

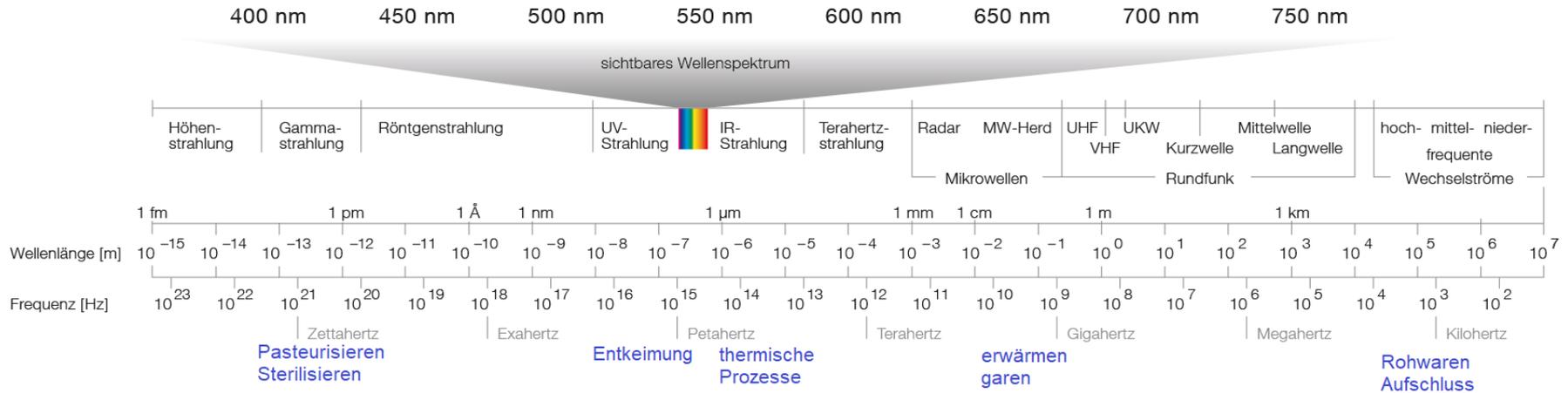
Spezialvorlesung Lebensmittel

Strahlenbelastung, Ionisierende Strahlen
Anwendung

PD Dr. Jörg-Thomas Mörsel

Strahlung, Energie

- Spektralverteilung – was spielt im Lebensmittel eine Rolle?



Beispiel

Gammastrahlen 10^{-12} m \square / $3 \times 10^{20} \text{ s}^{-1}$

$E = h \times f$ Planck'sches Gesetz

$$h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

$$E = 1,99 \times 10^{-13} \text{ J}$$

Avogadro-Konstante - $6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

1:1 Annahme (?)

$$\rightarrow 1,198 \times 10^{11} \text{ J} \dots 119 \text{ GJ}$$

Beispiel

UV $5 \times 10^{-7} \text{ m}$ \square / 10^{15} s^{-1}

$E = h \times f$ Planck'sches Gesetz

$$h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

$$E = 6,6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Avogadro-Konstante - $6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

1:1 Annahme (?)

$$\rightarrow 3,9 \times 10^5 \text{ J} \dots 400 \text{ kJ}$$

Strahlung, Energie

Beispiel

Gammastrahlen $10^{-12} \text{ m} \square / 3 \times 10^{20} \text{ s}^{-1}$

$E = h \times f$ Planck'sches Gesetz

$h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ Js}$

$E = 1,99 \times 10^{-13} \text{ J}$

Avogadro-Konstante - $6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

1:1 Annahme (?)

-> $1,198 \times 10^{11} \text{ J} \dots 119 \text{ GJ}$

Beispiel

UV $5 \times 10^{-7} \text{ m} \square / 10^{15} \text{ s}^{-1}$

$E = h \times f$ Planck'sches Gesetz

$h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ Js}$

$E = 6,6 \times 10^{-19} \text{ J}$

Avogadro-Konstante - $6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

1:1 Annahme (?)

