboratory - Nuclear Information Center  
(1972)

/14/ MILCHZENTRALE KARLSRUHE  
Private Mitteilung  
Karlsruhe (1972)

/15/ J. SCHWIBACH  
Strahlenschutzrichtwerte für die Genehmigung der Ableitung  
radioaktiver Stoffe aus Kerntechnischen Anlagen

aus: Konferenzbericht des 7. Fachgesprächs des IRS  
Bericht IRS-P-231 (1972)

/16/

A. BAYER

Die Tritium-Konzentration in der Atmosphäre durch  
Zwangsverdunstung und natürliche Verdunstung von  
tritiumhaltigem Wasser des Vorfluters

Bericht KFK-1626 (1972)

/17/

A.J. AMATO

A Mathematical Analysis of the Effects of Wind on  
Redistribution of Surface Contamination

Report WASH-1187 (1971)

/18/

MILCHZENTRALE KARLSRUHE

Private Mitteilung

Karlsruhe (1972)

Tab. 1 Altersabhängige Inhalations-Dosisfaktoren  $g_H$   
 und Ingestions-Dosisfaktoren  $g_G$  von  $J^{131}$

Alter $\overline{[a]}$	$g_H$ $\frac{\text{rem}\cdot\text{m}^3}{\text{Ci}\cdot\text{sec}}$	$g_G$ $\frac{\text{rem}\cdot\text{m}^3}{\text{Ci}\cdot\text{sec}}$
Neugeborene	775	158 600
0,5	1454	156 800
1	1189	101 500
3	962	55 400
5	835	35 300
10	602	14 400
15	435	6 500
Erwachsene	375	3 200



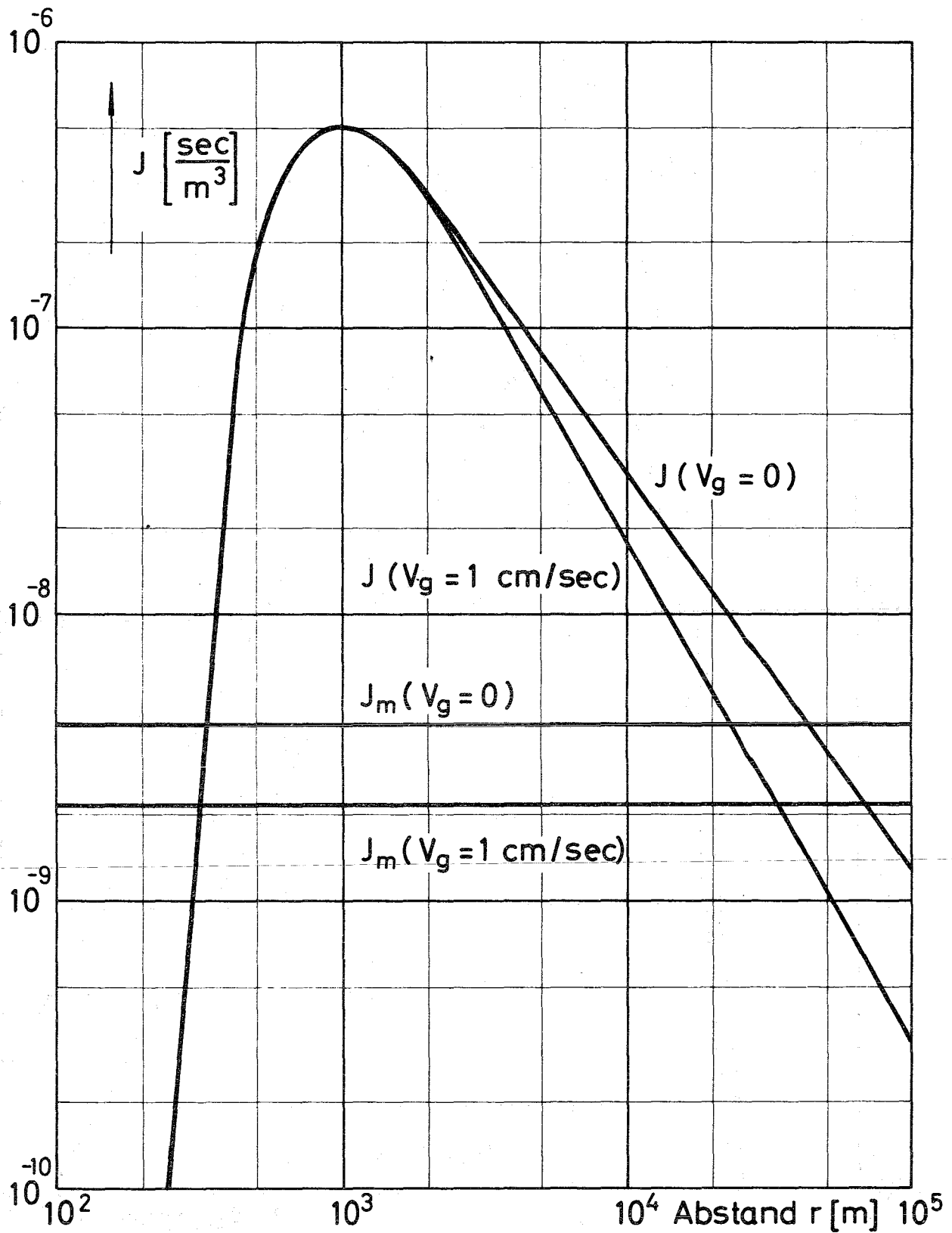


Abb. 1 Ausbreitungsfaktoren bei Dauerausbreitung und Quellhöhe  
 $H = 100 \text{ m}$  (80% Normalwetter, 20% Inversionswetter)

