KERNFORSCHUNGSZENTRUM

KARLSRUHE

April 1972

KFK 1582

Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik

Projekt Nukleare Sicherheit

Die altersabhängigen Ingestions-Dosisfaktoren g_G und g_G' von Jod-131

A. Bayer

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.

KARLSRUHE

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M.B.H.
KARLSRUHE

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARSLRUHE

April 1972 KFK 1582

Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik
Projekt Nukleare Sicherheit

Die altersabhängigen Ingestions-Dosisfaktoren g_G und g_G' von Jod-131

A. Bayer

Gesellschaft für Kernforschung mbH., Karlsruhe

Zusammenfassung

Zur Bildung eines altersabhängigen Ingestions-Dosisfaktors g_G von J^{131} werden Angaben aus der Literatur herangezogen. Es wird eine altersabhängige Dosisfaktorkurve gewonnen, die sich an der Jod-Konzentration in der Milch orientiert. Für einen handlichen Gebrauch werden diese Daten vereinfacht und folgende Dosisfaktoren empfohlen:

0 - 1 Jahre:	g_G =	$160 \cdot 10^{-3}$ rem·m³/C·sec
1 - 5 Jahre:	g_G =	$75 \cdot 10^{-3}$ rem·m³/C·sec
5 - 15 Jahre:	g_G =	$25 \cdot 10^{-3}$ rem·m³/C·sec
über 15 Jahre:	g_G =	$3{,}5 \cdot 10^{-3}$ rem·m³/C·sec

Zur Bildung der erweiterten Ingestions-Dosisfaktoren $g_G' = c \cdot g_G$, die sich an der Jod-Konzentration in der Luft orientieren, wird der Milch-Luft-Konversionsfaktor zu $c = 1 \cdot 10^6$ ermittelt. Die erweiterten Ingestions-Dosisfaktoren g_G' werden mit den Inhalations-Dosisfaktoren g_H verglichen und für eine vorgeschlagene maximale Schilddrüsenbelastung für Kleinkinder von 90 mrem/a eine maximale Jodkonzentration in Luft von $3{,}6 \cdot 10^{-14}$ C/m³ ermittelt.

Abstract

For evaluation of an age dependent ingestion dose factor g_G of ^{131}I reference is made to literature. An age-dependent curve is obtained which is based on the iodine concentration in milk. Simplification provides a convenient use of these data and the following dose factors are recommended:

0 - 1 years:	g_G =	$160 \cdot 10^{-3}$ rem·m³/C·sec
1 - 5 " :	g_G =	$75 \cdot 10^{-3}$ rem·m³/C·sec
5 - 15 " :	g_G =	$25 \cdot 10^{-3}$ rem·m³/C·sec
over 15 " :	g_G =	$3{,}5 \cdot 10^{-3}$ rem·m³/C·sec

To obtain an extended ingestion dose factor $g_G' = c \cdot g_G$ which is based on the iodine concentration in air the milk-air-conversion factor is determined to be $c = 1 \cdot 10^6$. The extended ingestion dose factor g_G' is compared with the inhalation dose factor g_H. For a proposed maximum thyroid dose of 90 mrem/a for children the maximum iodine concentration in air is $3.6 \cdot 10^{-14}$ C/m³.

I n h a l t

1. Einleitung

Das Jodisotop J^{131} stellt wegen seiner hohen Spaltausbeute, der relativ hohen Flüchtigkeit und wegen seines hohen Schilddrüsen-Dosisfaktors ein Hauptrisiko bei Kernkraftwerken dar. An die Atmosphäre abgegebenes Jod kann sowohl durch Inhalation (Atmung) als auch durch Ingestion (Nahrungsmittelaufnahme) in den menschlichen Körper gelangen. Die Aufnahme durch Inhalation kann dabei sowohl über die Lungenatmung als auch über die Hautatmung vollzogen werden, wobei letztere einen vernachlässigbaren Beitrag liefert [1]. Für die Lungenatmung wurde bereits in einer früheren Arbeit der altersabhängige Dosisfaktor g_H ermittelt [2].

Durch Ingestion kann Jod aufgenommen werden, entweder über Nahrungsmittel, auf denen sich Jod abgelagert hat (z.B. Gemüse) [3] oder in denen sich durch tierische Verarbeitung Jod angereichert hat (z.B. Milch). Ein Vergleich zeigt, daß, abhängig von den jeweiligen Nahrungsgewohnheiten der Bevölkerung der "Milchpfad" meistens den Hauptanteil bei der Zusammensetzung der Ingestions-Dosis liefert [4]. Jod liegt in der Milch als Jodid vor, unabhängig davon wie es von den Weidetieren aufgenommen wurde [5] und gelangt als Trinkmilch bzw. in Form von Milchprodukten [6] in den menschlichen Körper. Die Trinkmilch liefert dabei den Hauptanteil, da diese unmittelbar nach der Produktion verbraucht wird.

Während bei Reaktorunfällen eine Belastung der Schilddrüse durch Jod-131 vorwiegend über die Inhalation zu erwarten ist - die auf den umliegenden Weideflächen erzeugte Milch wird man bei derartigen Vorkommnissen verwerfen - resultiert die Belastung bei Normalbetrieb aus der Aufnahme sowohl über die Atemwege als auch über den Milchpfad. Die Aufnahme über den Milchpfad übertrifft dabei bei weitem die Aufnahme über die Atemwege.

In Ergänzung zu einer vorangegangenen Arbeit [2], die sich mit dem altersabhängigen Inhalations-Dosisfaktor g_H befaßt und somit auf die Unfallsituation abgestimmt ist, wird in dieser Studie der altersabhängige Ingestions-Dosisfaktor g_G, der der Abgabe bei Normalbetrieb gerecht wird, erarbeitet. Dieser hat insofern an Bedeutung gewonnen, als der jüngste Vorschlag der Deutschen Atomkommission [7] die Schilddrüsenbelastung von Kleinkindern durch Radiojod auf einen Grenzwert von 90 mrem/a beschränkt.

2. Berechnung der Ingestions-Dosis D_G und der Ingestions-Dosisfaktoren g_G und g_G'

Die Ingestions-Dosis D_G [rem], die der Schilddrüse durch Jod über den "Milchpfad" appliziert wird errechnet sich wie folgt

$$D_G = g_G \cdot c \cdot K_L \cdot t \qquad (2\text{-}1)$$

D_G [rem] = Ingestions-Dosis

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

$c = \frac{K_M}{K_L}$ [$\frac{C}{m^3}$/$\frac{C}{m^3}$] = Milch-Luft-Konversionsfaktor

K_M [$\frac{C}{m^3}$] = Jod-Konzentration in der Milch

K_L [$\frac{C}{m^3}$] = Jod-Konzentration in der Luft

t [sec] = Zeit

Der Ingestions-Dosisfaktor g_G ist demnach der Zahlenwert der biologischen Dosis [rem], die ein Individuum auf die Schilddrüse erhält, wenn es die dem Konsum pro Sekunde entsprechende Menge

an Milch deckt, die eine Jod-Konzentration von 1 $\frac{C}{m^3}$ aufweist. Der Milch-Luft-Konversionsfaktor c ist der Zahlenwert der Konzentration von Jod in der Milch K_M $[\frac{C}{m^3}]$, die von Milchtieren herrührt, welche ihr Grünfutter von Weidegebieten beziehen, über denen eine Jod-Konzentration von $K_L = 1 \frac{C}{m^3}$ herrscht.

Um einen Vergleich mit dem Inhalations-Dosisfaktor g_H [2] durchführen zu können, der in folgendem Zusammenhang steht

$$D_H = g_H \cdot K_L \cdot t \qquad (2\text{-}2)$$

ist es sinnvoll, das Produkt $g_G \cdot c$ zu einem "erweiterten Ingestions-Dosisfaktor" g_G' zusammenzufassen. Dann schreibt sich Gleichung (2-1)

$$D_G = g_G' \cdot K_L \cdot t \qquad (2\text{-}3)$$

Dabei errechnet sich die Konzentration der Abluft wie folgt

$$K_L = A_e \cdot J \qquad (2\text{-}4)$$

A_e $[\frac{C}{sec}]$ = Aktivitätsausfluß

J $[\frac{sec}{m^3}]$ = Ausbreitungsfaktor

In der Reihenfolge der hier aufgeführten Größen wird zunächst der altersabhängige Ingestions-Dosisfaktor g_G bestimmt, dann der Milch-Luft-Konversionsfaktor c errechnet und schließlich ein Vergleich zwischen dem erweiterten Ingestions-Dosisfaktor g_G' und dem Inhalations-Dosisfaktor g_H durchgeführt.

3. Der Ingestions-Dosisfaktor g_G

Der Ingestions-Dosisfaktor g_G ist proportional

1) der durch Trinkmilch in das kritische Organ gelangten Aktivität

$$g_G \sim M \cdot p$$

$M \left[\frac{m^3}{sec}\right]$ = Milchkonsum des Menschen

p = Bruchteil der Aktivität, der in das kritische Organ gelangt

2) der Anzahl der im kritischen Organ erfolgten Zerfälle

$$g_G \sim 3{,}7 \cdot 10^{10} \cdot \frac{T_{b_{eff}}}{\ln 2}$$

$3{,}7 \cdot 10^{10} \frac{1}{C \cdot sec}$ = Anzahl der Zerfälle pro Curie und Sekunde

$\frac{T_{b_{eff}}}{\ln 2} [sec]$ = effektive biologische Lebensdauer des Radionuklides im kritischen Organ

$$T_{b_{eff}} = \frac{T_b \cdot T_r}{T_b + T_r}$$

T_b = biologische Halbwertszeit
T_r = radiologische Halbwertszeit

3) der biologischen Dosis pro Zerfall

$$g_G \sim 1{,}609 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{U}{m}$$

$1{,}609 \cdot 10^{-8} \frac{rad \cdot g}{MeV}$ = Umrechnungsfaktor der mittleren Zerfallsenergie E [MeV] in die Energiedosis

$rad = \frac{100\ erg}{g}$

U [MeV $\frac{rem}{rad}$] = mit der Relativen Biologischen Wirksamkeit multiplizierte, im kritischen Organ pro Zerfall abgegebene Energie

m [g] = Masse des kritischen Organs

Daraus ergibt sich der Ingestions-Dosisfaktor g_G

$$g_G = M \cdot p \cdot 3{,}7 \cdot 10^{10} \cdot \frac{T_{b_{eff}}}{\ln 2} \cdot 1{,}608 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{U}{m} \qquad (3\text{-}1)$$

3.1 Der Milchkonsum

Der Milchkonsum ist eine Größe, die sehr von den Nahrungsgewohnheiten der betreffenden Bevölkerungsgruppe abhängt. HOLLINGSWORTH und HOBSON [8] zitieren eine Arbeit von SUKHATME [9], die die weltweiten Schwankungen des Milchverbrauchs zeigt. Die Tabelle ist hier wiedergegeben:

Täglicher Milchverbrauch nach SUKHATME [9] (einschließlich Milchprodukte ohne Butter)

	M [$\frac{g}{d}$]
Europa	494
Nord-Amerika	850
Latein-Amerika	240
Afrika	96
Naher Osten	214
Ferner Osten	51
Ozeanien	574

Eine neuere Gegenüberstellung des Frischmilchverbrauchs zeigt eine Statistik des STATISTISCHEN AMTES DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN [10], die hier für einige wichtige Industriestaaten Westeuropas und Nordamerikas auszugsweise wiedergegeben ist.