-> $3,9 \times 10^5 \text{ J} \dots 400 \text{ kJ}$

- Bindungsenergie C-H 413 kJ/mol
- Bindungsenergie C-O 358 kJ/mol
- Bindungsenergie C=O 745 kJ/mol

Einheiten

- Energiedosis (D) – durch ionisierende Strahlung verursachte, absorbierte Energie
- SI Einheit $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$ – Gray
(Louis Harold Gray 1905/1965 ENG)
- $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$ (radiation absorbed dose) – Nicht SI
- $1 \text{ rad} = 100 \text{ erg/g}$ – Nicht SI
- Kommt aus der Radiologie
- Wirkung kann unterschiedlich sein – Spezies, Gewebe, Individuum
- $\text{rem} = \text{rad} * q$ (Strahlungswichtungsfaktor) – Nicht SI
- Sievert $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem} = 100 \text{ rad} * q = 1 \text{ Gy} * q$
(Rolf Sievert 1896/1966 SWE)

Wirkung auf den Menschen

- Sievert 1 Sv = 100 rem = 100 rad * q = 1Gy * q
(Rolf Sievert 1896/1966 SWE)
- Strahlungswichtungsfaktoren

Strahlung	q
Photonen	1
Elektronen	1
Neutronen	5-20
Protonen	5
Alphateilchen	20

- Effektive Dosis
- $E = \sum_T^n w(T) x H(T)$
- W(T) Gewebewichtungsfaktor, H(T) Organdosis

Wirkung auf den Menschen

- Effektive Dosis
- $E = \sum_T^n w(T) \times H(T)$

Organ	W(T)
Knochenmark	0,12
Dickdarm	0,12
Lunge	0,12
Magen	0,12
Brust	0,12
Keimdrüsen	0,08
Blase	0,04
...	
Summe	1

Radioaktivität

Aktivität - Radioaktivität

- $A - 1 \text{ Bq (Becquerel)} = 1 \text{ Zerfall / s}$ - SI Einheit
Antoine Henri Becquerel (1852/1908 FRA)
- Vormalig auch angegeben als Curie – $1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$
Aktivität von 1 g natürlichem Radium 5 Isotope, 4 davon aktiv, $t_{1/2}$
zwischen 42,2 min und 5,7 a – ^{226}Ra : 1602 a

Verbindung zur Äquivalentdosis

- Aktivität – Zerfall – Strahlung (Energie)

Isotop	Erwachsene	Säuglinge (<1a)
	$\mu\text{Sv} / \text{Bq}$	
^{89}Sr	0,0025	0,025
^{90}Sr	0,035	0,11
^{131}I	0,0132	0,11
^{134}Cs	0,02	0,012
^{137}Cs	0,014	0,009
^{40}K	0,005	0,039
^{14}C	0,0006	0,004

Radioaktivität

Radioisotope

- Biologische Halbwertszeit vs. Physikalische Halbwertszeit

Isotop	Erwachsene	T _{1/2} biologisch	T _{1/2} physikalisch
	μSv / Bq		
⁸⁹ Sr	0,0025	49 a	54 d
⁹⁰ Sr	0,035	49 a	29,1 a
¹³¹ I	0,0132	80 d	8 d
¹³⁴ Cs	0,02	110-140 d	2,3 a
¹³⁷ Cs	0,014	110-140 d	30 a
⁴⁰ K	0,005	10-30 d	1,28 x 10 ⁹ a
¹⁴ C	0,0006	40 d	5730 a

- Biologisch werden die Isotope gleich wie die inaktiven Isotope vom Körper des Menschen behandelt

Belastung durch Radioisotope

- Höchstwert 1963
- Aktuell größter Beitrag durch:
 - ^{40}K
 - ^{14}C
 - ^3H
 - ^{222}Rn
- Kalium 40 (β -Strahler)
 - Nativ 31 Bq/g (Mensch 140g K = 4300 Bq, tägliche Aufnahme 93 Bq)
- Kohlenstoff 14 (β -Strahler)
 - Nativ 0,23 Bq/g (Mensch 180g KC/kg KG = 2900 Bq/kg KG, tägliche Aufnahme 57 Bq)
- Tritium (β -Strahler)
 - Nativ 0,4 Bq/kg Wasser (Mensch 51 kg H_2O = 20 Bq, tägliche Aufnahme 1 Bq)
- Iod 131 (β -Strahler)