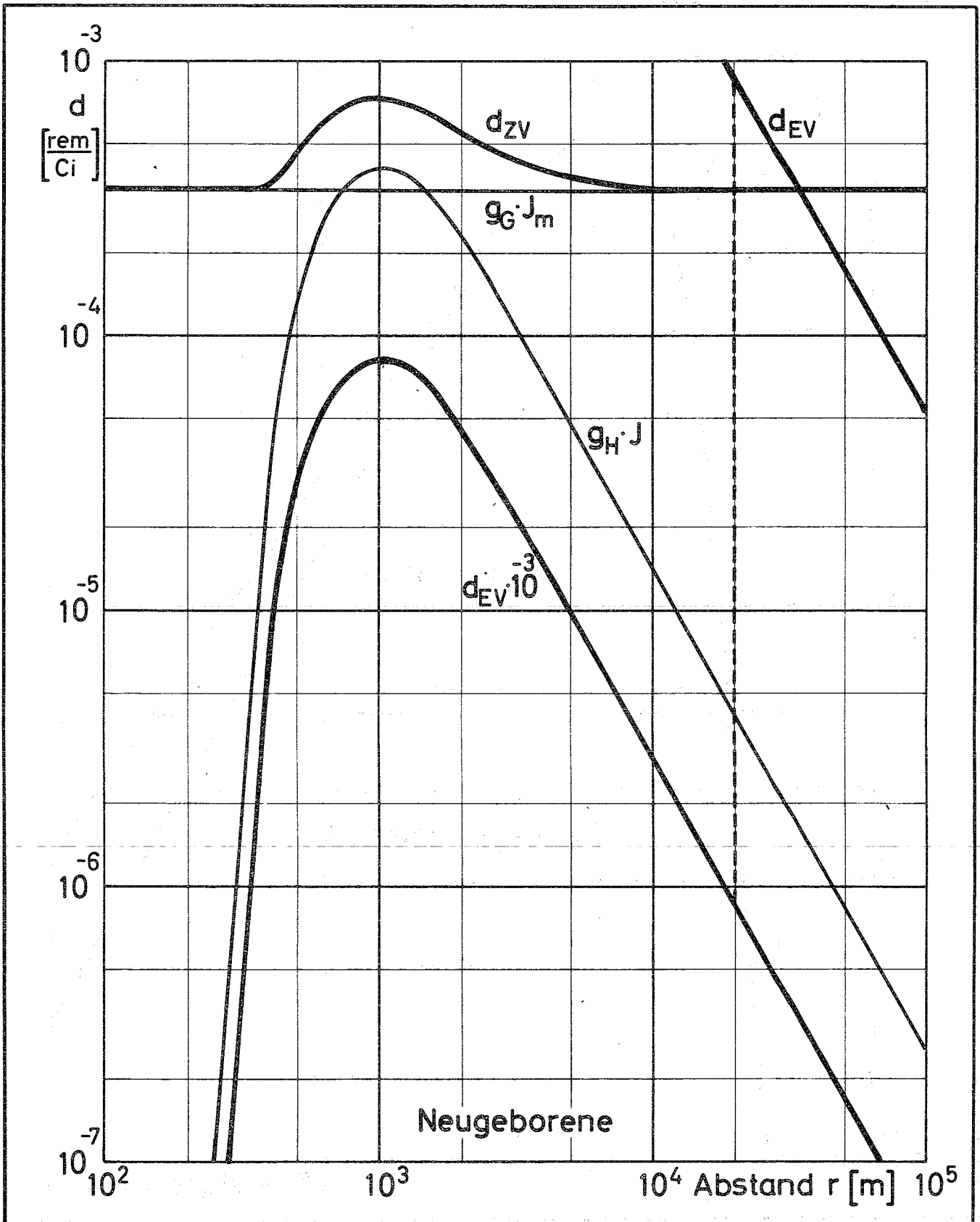


Abb. 2a

Spezifische Dosis - Altersgruppe: Neugeborene

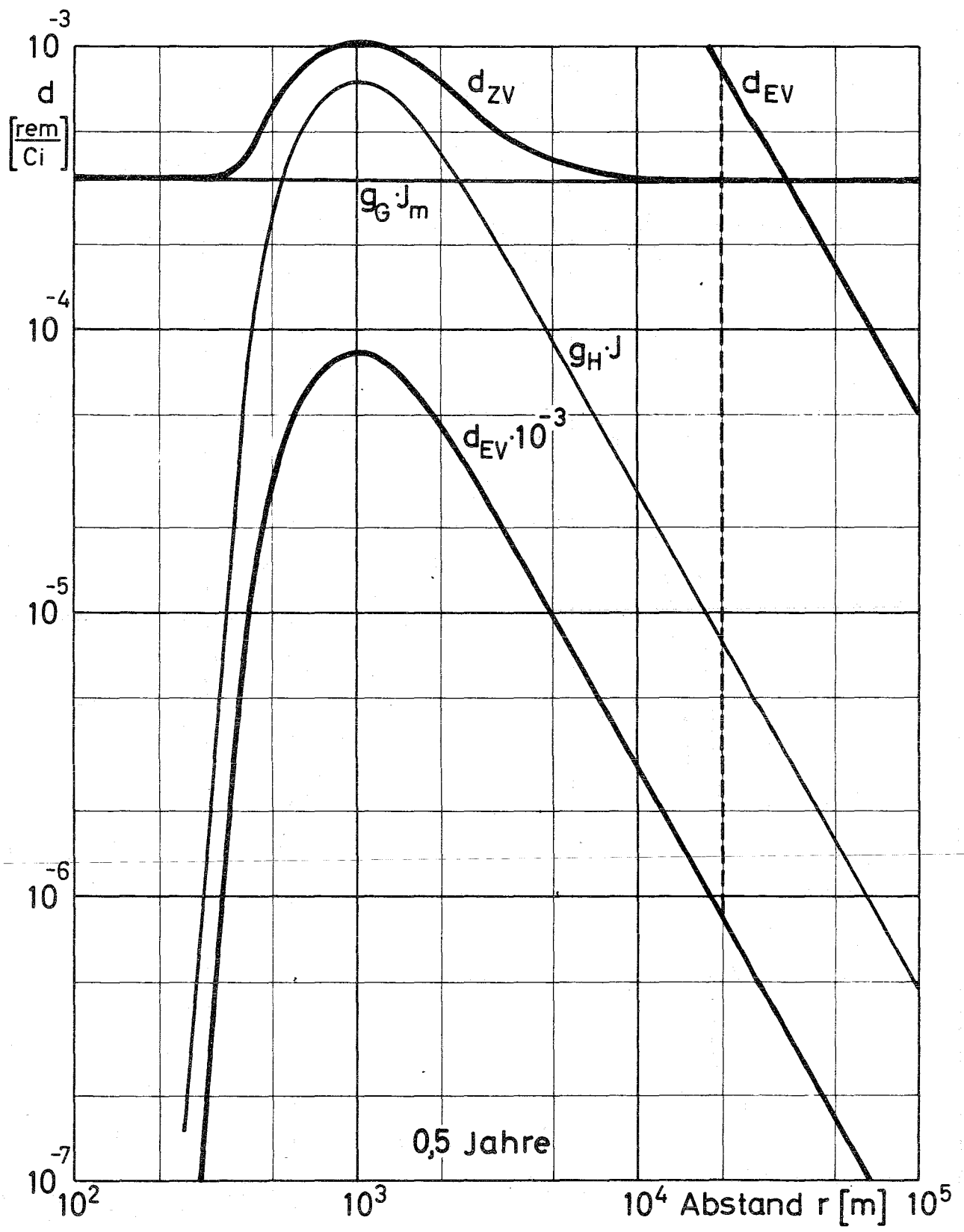