Täglicher Frischmilchverbrauch nach dem STATISTISCHEN AMT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFT [10]

	M [$\frac{g}{d}$]
Westeuropa:	
Deutschland (BRD)	203
Ver. Königreich (UK)	401
Frankreich	257
Niederlande	308
Italien	182
Nordamerika:	
Ver. Staaten (USA)	300
Kanada	417

Wie ersichtlich ist, liegt für diese Staaten der tägliche Frischmilch-Konsum bei 200-400 $\frac{g}{d}$.
Interessanter für diese Arbeit ist jedoch der altersabhängige Milchverbrauch. Hier liegen einige Statistiken vor.

Vereinigte Staaten (USA):

NEUMANN [11] hat an Hand von Beobachtungsmaterial von 312 Kindern den altersabhängigen Milchverbrauch bestimmt.
Diese Werte sind bei LEWIS [12] zitiert.

Täglicher Frischmilchverbrauch nach NEUMANN [11] und LEWIS [12]

Alter [a]	M [$\frac{l}{d}$]
0 - 1	0,3
1 - 2	0,7
2 - 3	0,7
3 - 5	0,7
5 - 10	0,7

Vom BUREAU OF THE CENSUS, PUBLIC HEALTH SERVICE [13] wurde für die ganzen Vereinigten Staaten ein umfangreiches Zahlenmaterial zusammengetragen, das von THOMPSON [14] zu altersabhängigen und geschlechtsabhängigen Verbrauchsdaten ausgewertet wurde. Diese sind geschlechtsunabhängig in nachfolgender Tabelle wiedergegeben.

Täglicher Frischmilchverbrauch nach dem BUREAU OF THE CENSUS [13] und THOMPSON [14]

Alter [a]	M [$\frac{l}{d}$]
0 - 1	0,503
1 - 4	0,516
5 - 9	0,463
10 - 14	0,446
15 - 19	0,401
20 - 24	0,282
25 - 29	0,242
30 - 34	0,214
35 - 44	0,201
45 - 54	0,191
55 - 64	0,204
über 65	0,219
Durchschnitt	0,299

Vereinigtes Königreich (UK):

Von WIDDOWSON [15] rührt eine Statistik des Milchverbrauchs in England her, die bei NEILL und ROBINSON [16] wiedergegeben ist. Das Zahlenmaterial stammt aus Beobachtungen von "middle-class"-Familien.

Täglicher Frischmilchverbrauch nach WIDDOWSON [15] und NEILL und ROBINSON [16]

Alter [a]	M [$\frac{l}{d}$]
0 - 2 Monate	0,1
3 - 5 Monate	0,5
6 - 11 Monate	0,7
1 - 2 Jahre	0,6
2 - 3 Jahre	0,7
3 - 5 Jahre	0,8
5 - 9 Jahre	0,8
10 - 14 Jahre	0,9
15 - 19 Jahre	1,0
20 - 29 Jahre	0,5
über 30 Jahre	0,4

Neueren Datums ist eine Statistik von BRANSBY und FOTHERGILL [17] aus Beobachtungsmaterial von 750 Kindern aus verschiedenen Teilen Englands. Die Tabelle ist hier wiedergegeben.

Täglicher Frischmilchverbrauch nach BRANSBY und FOTHERGILL [17]

Alter [a]	M [$\frac{kg}{d}$]
0,5 - 1	0,368
1 - 2	0,341
2 - 3	0,335
3 - 4	0,339
4 - 5	0,312

Deutschland (BRD):

Ausführliche Statistiken von Deutschland sind dem Autor nicht bekannt geworden. Lediglich für Kleinkinder liegen Mitteilungen von LINDNER und ZEISEL [18] und WACHTEL [19] vor.

Täglicher Frischmilchverbrauch nach LINDNER und ZEISEL [18]

Alter [a]	M [$\frac{l}{d}$]
0 - 0,5 Jahre	0,6
0,5 - 1,0 Jahre	0,45

Täglicher Frischmilchverbrauch nach WACHTEL [19]

Alter [a]	M [$\frac{l}{d}$]
0 - 1 Monate	0,35
1 - 2 "	0,55
2 - 3 "	0,55
3 - 4 "	0,45*)
4 - 5 "	0,35*)
5 - 6 "	0,40*)
6 - 12 "	0,45

*) ohne Milch für Breie

Weiterhin werden in der BRD nach WACHTEL [19] etwa 75%-80% der Säuglinge mit Milchfertignahrung ernährt.

Die eben zitierten Statistiken sind in Abb.1 wiedergegeben. Da Milch mit der Dichte $\rho = 1{,}03 \frac{g}{cm^3}$ sehr nahe bei 1 liegt, wurden keine Umrechnungen von kg in Liter vorgenommen.
Wie ersichtlich, herrschen zum Teil erhebliche Abweichungen der Verbrauchskurven voneinander. Zum Teil sind diese auf Gründe zurückzuführen, wie sie bereits weiter oben geschildert wurden ("Middle-Class"-Familien, geringe statistische

Genauigkeit etc.). Die größte Vertrauenswürdigkeit in diesem Zusammenhang besitzt die USA-Statistik des BUREAU OF THE CENSUS [13]. Diese Statistik ist in ihrem Durchschnittswert außerdem konsistent mit der Frischmilchverbrauchsangabe des STATISTISCHEN AMTES DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFT [10]. Bei der Aufstellung einer entsprechenden Kurve für Deutschland (BRD) sollte daher von diesen USA-Daten ausgegangen werden, wobei außerdem zu berücksichtigen ist, daß nach der Statistik der Europäischen Gemeinschaften der Frischmilchverbrauch in Deutschland $\frac{2}{3}$ von dem der USA beträgt.

Unter Berücksichtigung des Frischmilchverbrauchs für Kleinkinder [18,19] und des Verhältnisses des durchschnittlichen Verbrauchs USA:BRD = 3:2, ist in Abb.1 eine entsprechende altersabhängige Verbrauchskurve für Deutschland (BRD) eingetragen. Sie setzt voraus, daß sich die altersabhängigen Trinkgewohnheiten in beiden Ländern nicht zu sehr unterscheiden.

Die Daten sind hier nochmals zusammengestellt und in Tab.1 eingetragen.

Frischmilchverbrauch in Deutschland (BRD)

Alter [a]	[$\frac{1}{d}$] M [$\frac{m^3}{sec}$]
Neugeborene	0,45 $5,2 \cdot 10^{-9}$
0,5 Jahre	0,55 $6,4 \cdot 10^{-9}$
1 "	0,50 $5,8 \cdot 10^{-9}$
3 "	0,42 $4,9 \cdot 10^{-9}$
5 "	0,37 $4,3 \cdot 10^{-9}$
10 "	0,28 $3,2 \cdot 10^{-9}$
15 "	0,22 $2,5 \cdot 10^{-9}$
Erwachsene	0,15 $1,7 \cdot 10^{-9}$

3.2 Weitere Größen

Die übrigen in Gleichung (3-1) geforderten Größen sind einem früheren Bericht entnommen [2] und in Tabelle 1 eingetragen. Diese Größen wurden seit Veröffentlichung des ersten Berichts [2] im wesentlichen bestätigt [20,21].

3.3 Der altersabhängige Ingestions-Dosisfaktor g_G

Der aus den Einzelgrößen errechnete Ingestions-Dosisfaktor g_G ist in Tab.1 eingetragen und in Abb.2 dargestellt. Wie ersichtlich, ist der Ingestions-Dosisfaktor g_G sehr stark altersabhängig und zwar ist diese Abhängigkeit größer als bei dem früher abgeleiteten Inhalations-Dosisfaktor g_H [2]. War bei letzterem das Dosis-Verhältnis von 1-Jahr-Kind zu Erwachsenem etwa 2,5:1, so ist es jetzt beim Ingestions-Dosisfaktor etwa 30:1. Dies beruht zum größten Teil auf dem gegenläufigen Milchkonsum und Luftumsatz.
Mit dem Ziel eines einfachen Gebrauchs der errechneten Daten wird die in Abb.2 dargestellte Kurve wie folgt modifiziert. Für Kleinkinder bis zur Vollendung des ersten Lebensjahres wird ein Ingestions-Dosisfaktor von $g_G = 160 \cdot 10^{-3} \frac{rem \cdot m^3}{C \cdot sec}$ empfohlen. Für Kinder vom zweiten bis zur Vollendung des fünften Lebensjahres wird ein $g_G = 75 \cdot 10^{-3} \frac{rem \cdot m^3}{C \cdot sec}$, und für Kinder vom sechsten Lebensjahr bis zur Vollendung des fünfzehnten Lebensjahres wird ein $g_G = 25 \cdot 10^{-3} \frac{rem \cdot m^3}{C \cdot sec}$ gesetzt. Für Erwachsene schließlich wird ein Ingestionsdosisfaktor $g_G = 3,5 \cdot 10^{-3} \frac{rem \cdot m^3}{C \cdot sec}$ empfohlen. Diese Faktoren sind als Histogramm mit in Abb.2 eingetragen.

Die gegenüber einer früheren Arbeit [2] zum Inhalations-Dosisfaktor g_H erfolgte Aufspaltung der Kindergruppe bis zum fünften Lebensjahr in zwei getrennte Gruppen hat folgende Gründe. Zum einen zeigt der Ingestions-Dosisfaktor g_G in diesem Bereich eine wesentlich größere Abhängigkeit vom Alter als der Inhalations-Dosisfaktor g_H, so daß bei Ingestion die Bildung eines einzigen Gruppen-Dosisfaktors nicht gerecht-

fertigt ist. Zum anderen werden durch die Trennung die Modifikationen des für das erste Lebensjahr errechneten Dosisfaktors erleichtert, welche dann angebracht werden müssen, wenn man berücksichtigt, daß das Kleinkind in diesem Lebensstadium teilweise oder ganz mit Milchfertignahrung ernährt wird. Bei der Milchfertignahrung kann angenommen werden, daß die Jod-Aktivität auf eine vernachlässigbare Größe abgefallen ist.