Belastung durch Radioisotope

- Iod 131 (β -Strahler)

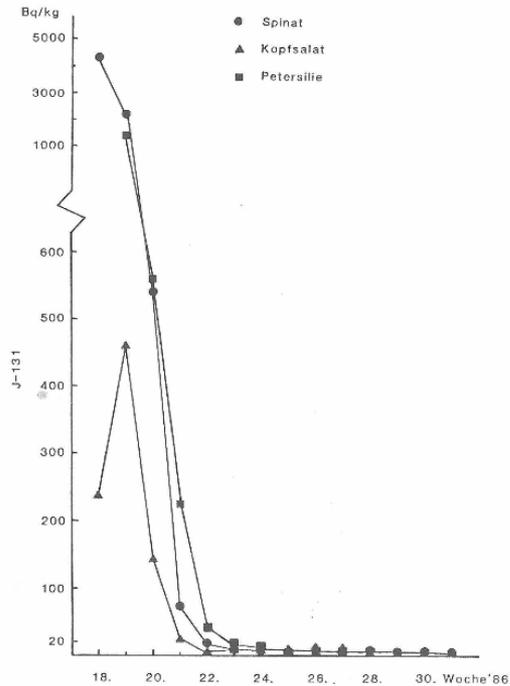


Abbildung 1: Wochenmittelwerte der J-131-Gehalte von Gemüse und Kräutern

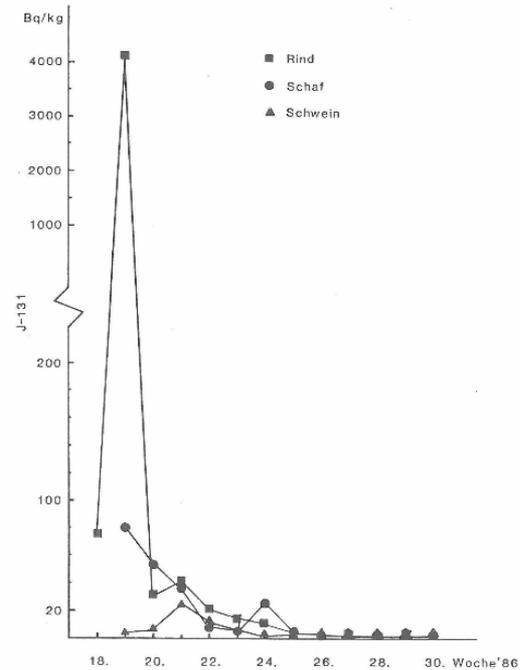
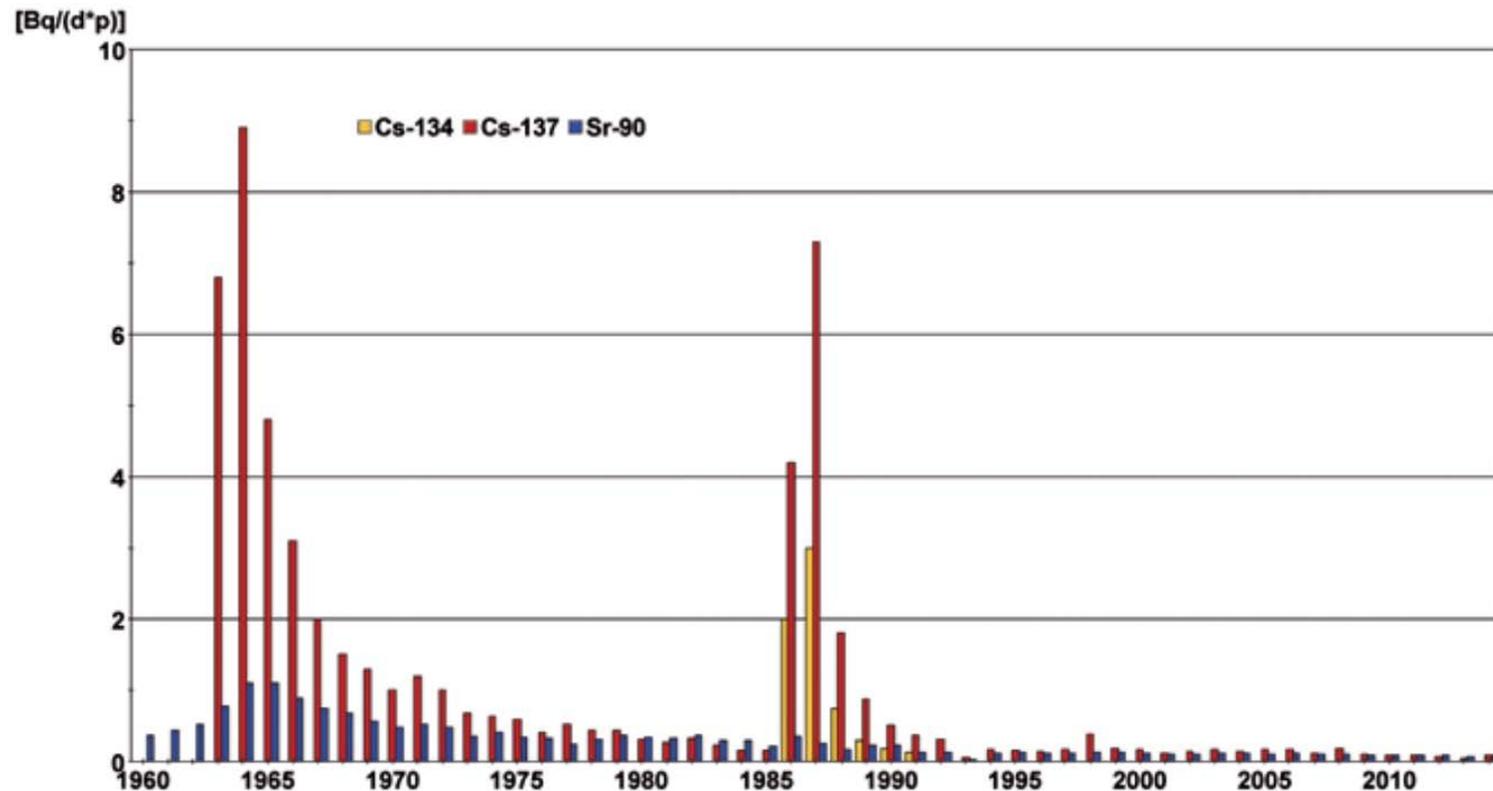