Abb. 2b Spezifische Dosis - Altersgruppe: 0,5 Jahre

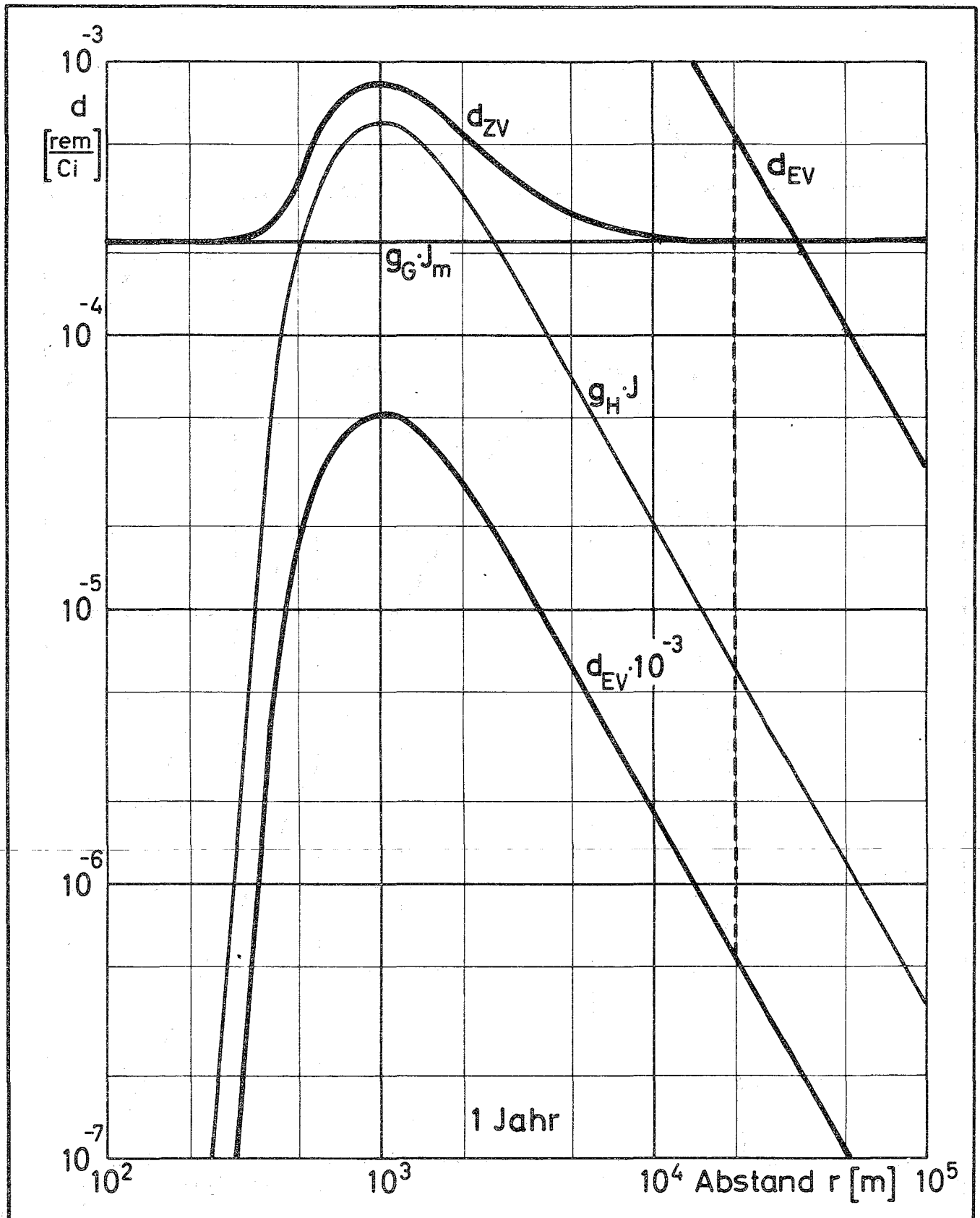


Abb. 2c Spezifische Dosis - Altersgruppe: 1 Jahr