4. Der Milch-Luft-Konversionsfaktor c

Der Milch-Luft-Konversionsfaktor c ist proportional

1) der Ablagerungsaktivität des Radionuklids auf der Weidefläche

$$c \sim V_g \cdot \frac{T_{V_{eff}}}{\ln 2}$$

V_g $[\frac{m}{sec}]$ = Ablagerungsgeschwindigkeit

$\frac{T_{V_{eff}}}{\ln 2}$ $[sec]$ = effektive Verweildauer des Radionuklids auf der Grasnarbe

$$T_{V_{eff}} = \frac{T_V \cdot T_r}{T_V + T_r}$$

T_V = Verweil-Halbwertszeit
T_r = radiologische Halbwertszeit

2) der beim Weiden aufgenommenen Nuklidmenge

$$c \sim W \cdot f_W$$

W $[\frac{m^2}{d}]$ = abgeweidete Fläche pro Zeiteinheit

f_W = Bruchteil der abgelagerten Aktivität, die beim Weiden aufgenommen wird

3) der mit der Milch abgegebenen Aktivität

$$c \sim \frac{1}{L} \cdot f_L$$

L [$\frac{m^3}{d}$] = abgegebene Milch pro Zeiteinheit

f_L = Bruchteil der aufgenommenen Aktivität, die mit der Milch abgegeben wird

Daraus ergibt sich der Milch-Luft-Konversionsfaktor c

$$c = V_g \cdot \frac{T_{V_{eff}}}{\ln 2} \cdot W \cdot f_W \cdot \frac{1}{E} \cdot f_L \qquad (4\text{-}1)$$

4.1 Die Ablagerungsgeschwindigkeit V_g

Die Ablagerungsgeschwindigkeit V_g von Jod-131 für Grasnarben hängt von einer Reihe meteorologischer Parameter ab, weshalb sie einen gewissen Größenbereich überstreichen kann.
Da in dieser Studie jedoch nur gemittelte Daten eingehen, soll im folgenden eine mittlere Ablagerungsgeschwindigkeit gefunden werden.

In einer Reihe von Arbeiten haben CHAMBERLAIN et al. [22,23,24,25] Experimente zur Ablagerungsgeschwindigkeit von Jod auf der Grasnarbe beschrieben. Die Ergebnisse lagen im Bereich von V_g = 1,0 - 3,7 cm/sec. Analysen aus den Kernwaffentests ergaben ein V_g= 0,5 cm/sec.
Demgegenüber stehen Untersuchungen von STEWART und CROOKS [26], die nach dem Windscale-Unfall eine Ablagerungsgeschwindigkeit für Jod von V_g = 0,1-0,3 cm gefunden haben. GIFFORD und PACK [27] berichten über die gleichen Untersuchungen nach dem SL1-Unfall, wo ISLITZER eine Jod-Ablagerungsgeschwindigkeit von 0,21-0,25 cm/sec gefunden hat. In der Umgebung von Hanford haben HEALY et al. [28] eine mittlere Ablagerungsgeschwindigkeit von 2,8 cm/sec festgestellt. Experimentelle Untersuchungen der US-AIRFORCE [29] erbrachten einen Wert von 1,53±0,59 cm/sec.

Die umfangreichste Testserie wurde im Rahmen des Programms "Controlled Environmental Radioiodine Tests, CERT" durchgeführt [30,31,32,33]. Die Untersuchungen erstreckten sich über mehrere Jahre und sind in [33] abschließend ausgewertet. Die Ablagerungsgeschwindigkeit innerhalb der normalen Weidezeit liegt im Bereich 0,61 - 0,85 cm/sec. Bei Experimenten mit Methyljodid wurde eine Ablagerungsgeschwindigkeit von 10^{-4} cm/sec gemessen. ATKINS et al. [34], die ebenfalls mit Methyljodid arbeiteten, erhielten in Windtunnelexperimenten eine Ablagerungsgeschwindigkeit $V_g = 0{,}86 \cdot 10^{-4}$ cm/sec und in Freiluftexperimenten eine solche von 10^{-3} cm/sec.

In einer theoretischen Arbeit errechnet FISHER [35] die Ablagerungsgeschwindigkeit von Jod-Dampf zu 2 cm/sec und gibt die Genauigkeit dieses theoretischen Wertes mit einem Faktor 3 ein.

In der folgenden Tabelle sind alle zitierten Werte nochmals zusammengefaßt. Von den aufgelisteten Daten kann nach Ansicht des Autors den Ergebnissen der sehr umfangreichen CERT-Experimente das größte Vertrauen entgegen gebracht werden. Sie liegen außerdem etwa in der Mitte zwischen den früheren Versuchen von CHAMBERLAIN et al. und den Daten, die aus der Rekonstruktion von Reaktorunfällen entstanden. Für die weitere Auswertung wird deshalb folgende Ablagerungsgeschwindigkeit verwendet:

Jod: $V_g = 0{,}8$ cm/sec $= 8 \cdot 10^{-3}$ m/sec

Für Methyljodid - ein geringer Prozentsatz des freiwerdenden Jods tritt in einer CH_3J-Verbindung auf - wird als Mittelwert von Freilandexperimenten [33,34] folgende Ablagerungsgeschwindigkeit empfohlen:

Methyljodid: $V_g = 3 \cdot 10^{-4}$ cm/sec $= 3 \cdot 10^{-6}$ m/sec

Ablagerungsgeschwindigkeit von Jod und Methyljodid

Autoren	Bemerkung	Ablagerungsgeschw
CHAMBERLAIN and CHADWICK [22] (1953)	Freiluftexperiment	1,72-3,75 cm/sec
CHAMBERLAIN [23] (1960)	Freiluftexperiment	1,1 -3,7 cm/sec
CHAMBERLAIN [24] (1962)	Freiluftexperiment	1,25 cm/sec
CHAMBERLAIN and CHADWICK [25] (1966)	Freiluftexperiment Kernwaffentests	1 cm/sec 0,5 cm/sec
STEWART and CROOKS [26] (1958)	Windscale-Unfall	0,1-0,3 cm/sec
GIFFORD and PACK ISLITZER [27]	SL1-Unfall	0,21-0,25 cm/sec
HEALY et al. [28] (1958)	Hanford-Anlagen	2,8 cm/sec
US-AIRFORCE [29] (1960)	Freiluftexperiment	1,53±0,59 cm/sec
HAWLEY et al. [30] (1964)	Freiluftexperiment CERT 1: "Green Growing Grass"	0,85 cm/sec [33]
HAWLEY et al. [31] (1965)	Freiluftexperiment CERT 2: "Green Growing Grass"	0,61 cm/sec [33]
BUNCH et al. [32] (1966)	Freiluftexperiment CERT 7: "Dry Grass" Herbst/Winter	1,0 cm/sec [33]
BUNCH et al. [33] (1968)	Freiluftexperiment CERT 10 u. 13: "Green Growing Grass" CERT 11 u. 12: "CH_3I" "Green Growing Grass"	0,79 cm/sec 10^{-4} cm/sec *)
ATKINS et al. [34] (1967)	Windtunnelexperiment "CH_3J" Freiluftexperiment "CH_3J"	$0,86 \cdot 10^{-4}$ cm/sec *) $1 \cdot 10^{-3}$ cm/sec *)
FISHER [35] (1966)	Theoretische Arbeit	2 cm/sec

*) CH_3J-Experimente

4.2 Die effektive Verweildauer $\frac{T_{V_{eff}}}{\ln 2}$

THOMPSON [36] hat in einer sehr umfangreichen Literaturarbeit aus einer Reihe von Berichten, die bis Ende 1964 erschienen waren, eine mittlere Verweil-Halbwertszeit auf der Grasnarbe von T_V = 13 d ermittelt. Unter Berücksichtigung der radiologischen Halbwertszeit von Jod mit T_r = 8 d ergibt sich daraus eine effektive Verweil-Halbwertszeit von $T_{V_{eff}}$ = 5 d.
Die Ergebnisse der CERT-Experimente mit $T_{V_{eff}}$ = 3,5 d (CERT 1, [30]), 5,5 d (CERT 2, [31]) und 6,5 d (CERT 7, [32]) sind als Bestätigung dieses Mittelwerts zu werten.

$$\frac{T_{V_{eff}}}{\ln 2} = \frac{5d}{0,693} = 7,22 \text{ d} = 6,23 \cdot 10^5 \text{ sec}$$

4.3 Die Weidefläche W und Milcherzeugung L

Die erforderliche Weidefläche je Tier und Tag und die Milcherzeugung sind Größen, die sehr von der Region abhängen. Deshalb werden zunächst nur kurz die Verhältnisse in den USA und dem UK gestrefft und dann auf die Verhältnisse in Deutschland eingegangen.

Vereinigte Staaten (USA)

In einem Review-Report gibt KORONDA [37] den Mittelwert für den "Utilized Aerea Factor", die erforderliche Weidefläche je Tier und je Tag, für amerikanische Verhältnisse mit W = 45 m^2 an.

Vereinigtes Königreich (UK)

BRYANT [38] errechnet aus Angaben von GARNER [39], die sich auf den englischen Frühsommer beziehen, eine mittlere Weidefläche von W = 160 m^2.

Deutschland (BRD)

Für Deutschland wurden die notwendigen Unterlagen auf Anfrage ermittelt. Die erhaltenen Daten sind in nebenstehender Tabelle zusammengefaßt. Die Angaben von M. KIRCHGESSNER /40/ und K.M. MENKE /41/ entstammen den Forschungsinstituten der Universitäten München und Hohenheim. Die anderen Angaben entstammen dem statischen Material der ARBEITSGEMEINSCHAFT DEUTSCHER RINDERZÜCHTER /42/ und den statistischen Unterlagen des zuständigen BUNDESMINISTERIUMS /43/ bzw. des MINISTERIUMS VON BADEN-WÜRTTEMBERG /44/.