Abbildung 2: Wochenmittelwerte der J-131-Gehalte von Fleisch

Diehl, J.F. Ehlermann, D. Frindik, O. Kalus, W. Müller, H. Wagner, A. :
**Radioaktivität in Lebensmitteln -
Tschernobyl und die
Folgen** Karlsruhe [1986]

Belastung durch Radioisotope

- Cäsium / Strontium



Tägliche Zufuhr von Cs-137, Cs-134 und Sr-90 mit der Gesamtnahrung in Bq pro Person und Tag (Daten bis 1992: Leitstelle für Nahrungsmittel, Daten ab 1993: Integriertes Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Umweltradioaktivität (IMIS)).

Natürliche Radionuklide in Lebensmitteln

Mittlere spezifische Aktivität natürlicher Radionuklide in Lebensmitteln mBq/kg

Lebensmittel	⁴⁰ K	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Po	²²⁸ Th	²³⁸ U	²²⁶ Ra
Milch	50.000	10-100	10-100	0,05-0,5	0,05-0,5	5-15
Eier	40.000	10-100	10-100	0,1-5	1-5	50-200
Fisch	80.000- 120.000	100-1.000	200-4.000	0,5-10	1-20	10-100
Rindfleisch	60.000- 120.000	10-100	10-100	0,5-10	1-20	1-100
Schweinefleisch	60.000- 120.000	10-100	10-100	0,5-10	1-20	1-100
Getreide	150.000	20-200	20-200	1-20	1-50	10-100
Blattgemüse	60.000- 200.000	20-2.000	20-2.000	1-50	1-50	10-100
Gemüse	60.000- 250.000	10-100	10-100	1-20	1-50	10-100
Kartoffeln	150.000	5-50	5-50	1-20	1-50	10-100
Obst	30.000- 100.000	10-100	10-100	1-10	1-20	5-20
Trinkwasser	50-500	0,1-1	0,2-2	0,5-5	0,5-5	1-10
Paranüsse	-	-	-	-	-	5.000- 100.000
Rentierfleisch	80.000- 120.000	300-3.000	300-3.000	-	-	-