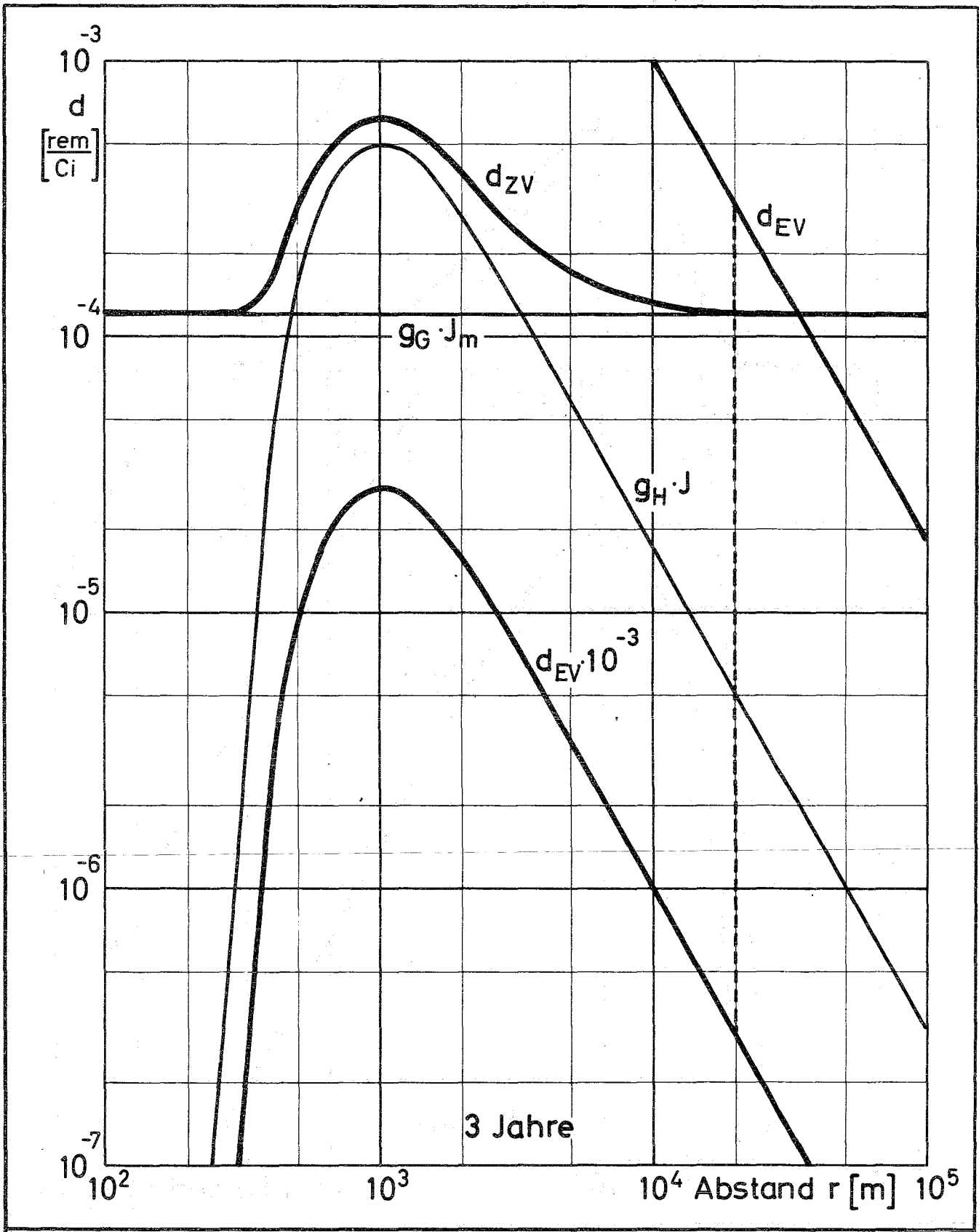


Abb. 2d Spezifische Dosis - Altersgruppe: 3 Jahre

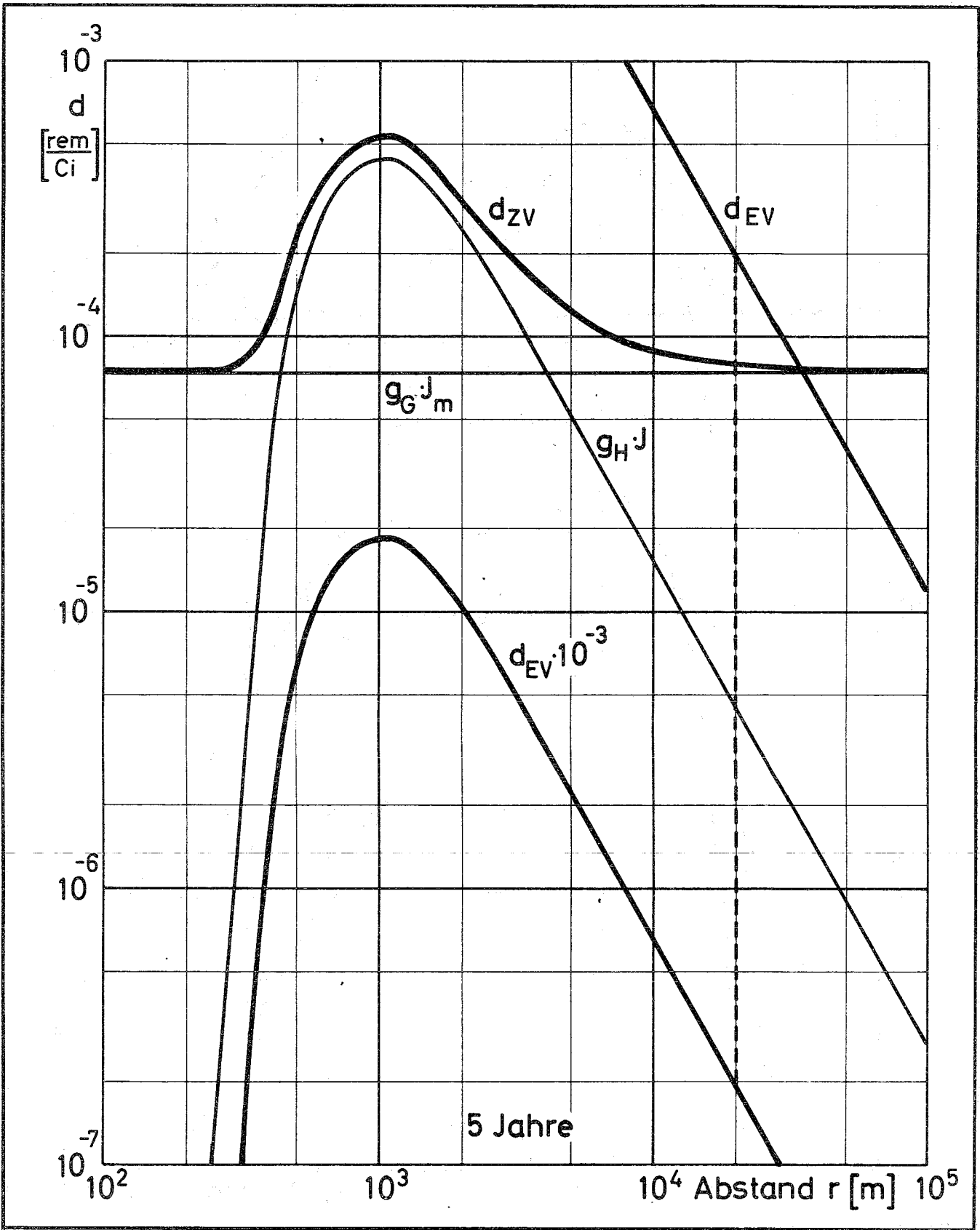