Bezüglich der durchschnittlichen Weidefläche in Deutschland läßt sich aus den ersten vier Angaben ein mittlerer Wert bilden von

$$W = 80\ m^2/d.$$

Weidefläche und Milchproduktion je Tier und Tag

Autoren	Weidefläche W_2 /m/d/	Weidezt. /d/	Milcherzeugung L /l/d/
KIRCHGESSNER /40/	50-100 Mittel:75	180	bei Grünfutter: 10-25 Mittel: 17 bei Trockenfutter: 10-12 Mittel: 11
MENKE /41/	60-80	150-200	Jahresm.: 10,5 (einschl.Trockenzt.)
Arbeitsgemeinschft. Deutscher Rinderzüchter /42/	100	180	Jahresm.: 12,5 (einschl.Trockenzt.)
Bundesmin.f.Ernährung, Landwirtsch.u.Forsten /43/	60		Jahresm.: 10-12 (einschl.Trockenzt.)
Min.f.Ernährung Landwirtschaft, Weinbau u. Forsten /44/	50 Frühj. 150 Herbst 100 Durchschnitt		Jahresdurchschn.: 9 (einschl.Trockenzt.)

Die jahresdurchschnittliche Milcherzeugung liegt nach den Angaben [42,43,44] etwa bei 11 l. Berücksichtigt man eine Trockenzeit von ca. 60 d, so ergibt sich für die Laktationszeit eine tägliche Milcherzeugung von etwa 13 l.
Nach KIRCHGESSNER [40] hängt die tägliche Milcherzeugung sehr davon ab, ob sie in Grünfutterzeit oder in die Trockenfutterzeit fällt. Da in der Grünfutterzeit das Jod "eingebracht" wird, wird für die weitere Berechnung eine Milcherzeugung angenommen von

$$L = 15\ l/d = 1{,}5 \cdot 10^{-2}\ m^3/d$$

Unter Vorgriff auf den übernächsten Abschnitt kann hier schon festgestellt werden, daß der genaue Zahlenwert von L nur eine unwesentliche Rolle spielt, da der Quotient aus f_L (Milch-Futter-Aktivitätsverhältnis) und L nahezu konstant ist.

4.4 Das Futter-Weide-Aktivitätsverhältnis f_W

Der Faktor f_W berücksichtigt, daß nur ein Bruchteil der auf der Weide abgelagerten Aktivität mit dem Futter aufgenommen wird. Dies beruht darauf, daß zum einen bereits beim Ablagerungsvorgang ein Teil des Jods nicht vom Gras eingefangen wird und dadurch auf den Boden gelangt und zum anderen beim Weiden nicht die ganze Grasnarbe abgenommen wird.

Nach GARNER [39] werden beim Jod-Ablagerungsvorgang 25% "retained on edible herbage". Den gleichen Zahlenwert erhalten MILBOURN und TAYLOR [45] aus Experimenten; dieser Wert wird außerdem von BURTON et al. [46] übernommen.
TAMPLIN und FISHER [47] benutzen auf Grund von ausgewerteten Experimenten einen Faktor von 0,1. Eine Auswertung der CERT-Experimente (CERT 1, CERT 2 und CERT 7) durch BUNCH et al. [32] ergab Faktoren f_W = 0,24-0,44 mit einem Mittelwert bei 0,33. Auf Grund dieser Ergebnisse, die hier in Form einer Tabelle zusammengefaßt sind, wird im folgenden der Faktor

$$f_W = 0{,}25$$

verwendet.

Futter-Weide-Aktivitätsverhältnis f_W

Autoren	f_W
GARNER [39] (1960)	0,25
MILBOURN and TAYLOR [45] (1965) BURTON et al. [46] (1966)	0,25
TAMPLIN and FISHER [47] (1966)	0,1
BUNCH et al. [32] (1966)	0,33

4.5 Das Milch-Futter-Aktivitätsverhältnis f_L

Der Weg der Aufnahme des Jods über das Futter und der schließlichen Abgabe durch die Milch ist ein komplexer biologischer Vorgang. Verschiedene Autoren [48-52] haben auf Grund von Experimenten Modelle entwickelt, um diesen Vorgang in seiner Zeitabhängigkeit zu beschreiben. Interessanter für diese Studie ist das Verhältnis von Aktivität der abgegebenen Milch zu Aktivität des aufgenommenen Futters bei kontinuierlicher Aktivitätsaufnahme. LENGEMANN und COMAR [53] haben bei Experimenten in den USA gefunden, daß, unabhängig von der Größe der Milcherzeugung, L, sich 1% der über das Futter aufgenommenen Aktivität in einem Liter Milch wiederfindet. Von TAMPLIN [49] wird dieses Ergebnis auf Grund einer umfangreichen Literaturstudie bestätigt; 90% der gesichteten Daten lagen zwischen 0,5% und 2% mit einem Mittelwert bei 1%. Der entsprechende Mittelwert für englische Verhältnisse scheint etwas niedriger zu liegen [52,54].

Für eine Milcherzeugung von L = 15 l/d wird deshalb ein Wert

$$f_L = 0{,}15$$

gesetzt.

4.6 Der Milch-Luft-Konversionsfaktor c

In den vorangegangenen Abschnitten wurden folgende Teilgrößen ermittelt:

$$V_g = 8 \cdot 10^{-3} \frac{m}{sec}$$

$$\frac{T_{V_{eff}}}{\ln 2} = 6{,}23 \cdot 10^5 \text{ sec}$$

$$W = 80 \frac{m^2}{d}$$

$$f_W = 0{,}25$$

$$L = 1{,}5 \cdot 10^{-2} \frac{m^3}{d}$$

$$f_L = 0{,}15$$

Daraus errechnet sich der Milch-Luft-Konversionsfaktor

$$c = V_g \cdot \frac{T_{V_{eff}}}{\ln 2} \cdot W \cdot f_W \cdot \frac{1}{L} \cdot f_L = 1 \cdot 10^6 \left[\left(\frac{C}{m^3}\right)_{Milch} / \left(\frac{C}{m^3}\right)_{Luft} \right]$$

Teilgrößen des Konversionsfaktors bzw. der Konversionsfaktor selbst wurden von anderen Autoren zum Teil rechnerisch und experimentell bestimmt. WEHMANN [55] erhält aus Rechnungen, die Feldexperimenten angepaßt wurden ein $\left(\frac{C}{m^3}\right)_{Milch} / \left(\frac{Csec}{m^3}\right)_{Luft} = 4$. Setzt man die in dieser Arbeit abgeleitete effektive Verweildauer $\frac{T_{V_{eff}}}{\ln 2} = 6{,}23 \cdot 10^5$ ein, so erhält man ein $c = 2{,}5 \cdot 10^6$. Experimente im Rahmen des "Rover Projects" ergaben nach BERNHARDT [56], ein $\left(\frac{C}{m^3}\right)_{Milch} / \left(\frac{Csec}{m^3}\right)_{Luft} = 0{,}35$. Berücksichtigt man die gleiche effektive Verweildauer, so ergibt sich ein $c = 0{,}22 \cdot 10^6$. Beobachtungen des Konversionsfaktors in Südafrika nach der französischen Kernwaffen-Testserie im Süd-Pazifischen Ozean (1970) ergaben nach VAN AS und VLEGGAAR [57] für das Gebiet zum Pretoria ein $c = 0{,}7 \cdot 10^6$ und für das Gebiet um Cape Town ein $c = 1{,}2 \cdot 10^6$.

Ein Vergleich in nachfolgender Tabelle zeigt, daß der in dieser Studie abgeleitete Zahlenwert etwa den Mittelwert der übrigen zitierten Daten darstellt. Er kann deshalb als gesichert betrachtet und für die weitere Auswertung verwendet werden.

Milch-Luft-Konversionsfaktor c

Autoren	c
WEHMANN (1963) [55]	$2{,}5 \cdot 10^6$
BERNHARDT (1968) [56]	$0{,}22 \cdot 10^6$
VAN AS und VLEGGAAR (1971) [57]	$0{,}7\text{-}1{,}2 \cdot 10^6$
Diese Arbeit	$1 \cdot 10^6$

5. Der erweiterte Ingestions-Dosisfaktor g_G'

Wie bereits in Abschnitt 1 beschrieben, bildet das Produkt aus Ingestions-Dosisfaktor g_G und Milch-Luft-Konversionsfaktor c den erweiterten Ingestions-Dosisfaktor g_G'.

$$g_G' = g_G \cdot c \qquad (5\text{-}1)$$

Die nach dieser Multiplikation erhaltenen Werte g_G' sind in Tabelle eingetragen. Ebenso sind sie aus Abb.2 ersichtlich. Da alle Werte g_G mit dem altersunabhängigen Faktor c multipliziert werden, gelten bezüglich des altersabhängigen Verlaufs die bereits in Abschnitt 3.3 getroffenen Feststellungen. Die entsprechenden Gruppen-Dosisfaktoren g_G' lauten dann

0 - 1 Jahre:	$160 \cdot 10^3$	$\frac{rem \cdot m^3}{C \cdot sec}$
1 - 5 Jahre:	$75 \cdot 10^3$	"
5 -15 Jahre:	$25 \cdot 10^3$	"
über 15 Jahre:	$3{,}5 \cdot 10^3$	"

6. Vergleich von erweitertem Ingestions-Dosisfaktor g_G' und Inhalations-Dosisfaktor g_H

Die Frage nach der Größe der Schilddrüsenbelastung über die Atemwege und über den Milchpfad bei gleicher Jod-Konzentration in der Luft führt zum Vergleich von erweitertem Ingestions-Dosisfaktor g_G' und Inhalations-Dosisfaktor g_H.

Beide Dosisfaktoren sollen zunächst auf den Tagesdurchschnitt bezogen werden. Da die in einer früheren Arbeit [2] angegebenen Luftumsätze konservativerweise auf den Tätigkeitsraum bezogen wurden (Erwachsene: 10 m^3/8 h), müssen die dort gebildeten Dosisfaktoren g_H auf den Tagesdurchschnitt (Erwachsene: 20 m^3/24 h) umgerechnet werden. Mit Hilfe der in [2] dargestellten Unterlagen wurde deshalb für die verschiedenen Altersstufen ein durchschnittlicher Luftumsatz $^d\overline{L}$ gebildet, der in Tab.2 eingetragen und in Abb.3 eingezeichnet ist. Der resultierende Inhalationsfaktor $^d\overline{g_H}$ ist ebenfalls in Tab.2 eingetragen und in Abb.4 dargestellt. $^d\overline{g_H}$ liegt mit wachsendem Alter unter dem in [2] abgeleiteten g_H. Für den Ingestions-Dosisfaktor gilt gemäß obiger Ableitung $^d\overline{g_G'} = g_G'$.