Was wir so essen

Fleisch	33 Schweine	4	t
Fisch	4113 Fische	2	t
Ei	0,86328 t	0,8	t
Butter	1987 Stck.	0,5	t
Margarine	2074 Stck.	0,5	t
Pflanzenfette	2457 l		t
Milch	6430 l	6,5	t
Käse	1,3752 t	1,4	t
Mehl	1 LKW	25	t
Hülsenfrüchte	1 Sack	0,1	t
Kartoffeln	105 Sack	10	t
Gemüse	2 LKW	50	t
Obst	2 LKW	30	t
Zucker	1 LKW	25	t
Kaffee	9007 kg	9	t
Tee	9007 kg	9	t

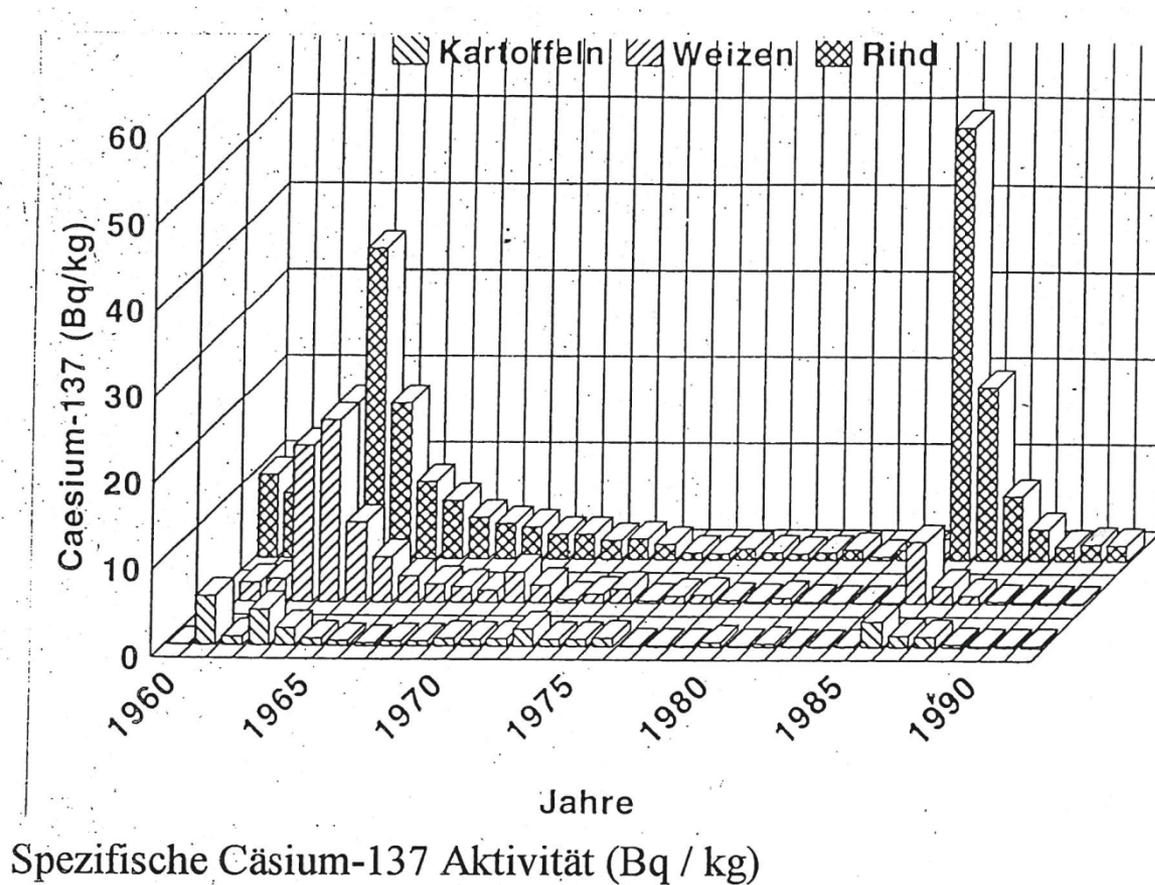
Natürliche Radionuklide in Lebensmitteln