Abb. 2e Spezifische Dosis - Altersgruppe: 5 Jahre

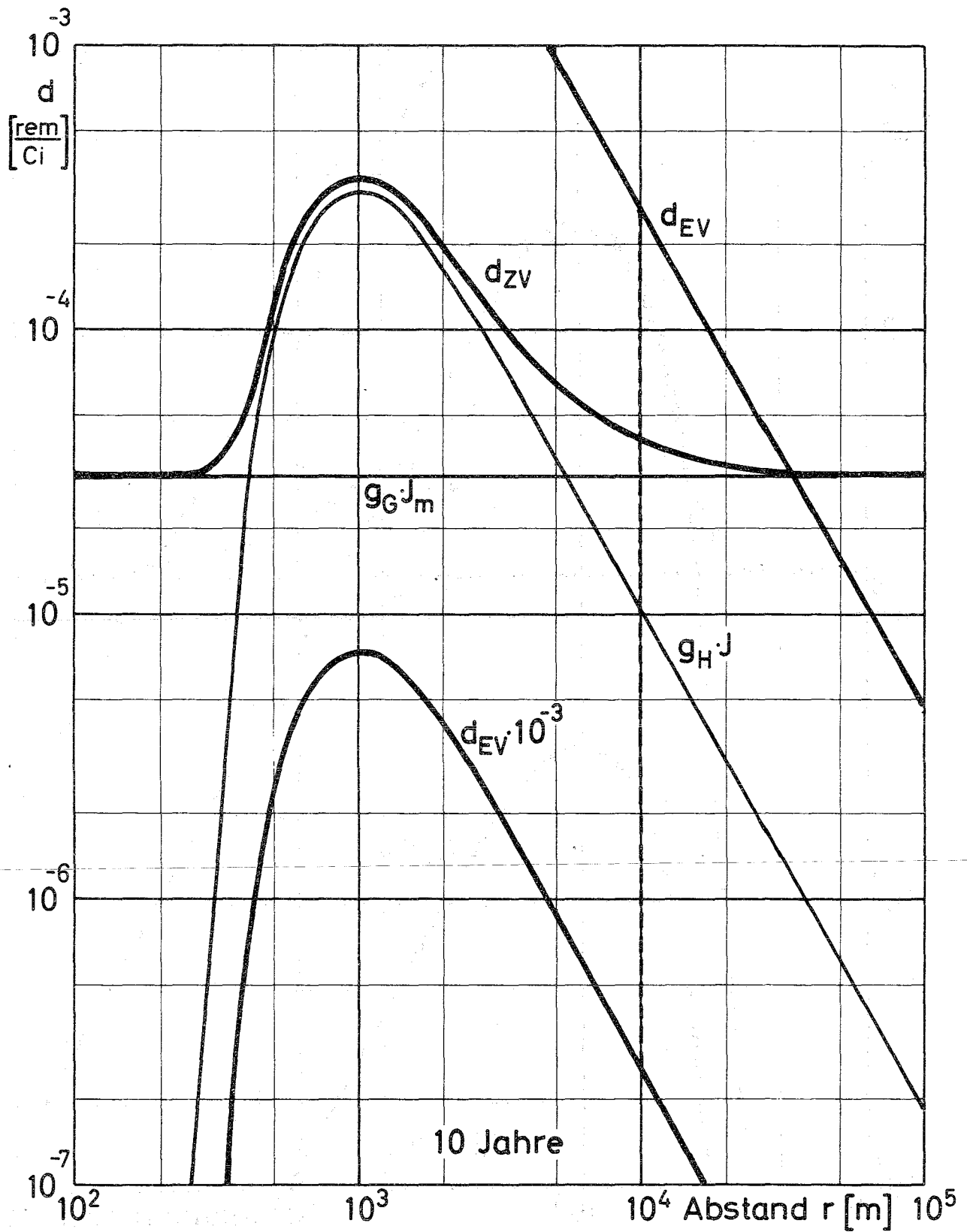


Abb. 2f Spezifische Dosis - Altersgruppe: 10 Jahre

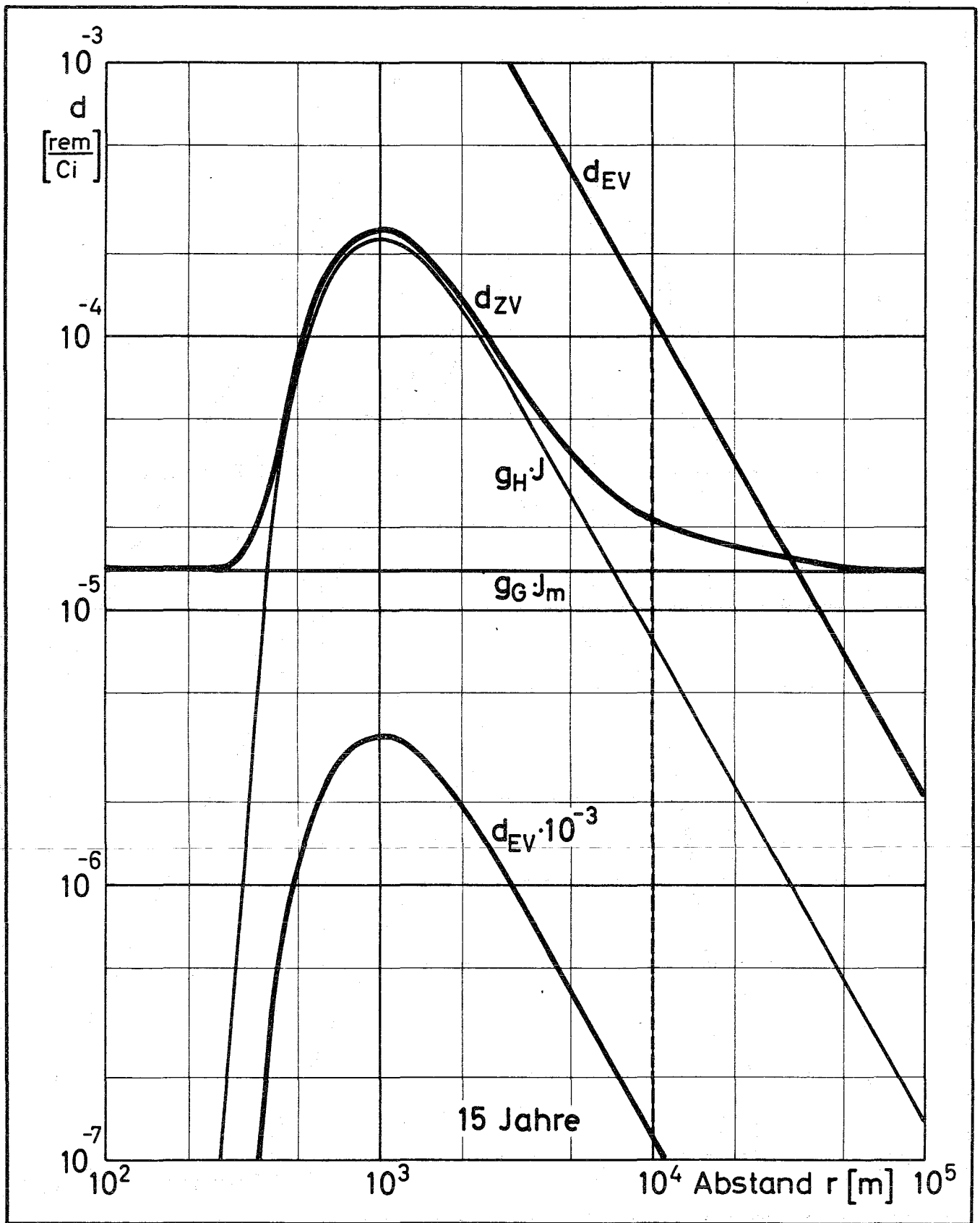