Die Bildung des Verhältnisses $^d\overline{g_G'}/^d\overline{g_H}$ ist in Tab.3a durchgeführt und das Ergebnis in Abb.5 dargestellt. Wie ersichtlich, übertrifft der erweiterte Ingestions-Dosisfaktor $^d\overline{g_G'}$ den Inhalationsdosisfaktor $^d\overline{g_H}$ bei weitem und zwar über den ganzen Altersbereich. Das Verhältnis ist mit 200 für Neugeborene am größten, erreicht bei einem Lebensjahr den Wert 100, um dann über 50 bei 3 Jahren und 25 bei 10 Jahren auf 8,5 für Erwachsene abzusinken. Unter der Voraussetzung, daß sich Milcherzeuger und Verbraucher an Orten gleicher Jod-Luftkonzentration aufhalten, geben diese Zahlen gleichzeitig das Verhältnis von Ingestions-Dosis D_G zu Inhalations-Dosis D_H wieder.

Da der Gesetzgeber Grenzdosen für den Normalbetrieb von Kernreaktoren meist in Form von Jahresdosen formuliert, ist es sinnvoll, auch für die Dosisfaktoren entsprechende Jahresmittel zu bilden. Für den Inhalations-Dosisfaktor bringt das

keine Änderung mit sich, d.h. $^{a}\overline{g_H} = {}^{d}\overline{g_H}$.
Bei der Bildung des erweiterten Ingestions-Dosisfaktors $^{a}\overline{g_G'}$ hingegen muß berücksichtigt werden, daß sich die Grünfütterung nur etwa über ein halbes Jahr erstreckt [40,41,42] (s. Abschnitt 4.3), was eine Halbierung des Konversionsfaktors $^{a}\overline{c} = \frac{1}{2}\cdot c$ und folglich auch eine Halbierung des erweiterten Ingestions-Dosisfaktors $^{a}\overline{g'_G} = \frac{1}{2}\cdot {}^{d}\overline{g'_G}$ zur Folge hat.
Entsprechend ist auch das Verhältnis Ingestions-Dosisfaktor zu Inhalations-Dosisfaktor um den Faktor 2 zu reduzieren $^{a}\overline{g_G'}/{}^{a}\overline{g_H} = \frac{1}{2}\ {}^{d}\overline{g_G'}/{}^{d}\overline{g_H}$ (Tab.5b).

Für die Zeit der Grünfütterung gibt es für das $^{d}\overline{g_G'}/{}^{d}\overline{g_H}$ - Verhältnis einige vereinzelte Abschätzungen. Aus Anlaß einer J^{131}-Freisetzung aus der Purex-Anlage von Hanford errechnet SOLDAT [58], wahrscheinlich unter Zugrundelegung eines Milchkonsums von 1 l/d, für eine 2g-Schilddrüse (entspricht etwa 0,5 Jahre) ein Verhältnis von 400, PELLETIER und ZIMBRICK [59] errechnen für Erwachsene aus den CERT-Daten [60] und einem M = 0,35 l/d ein Verhältnis von 47 und für Kinder von 0-1 Jahr bei M = 0,5 l/d ein Verhältnis von 910. GEORGE [61] erhält auf Grund der Daten von BURNETT [62] für ein 0,5 J-Kind bei M = 1 l/d ein Verhältnis von 140. Bei der Ersetzung der BURNETT'schen Daten mit Ausnahme der Milch-Luft-Beziehung durch Angaben von BRYANT [63] erhält GEORGE [61] bei M = 0,7 l/d ein Verhältnis von 88.

Die auf den mittleren Milchverbrauch M, wie er in dieser Arbeit ermittelt wurde, umgerechneten Verhältnisse sind in nachstehender Tabelle zusammengefaßt.

Verhältnis von erweitertem Ingestions-Dosisfaktor $^{d}\overline{g_G}'$ zu Inhalations-Dosisfaktor $^{d}\overline{g_H}$

Alter	Autoren	$^{d}\overline{g_G}'/^{d}\overline{g_H}$
0,5 Jahre	SOLDAT [58] (1965)	220
M=0,551/d	PELLETIER und ZIMBRICK [59],[60] (1968)	1000
	GEORGE [61] (1970) BURNETT [62] (1970)	77
	GEORGE [61] (1970) BRYANT [63] (1969) BURNETT [62] (1970)	69
	Diese Arbeit	108
Erwachsene M=0,151/d	PELLETIER und ZIMBRICK [59] (1968)	20
	Diese Arbeit	8,5

Ein Vergleich zeigt, daß für den Fall eines 0,5 Jahre-Kindes, abgesehen von dem extremen Wert von PELLETIER und ZIMBRICK [59], das in dieser Arbeit abgeleitete Verhältnis etwa den Mittelwert der Daten der übrigen Autoren darstellt. Für Erwachsene liegen nicht genügend Unterlagen für einen Vergleich vor.

7. Schlußbemerkungen

Der Ingestions-Dosisfaktor g_G zeigt sich als altersabhängige Größe. Die notwendigen Einzelfaktoren wurden bis auf den Milchverbrauch bereits in einer vorangegangenen Arbeit [2] ermittelt und diskutiert. Der Milchverbrauch M ist, wie gezeigt wurde, von den Ernährungsgewohnheiten abhängig und somit örtlichen, zeitlichen und individuellen Schwankungen unterworfen. Für die Ermittlung von g_G wurden Mittelwerte des Milchverbrauchs in Deutschland (BRD) hergeleitet. Diese Mittelwerte besitzen auf Grund des eben Gesagten eine erheblich breitere Varianz als die Mittelwerte des Luftumsatzes. Entsprechend besitzen auch die Ingestions-Dosisfaktoren g_G eine wesentlich breitere Varianz als die Inhalations-Dosisfaktoren g_H.

Der erweiterte Ingestions-Dosisfaktor g'_G unterscheidet sich nur durch den Konversionsfaktor c von dem Ingestions-Dosisfaktor g_G. g'_G bezieht sich auf die Jod-Konzentration in Luft und dient dem Vergleich mit dem Inhalations-Dosisfaktor g_H. Der Konversionsfaktor c beruht auf einer Reihe von Einzelfaktoren, die jeweils als Mittelwerte von experimentellen Ergebnissen und Rekonstruktionen von Unfallabläufen gebildet wurden. Soweit möglich, wurden bei ortsabhängigen Größen Mittelwerte gebildet, die für Deutschland (BRD) Gültigkeit besitzen. Entsprechend ist auch der Konversionsfaktor c als Mittelwert zu verstehen, dessen Varianz sich aus den Varianzen der Einzelgrößen zusammensetzt.

Das Verhältnis von g_G' zu g_H zeigt sich als äußerst altersabhängige Größe, was auf dem gegenläufigen Milchkonsum und Luftumsatz beruht. Es zeigt sich vor allem, daß bei Kindern die Gesamtbelastung aus Ingestion und Inhalation im weitaus größerem Maße über den Milchpfad erfolgt als bei Erwachsenen.

Legt man den jüngsten Vorschlag der Deutschen Atomkommission [7] zugrunde, der für die Schilddrüsenbelastung von Kleinkindern einen Grenzwert von 90 mrem/a ($=2{,}9 \cdot 10^{-9}$ rem/sec) vor-

sieht und entnimmt der vorliegenden Arbeit die entsprechenden Dosisfaktoren für ein 0,5-Jahr-Kind, so ergeben sich folgende Jod-131-Konzentrations-Grenzwerte für den Jahresdurchschnitt:

Jod-Aufnahme	Dosisfaktoren	Konzentrationen
Ingestion	$a_{\overline{g_G}} = 156{,}8 \cdot 10^{-3} \frac{rem \cdot m^3}{C \cdot sec}$	$K_{Milch} = 18 \cdot 10^{-9} \frac{C}{m^3}$
	$a_{\overline{g_{G'}}} = 78{,}4 \cdot 10^{+3} \frac{rem \cdot m^3}{C \cdot sec}$	$K_{Luft} = 36 \cdot 10^{-15} \frac{C}{m^3}$
Inhalation	$a_{\overline{g_H}} = 1{,}454 \cdot 10^{+3} \frac{rem \cdot m^3}{C \cdot sec}$	$K_{Luft} = 1965 \cdot 10^{-15} \frac{C}{m^3}$

Wie zu erwarten, wird die Jod-Konzentration in Luft weit mehr durch die Ingestion als durch die Inhalation begrenzt. Überlegungen zur Jod-Konzentration werden sich deshalb stets am Milchpfad orientieren müssen.

Vergleicht man die hier abgeleitete maximale Jod^{131}-Konzentration in Luft von $3{,}6 \cdot 10^{-14} \frac{C}{m^3}$ mit der nach der "1. Strahlenschutzverordnung, §34 Schutz von Luft, Wasser und Boden" [6] maximal erlaubten Jod^{131}-Konzentration von $2 \cdot 10^{-10} \frac{C}{m^3}$, so erhält man einen Faktor von 5500. Um diesen muß die gesetzlich erlaubte Konzentration reduziert werden, um dem Vorschlag der Deutschen Atomkommission [7] gerecht zu werden.

A n h a n g

Der Jodbedarf des Menschen

Nach BANSI [65] lassen sich bezüglich des täglichen Jodbedarfs bei Erwachsenen folgende Angaben machen:

minimaler Jodbedarf		0,050 - 0,065 mg
mittlerer	"	0,150 mg
maximaler	"	0,200 mg

1 Curie Jod-131 entspricht einer Menge von 0,008 mg.

Literatur

/1/ J.L. MURRAY
Thyroid Uptake of Iodine-131 from Skin Exposure
Health Physics 17, 730-731 (1969)

/2/ A. BAYER
Der altersabhängige Inhalations-Dosisfaktor g von J^{131}
Bericht KFK 1073 (1969)

/3/ J.C. THOMPSON jr.
Reconsideration of the ^{131}Iodine Contribution from Fruits and Vegetables
Health Physics 13, 883-887 (1967)

/4/ J.C. THOMPSON jr.
Comparison of Iodine-131 Intake from Milk and None-Milk Foods
Health Physics 14, 483-488 (1968)

/5/ G.K. MURTHY, J.E. GILCHRIST and J.E. CAMPBELL
Method for Removing Iodine-131 from Milk
Journal of Dairy Science 45, 1066-1074 (1962)

/6/ MARY M. WHITE and A.A. MOGHISSI
Transfer of ^{131}I from Milk to Cheese
Health Physics 21, 116-118 (1971)

/7/ J. SCHWIBACH
Strahlenschutzrichtwerte für die Genehmigung der Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen
aus: 7. Fachgespräch über Betriebliche Ableitungen radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen, IRS-T-23 (1972)

/8/ D.F. HOLLINGSWORTH and E.A. HOBSON
Composition of Human Diets
aus: R.S. RUSSEL (Ed.)
Radioactivity and Human Diet
Pergamon Press (1966)

/9/ P.V. SUKHATME
The World's Hunger and Future Needs Supplies
Journal of the Royal Society (A) 124, 463 ff (1961)