Mittlere spezifische Aktivität natürlicher Radionuklide in Lebensmitteln mBq/kg

Lebensmittel		⁴⁰ K	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Po	²²⁸ Th	²³⁸ U	²²⁶ Ra
Milch	6,5 t	50.000	10-100	10-100	0,05-0,5	0,05-0,5	5-15
Eier	0,8 t	40.000	10-100	10-100	0,1-5	1-5	50-200
Fisch	2 t	80.000- 120.000	100-1.000	200-4.000	0,5-10	1-20	10-100
Rindfleisch	4 t	60.000- 120.000	10-100	10-100	0,5-10	1-20	1-100
Schweinefleisch		60.000- 120.000	10-100	10-100	0,5-10	1-20	1-100
Getreide	25 t	150.000	20-200	20-200	1-20	1-50	10-100
Blattgemüse	50 t	60.000- 200.000	20-2.000	20-2.000	1-50	1-50	10-100
Gemüse		60.000- 250.000	10-100	10-100	1-20	1-50	10-100
Kartoffeln	10 t	150.000	5-50	5-50	1-20	1-50	10-100
Obst	30 t	30.000- 100.000	10-100	10-100	1-10	1-20	5-20
Trinkwasser	165 t	50-500	0,1-1	0,2-2	0,5-5	0,5-5	1-10
Paranüsse	:-)	-	-	-	-	-	5.000- 100.000
Rentierfleisch	☺	80.000- 120.000	300-3.000	300-3.000	-	-	-

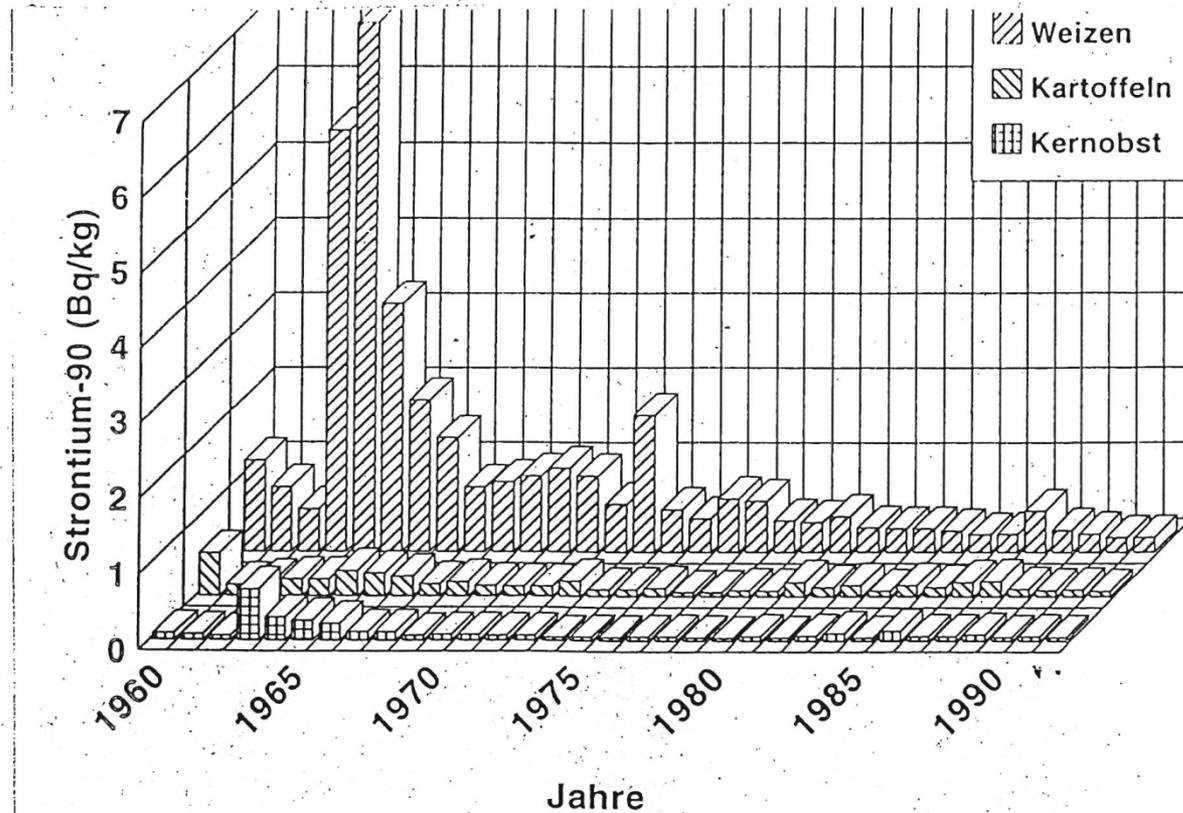
Natürliche Radionuklide in Lebensmitteln