Abb. 2g Spezifische Dosis - Altersgruppe: 15 Jahre

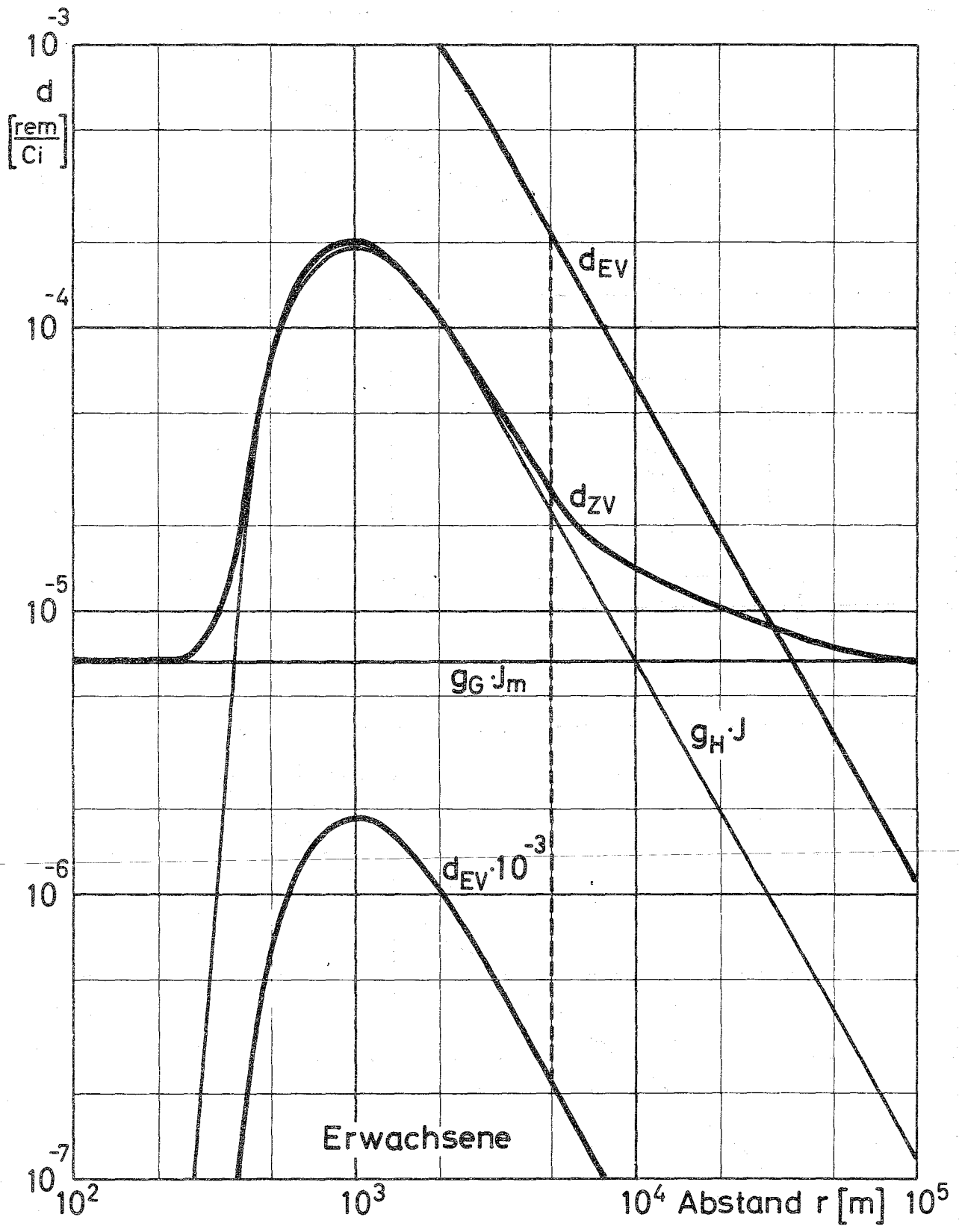


Abb. 2h Spezifische Dosis - Altersgruppe: Erwachsene