/10/ STATISTISCHES AMT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN
Statistische Grundzahlen der Gemeinschaft
Bericht, Brüssel (1970)

/11/ H.H. NEUMANN
A Recent Survey of 312 Children under the Age of six in Suburban Long Island
Archives of Pediatrics 74, 456-462 (1957)

/12/ E.B. LEWIS
Thyroid Radiation Doses from Fallout
Proceedings of the National Academy of Science of USA 45, 894-897 (1959)

/13/ BUREAU OF THE CENSUS, PUBLIC HEALTH SERVICE
Fresh Whole Milk Consumption in the United States
Radiological Health Data and Reports 4, 15-17 (1963)

/14/ J.C. THOMPSON jr.
Variability of Fluid Milk Consumption and its Relationship to Radionuclide Intake
Radiological Health Data and Reports 7, 139-144 (1966)

/15/ E.M. WIDDOWSON
A Study of Individuel Childrens Diet
Medical Research Council, Special Report Series Nr. 257 (1947)

/16/ R.H. NEILL and P.B. ROBINSON
Radiation Doses to Children's Thyroid from Iodine-131 in Milk
Radiological Health Data and Reports 10, 1-9 (1969)

/17/ E.R. BRANSBY and J.E. FOTHERGILL
The Diets of Young Children
British Journal of Nutrition 8, 195-204 (1954)

/18/ H. LINDNER und H. ZEISEL
Private Mitteilung
München (November 1971)

/19/ U. WACHTEL
Private Mitteilung
Hamburg (November 1971)

/20/ W.D. ALEXANDER, J. SHIMMINS, J.W.K. ROBERTSON, P.W. HORTON, D.G. McLARTY and R.McG. HARDEN
Radioisotopes Studies of Thyroid Function and Thyroid Hormone Metabolism
aus: Dynamic Studies with Radioisotopes in Medicine
Proceedings of a Symposium, Rotterdam 1970
IAEA Wien (1971)

/21/ P.S. ROHWER, K.E. COWSER, W.S. SNYDER and E.G. STRUXNESS
An Approach for Assessing Potential Population Exposures
aus: Environmental Surveillance in the Vicinity of Nuclear Facilities
Proceedings of a Symposium, Augusta 1968, Charles C. Thomas Publisher (1970)

/22/ A.C. CHAMBERLAIN and R.C. CHADWICK
Deposition of Airborne Radioiodine Vapour
Nucleonics 11 (8), 22-25 (1953)

/23/ A.C. CHAMBERLAIN
Aspects of the Deposition of Radioactive and other Gases and Particles
International Journal of Air Pollution 3, 63-88 (1960)
ebenso in: E.G. RICHARDSON (Ed.)
Aerodynamic Capture of Particles, Pergamon Press (1960)

/24/ A.C. CHAMBERLAIN
Transport of Particles accross Boundary Layers
Report TID 7641, 1-9 (1962)
ebenso: Report AERE-M 1122 (1962)

/25/ A.C. CHAMBERLAIN and R.C. CHADWICK
Transport of Iodine from Atmosphere to Ground
Tellus 18, 226-237 (1966)

/26/ N.G. STEWART and R.N. CROOKS
Long-Range Travel of the Radioactive Cloud from the Accident of Windscale
Nature 182 (4636) 627-628, (1958)

/27/ F.A. GIFFORD and D.H. PACK
Surface Deposition of Airborne Material
Nuclear Safety 3 (4) 76-80, (1961/62)

/28/ J.W. HEALY, B.V. ANERSEN, H.V. CLUKEY and [illegible].K. SOLDAT
Radiation Exposure to People in the Environs of a Major Production Atomic Energy Plant
Proceedings of the second United Nations International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva 1958, Vol.18, 309-318

/29/ US-AIR FORCE/CONVAIR
Fission Products Field Releases Test-II
Report NARF-60-10T (AFSWC-TR-60-26), (1960)

/30/ C.A. HAWLEY, jr., C.W. SILL, G.L. VOELZ and N.F. ISLITZER
Controlled Environmental Radioiodine Tests
Preliminary Experiment Report
Report IDO 12035 (1964)

/31/ C.A. HAWLEY jr. (Ed.)
Controlled Environmental Radioiodine Tests
Progress Report Number One
Report IDO 12047 (1965)

/32/ D.F. BUNCH (Ed.)
Controlled Environmental Radioiodine Tests
Progress Report Number Two
Report IDO 12053 (1966)

/33/ D.F. BUNCH (Ed.)
Controlled Environmental Radioiodine Tests
Progress Report Number Three
Report IDO 12063 (1968)

/34/ D.H. ATKINS, R.C. CHADWICK and A.C. CHAMBERLAIN
Deposition of Radioactive Methyl Iodide to Vegetation
Health Physics 13, 91-92 (1967)

/35/ H.L. FISHER
Deposition Velocities of Aerosols and Vapors on Pasture Grass
Report UCRL-14702 (1966)

/36/ S.E. THOMPSON
Effective Half-Life of Fallout Radionuclides on Plants with Special Emphasis on Iodine-131
Report UCRL-12388 (1965)

/37/ J.J. KORONDA
Agricultural Factors Affecting the Daily Intake of Fresh Fallout by Dairy Cows
Report UCRL-12479 (1965)

/38/ P.M. BRYANT
Deviation of Working Limits for Continuous Release Rates of Iodine-131 to Atmosphere in a Milk Producing Area
Health Physics 10, 249-257 (1964)

/39/ J.R. GARNER
An Assessment of the Quantities of Fission Products Likely to be Found in Milk in the Event of Aerial Contamination of Agricultural Land
Nature 186 (4730), 1063-1064 (1960)

/40/ M. KIRCHGESSNER
Private Mitteilung (erscheint z.T. in:"Das wirtschaftseigene Futter")
Technische Universität München, (Dezember 1971)

/41/ K.H. MENKE
Private Mitteilung
Universität Hohenheim, (Dezember 1971)

/42/ ARBEITSGEMEINSCHAFT DEUTSCHER RINDERZÜCHTER e.V.
Private Mitteilung
Bonn, (Dezember 1971)

/43/ BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN
Private Mitteilung
Bonn, (Dezember 1971)

/44/ MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT, WEINBAU UND FORSTEN, BADEN-WÜRTTEMBERG
Private Mitteilung
Stuttgart, (Dezember 1971)

/45/ G.M. MILBOURN and R. TAYLOR
The Contamination of Grassland with Radioactive Strontium-I Initial Retention and Loss
Radiation Botany 5, 337-347 (1965)

/46/ J.D. BURTON, R.J. GARNER, and R.S. RUSSEL
Possible Relationship between the Deposition of Fission Products and Levels of Dietary Contamination
aus: R.S. RUSSEL (Ed.)
Radioactivity and Human Diet
Pergamon Press (1966)

/47/ A.R. TAMPLIN and H.L. FISHER
Estimation of Dosage to Thyroids of Children in the U.S. from Nuclear Tests Conducted in Nevada During 1952 through 1955
Report UCRL-14707 (1966)

/48/ W. GIESE, F.W. LENGEMANN and R.A. WENTWORTH
A Mathematical Evaluation of the Excvetion Curves of Iodine-131 in Milk of Cows
aus: Radioisotopes in Animals Nutrition and Physiology
Proceeding of a Symposium, IAEA Wien (1965)

/49/ A.R. TAMPLIN
I-131, I-133, and Cow Milk
Report UCRL-14146 (1965)

/50/ F.W. LENGEMANN
Predicting the Total Projected Intake of Radioiodine from Milk by Man I
Health Physics, 12, 825-830 (1966)
Predicting the Total Projected Intake of Radioiodine from Milk by Man II
Health Physics 12, 831-835 (1966)

/51/ F.W. LENGEMANN
Predicting the Total Projected Intake of Radioiodine from Milk by Man: Modification of the Original Equation
Health Physics 13, 521-522 (1967)

/52/ R.J. GARNER
A Mathematical Analysis of the Transfer of Fission Products to Cow's Milk
Health Physics 13, 205-212 (1967)

/53/ F.W. LENGEMANN and C.L. COMAR
Metabolism of I^{131} by Dairy Cows During Long Term Daily Administration of the Radioisotope
Health Physics 10, 55-59 (1964)

/54/ R.J. GARNER, B.F. SANSOM and H.G. JONER
Fission Products and the Dairy Cow
III. Transfer of ^{131}Iodine to Milk Following Single and Daily Dosing
Journal of Agricultural Science 55, 283-286 (1960)

/55/ G. WEHMANN
Comparison of Ingestion to Inhalation Dose to Man from I^{131}
Health Physics 9, 1221-1222 (1963)

/56/ D.E. BERNHARDT
Milk to Air Ratios for ^{131}I Concentrations (Project Rover)
aus: Environmental Surceillance in the Vicinity of Nuclear Facilities
Proceedings of a Symposium, Augusta 1968, Charles C. Thomas Publisher (1970)

/57/ D. VAN AS and C.M. VLEGGAAR
Determination of an Acceptable ^{131}I Concentration in Air when the Critical Intake is Through Milk
Health Physics 21, 114-116 (1971)

/58/ J.K. SOLDAT
Environmental Evaluation of an Acute Release of ^{131}I to the Atmosphere
Health Physics 11, 1009-1015 (1965)

/59/ C.A. PELLETIER and J.D. ZIMBRICK
Kinetics of Environmental Radioiodine Transport Through the Milk-Food Chain
aus: Environmental Surveillance in the Vicinity of Nuclear Facilities
Proceedings of a Symposium, Augusta 1968, Charles C. Thomas Publisher (1970)

/60/ J.D. ZIMBRICK and P.G. VOILLEQUE (Ed.)
Controlled Environmental Radioiodine Tests
Progress Report Number Four
Report IDO 12065 (1969)

/61/ K.D. GEORGE
^{131}I Reconcentration Factor
Health Physics 19, 699 (1970)

/62/ T.J. BURNETT
A Derivation of the "Factor of 700" for ^{131}I
Health Physics 18, 73-75 (1970)

/63/ P.M. BRYANT
Data for Assessment Concerning Controlled and Accidental Releases of ^{131}I and ^{137}Cs to Atmosphere
Health Physics 17, 51-57 (1969)

/64/ DER BUNDESMINISTER FÜR WISSENSCHAFTLICHE FORSCHUNG
Erste Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Strahlen radioaktiver Stoffe (Erste Strahlenschutzverordnung) in der Fassung vom 15. Oktober 1965
Bundesgesetzblatt Teil I 61, 1653-1684 (1965)

/65/ H.W. BANSI
Jod. Schilddrüsendiagnostik mit Radiojod
aus: H. SCHWIEGK und F. TURBA
Künstliche Radioisotope in Physiologie, Diagnostik und Therapie
Springer Verlag (1961)

Tab.1 Ingestions-Dosisfaktoren und Teilgrößen der Dosisfaktoren

Alter [a]	M [m³/sec]	p	T_b [d]	T_r [d]	$T_{b_{eff}}$ [d]	U [MeV]	m [g]	$\frac{g_G}{M}$ [rem/C]	g_G [rem·m³/C·sec]	c	g_G' [rem·m³/C·sec]
Neugeborene	$5{,}2 \cdot 10^{-9}$	0,5	100	8	7,4	0,2	1,8	$30{,}5 \cdot 10^{6}$	$158{,}6 \cdot 10^{-3}$		$158{,}6 \cdot 10^{3}$
0,5	$6{,}4 \cdot 10^{-9}$	0,4	100	8	7,4	0,2	1,8	$24{,}5 \cdot 10^{6}$	$156{,}8 \cdot 10^{-3}$		$156{,}8 \cdot 10^{3}$
1	$5{,}8 \cdot 10^{-9}$	0,35	100	8	7,4	0,2	2,2	$17{,}5 \cdot 10^{6}$	$101{,}5 \cdot 10^{-3}$		$101{,}5 \cdot 10^{3}$
3	$4{,}9 \cdot 10^{-9}$	0,35	100	8	7,4	0,2	3,4	$11{,}3 \cdot 10^{6}$	$55{,}4 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{6}$	$55{,}4 \cdot 10^{3}$
5	$4{,}3 \cdot 10^{-9}$	0,35	100	8	7,4	0,2	4,7	$8{,}2 \cdot 10^{6}$	$35{,}3 \cdot 10^{-3}$		$35{,}3 \cdot 10^{3}$
10	$3{,}2 \cdot 10^{-9}$	0,35	100	8	7,4	0,2	8,7	$4{,}5 \cdot 10^{6}$	$14{,}4 \cdot 10^{-3}$		$14{,}4 \cdot 10^{3}$
15	$2{,}5 \cdot 10^{-9}$	0,35	100	8	7,4	0,2	15,8	$2{,}6 \cdot 10^{6}$	$6{,}5 \cdot 10^{-3}$		$6{,}5 \cdot 10^{3}$
Erwachsene	$1{,}7 \cdot 10^{-9}$	0,35	100	8	7,4	0,2	20	$1{,}9 \cdot 10^{6}$	$3{,}2 \cdot 10^{-3}$		$3{,}2 \cdot 10^{3}$

Tab.2 Inhalations-Dosisfaktoren und Teilgrößen von Dosisfaktoren

Alter [a]	$\overline{d_L}$ [$\frac{m^3}{sec}$]	p'	p"	T_r [d]	T_b [d]	$T_{b_{eff}}$ [d]	U [MeV]	m [g]	$\overline{d_{g_H}}$ [$\frac{rem\ m^3}{C\ sec}$]
Neugeborene	$0,3 \cdot 10^{-4}$	0,85	0,5	8	100	7,4	0,2	1,8	775
0,5	$0,7 \cdot 10^{-4}$	0,85	0,4	8	100	7,4	0,2	1,8	1454
1	$0,8 \cdot 10^{-4}$	0,85	0,35	8	100	7,4	0,2	2,2	1189
3	$1,0 \cdot 10^{-4}$	0,85	0,35	8	100	7,4	0,2	3,4	962
5	$1,2 \cdot 10^{-4}$	0,85	0,35	8	100	7,4	0,2	4,7	835
10	$1,6 \cdot 10^{-4}$	0,85	0,35	8	100	7,4	0,2	8,7	602
15	$2,1 \cdot 10^{-4}$	0,85	0,35	8	100	7,4	0,2	15,8	435
Erwachsene	$2,3 \cdot 10^{-4}$	0,85	0,35	8	100	7,4	0,2	20,0	375

Tab.3a Verhältnis von erweitertem Ingestions-Dosisfaktor $d_{\overline{g_G}'}$ zu Inhalations-Dosisfaktor $d_{\overline{g_H}}$

Alter [a]	$d_{\overline{g_G}'}=g_G'$ [$\frac{rem \cdot m^3}{C \cdot sec}$]	$d_{\overline{g_H}}$ [$\frac{rem \cdot m^3}{C \cdot sec}$]	$d_{\overline{g_G}'}/d_{\overline{g_H}}$
Neugeborene	158600	775	205
0,5	156800	1454	108
1	101500	1189	85
3	55400	962	58
5	35300	835	42
10	14400	602	24
15	6500	435	15
Erwachsene	3200	375	8,5

Tab.3b Verhältnis von erweitertem Ingestions-Dosisfaktor $a_{\overline{g_G}'}$ zu Inhalations-Dosisfaktor $a_{\overline{g_H}}$

Alter [a]	$a_{\overline{g_G}'}$ [$\frac{rem \cdot m^3}{C \cdot sec}$]	$a_{\overline{g_H}}=d_{\overline{g_H}}$ [$\frac{rem \cdot m^3}{C \cdot sec}$]	$a_{\overline{g_G}'}/a_{\overline{g_H}}$
Neugeborene	79300	775	102
0,5	78400	1454	54
1	50750	1189	42
3	27700	962	29
5	17650	835	21
10	7200	602	12
15	3250	435	7,5
Erwachsene	1600	375	4,2

Abb. 1: Täglicher Frischmilchverbrauch M als Funktion des Alters

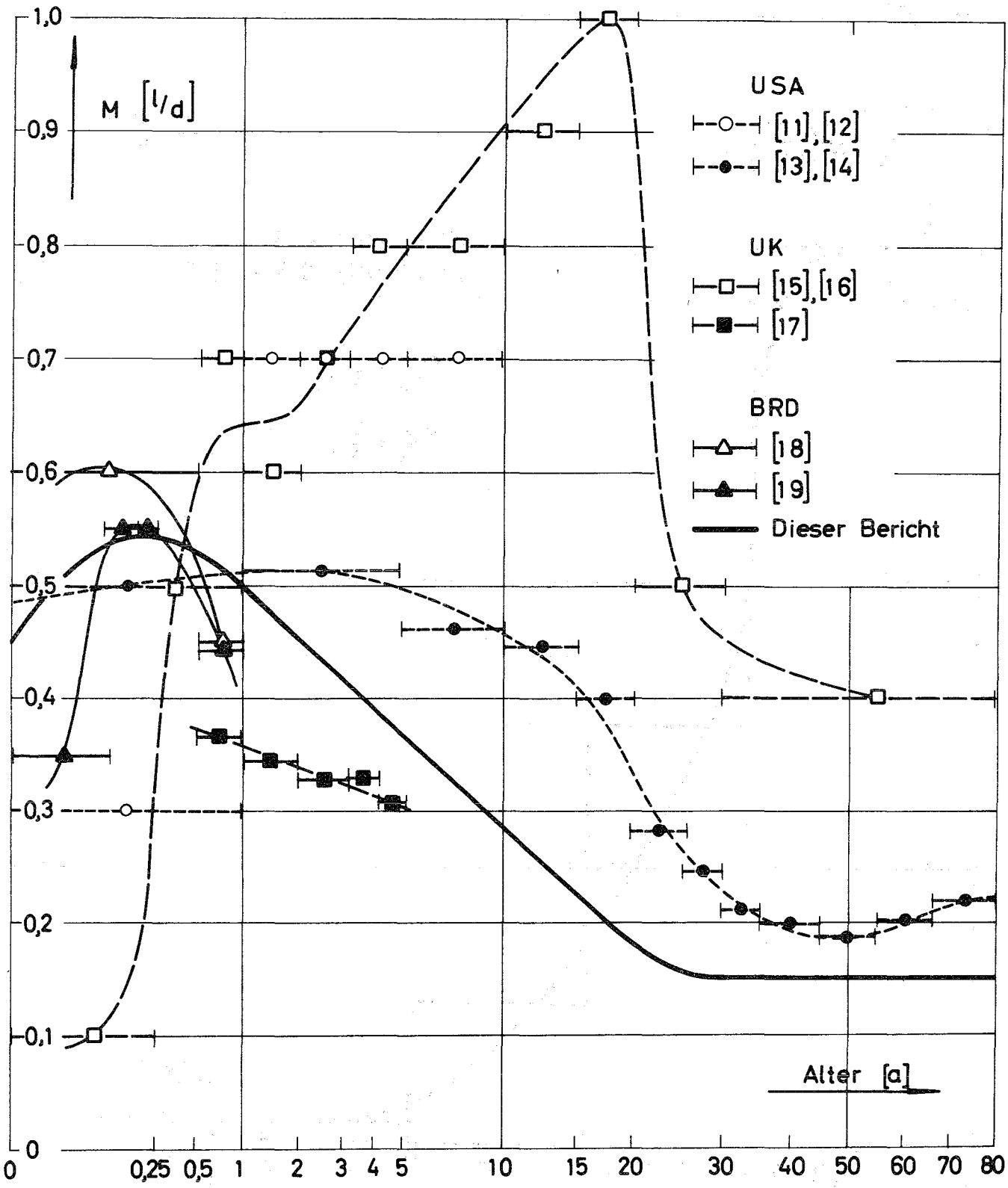

Abb. 2: Der Ingestions - Dosisfaktor g_G und der erweiterte Ingestions - Dosisfaktor g_G' als Funktion des Alters