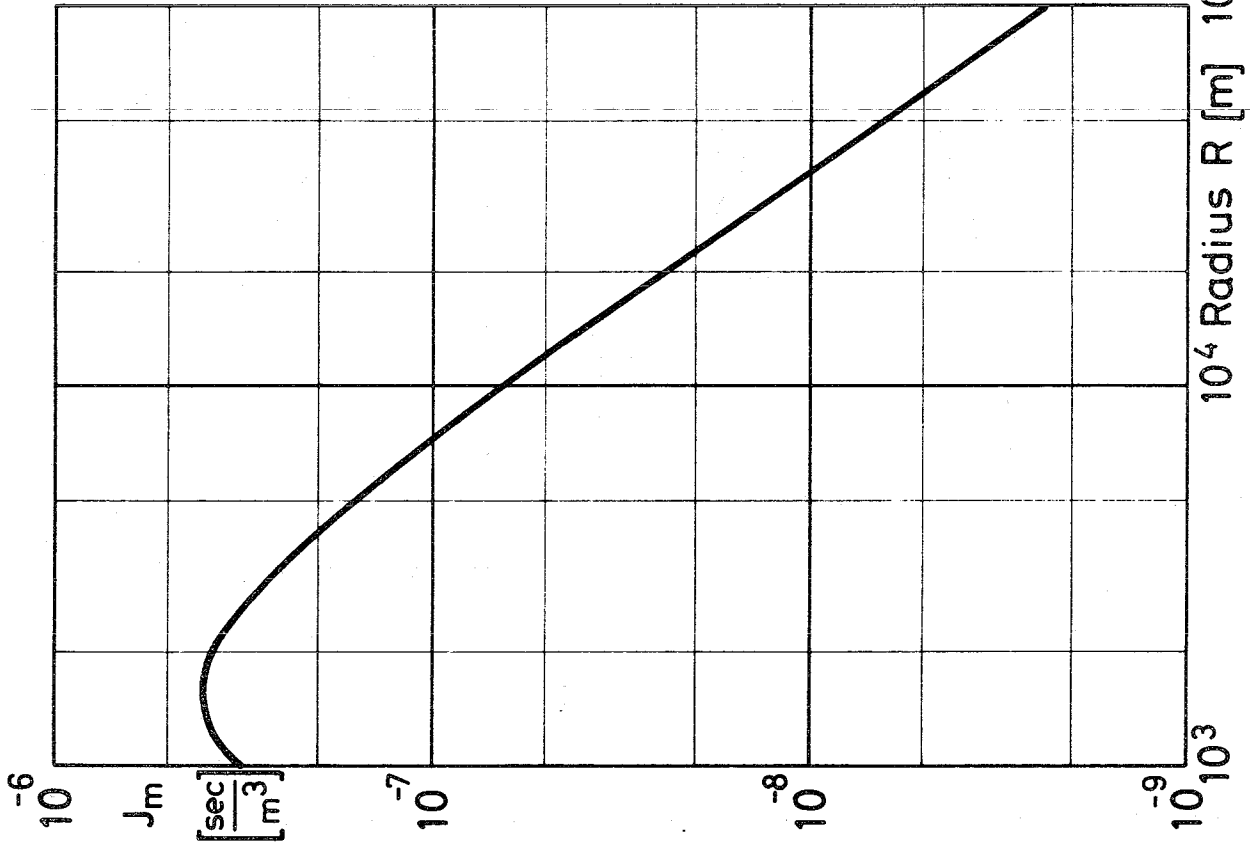


Abb. 3 Ausbreitungsfaktor  $J_m$  bei verschiedenen Radien  $R$  des Milch-Einzugsgebietes