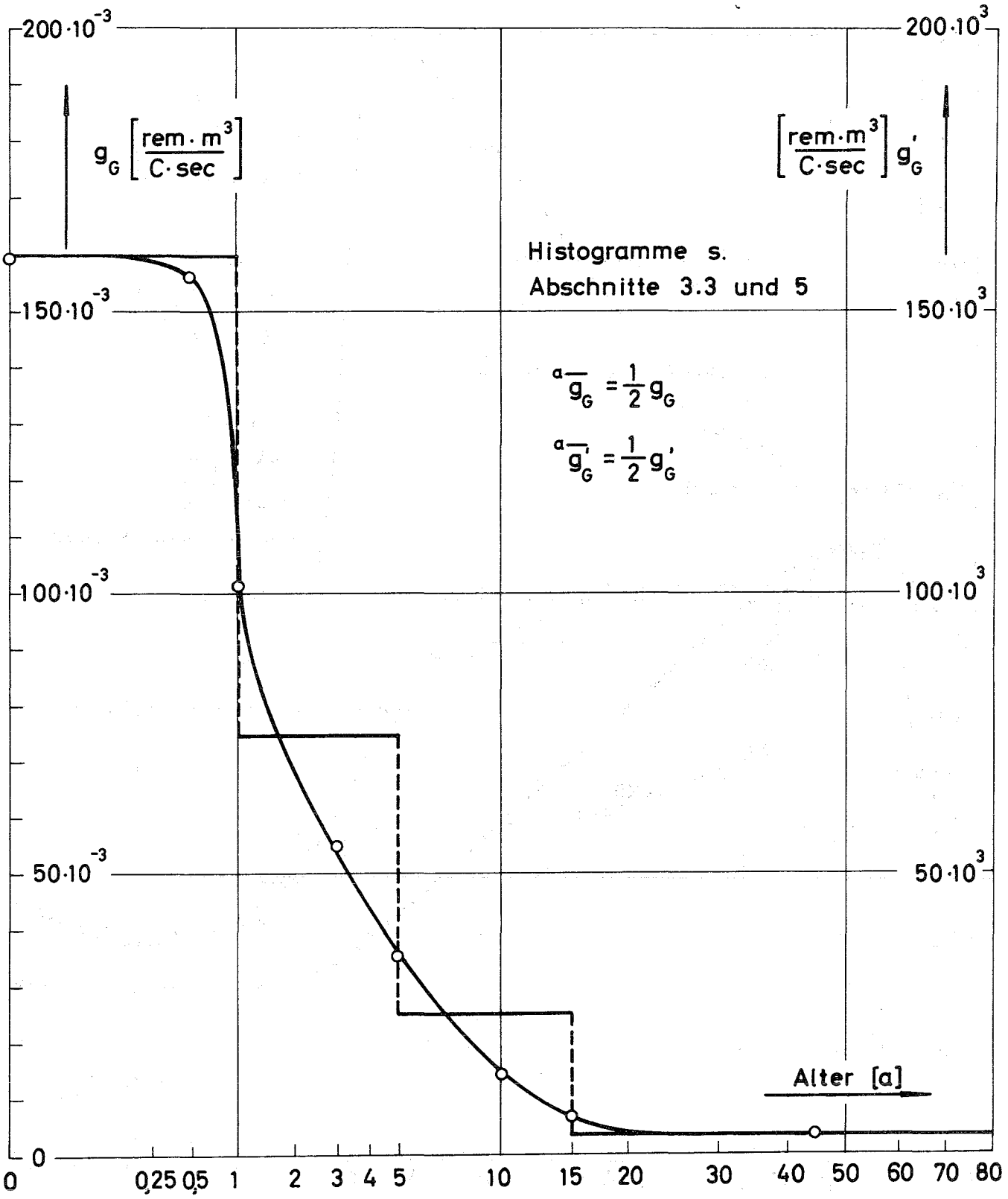

Abb. 3: Luftumsatz L als Funktion des Alters

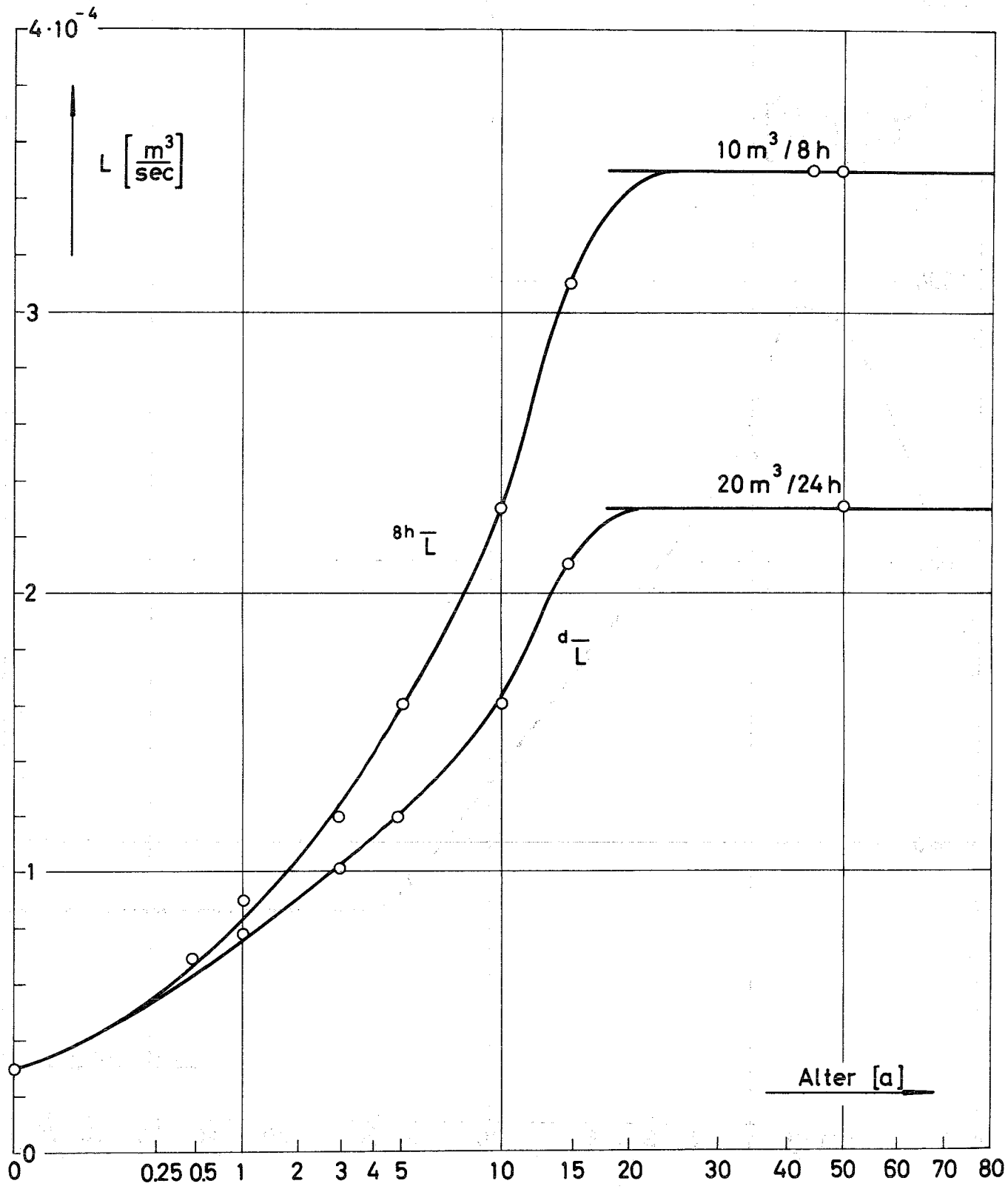

Abb. 4: Inhalations - Dosisfaktor ${}^{d}\overline{g}_H$ von J^{131} als Funktion des Alters

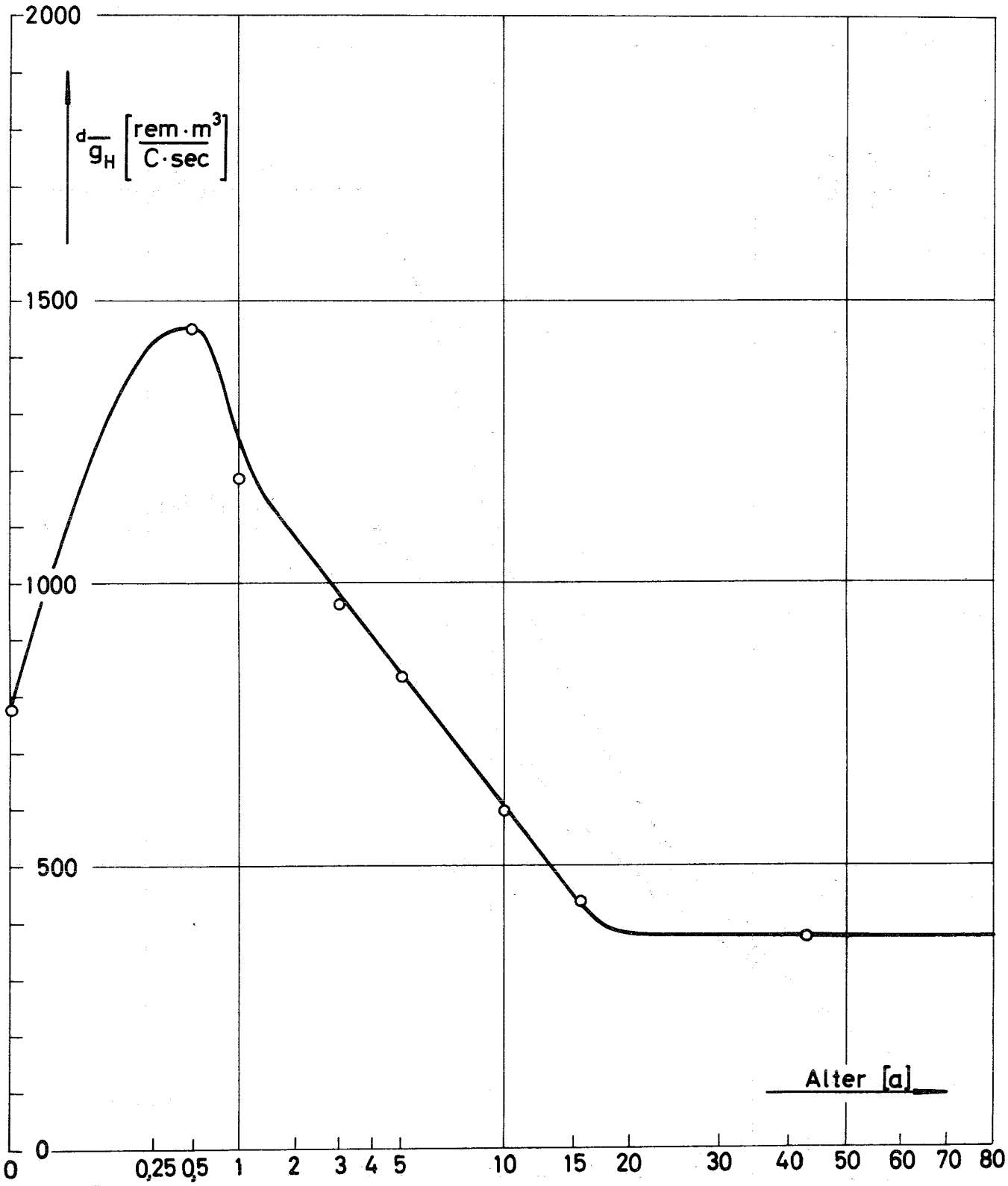

Abb. 5: Verhältnis von Ingestionsfaktoren $^{d}\overline{g}'_{G}$ zu Inhalationsfaktoren $^{d}\overline{g}_{H}$ als Funktion des Alters