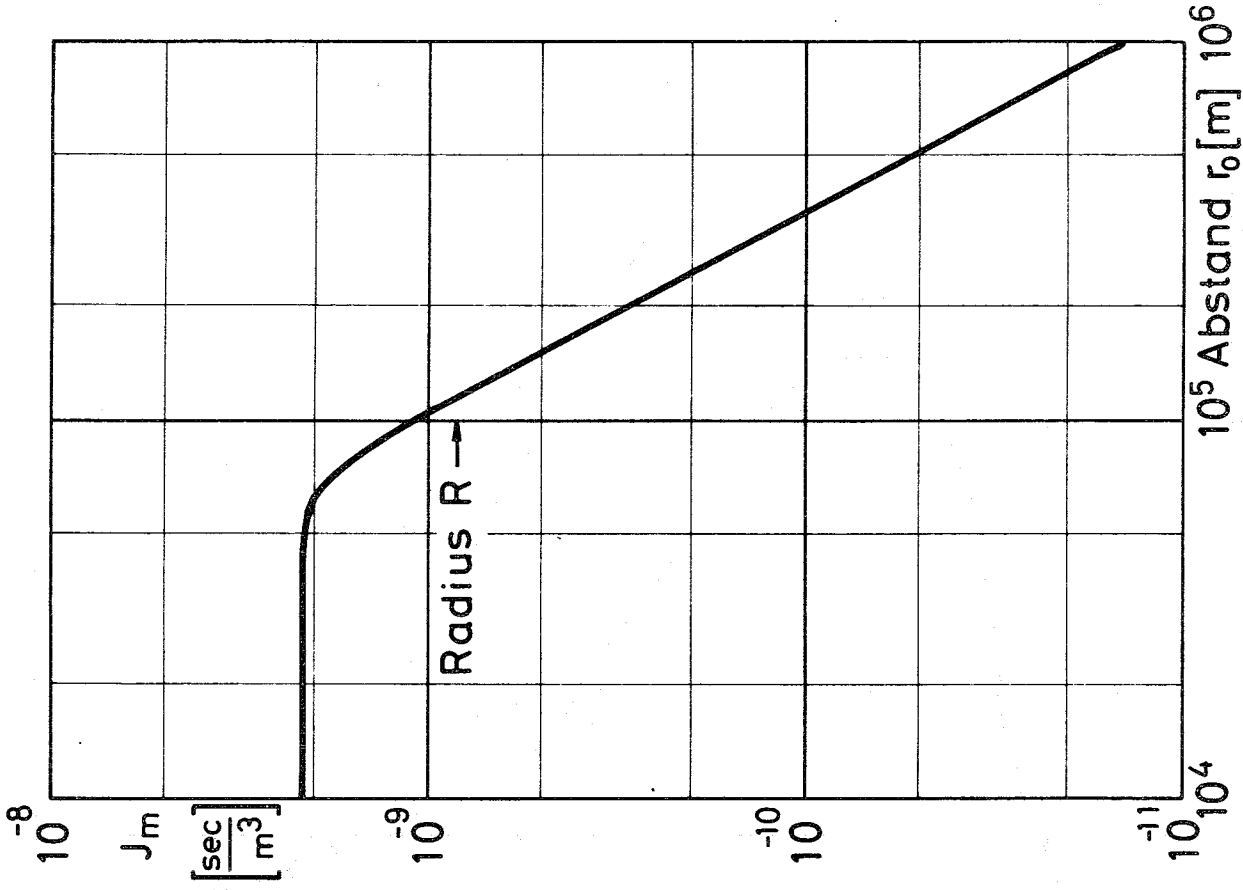


Abb. 4 Ausbreitungsfaktoren  $J_m$  bei asymmetrischer Anordnung von Quelle und Milch-Einzugsbereich