Zeitlicher Verlauf ^{137}Cs Bq/kg



Natürliche Radionuklide in Lebensmitteln

Tägliche Aufnahme rate ^{90}Sr Bq / Tag x Person



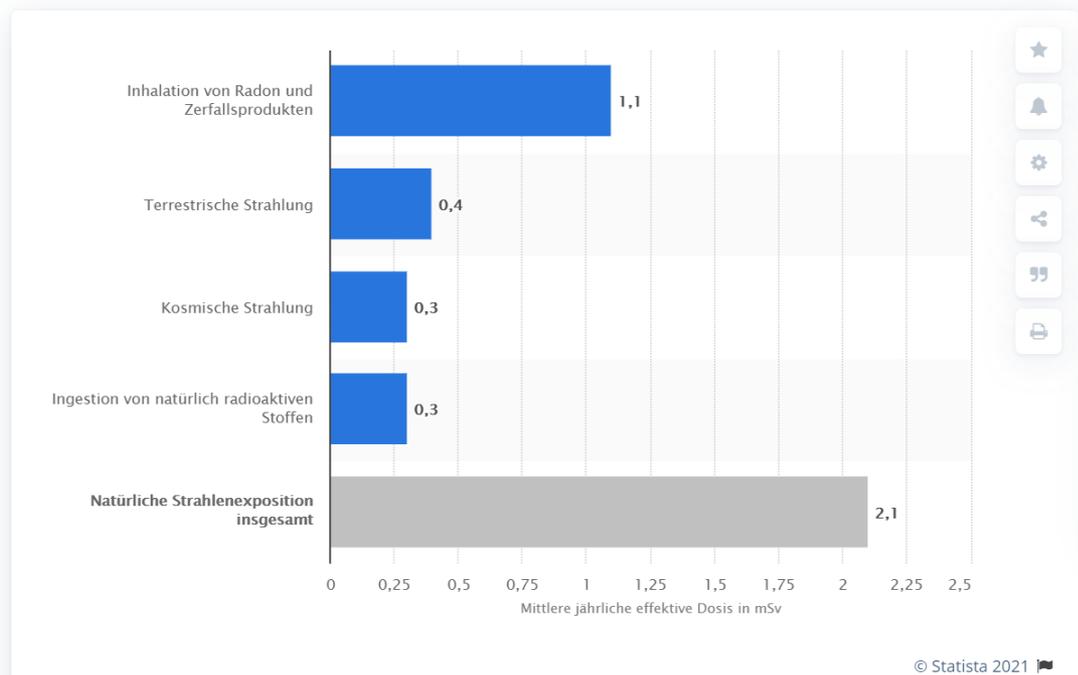
Tägliche Aufnahme rate von Sr-90 (Bq / Tag • Person)

Natürliche Radionuklide Belastung

Mittlere effektive Dosis Bevölkerung in Deutschland

Mittlere jährliche effektive Strahlendosis der Bevölkerung in Deutschland durch natürliche Strahlenquellen im Jahr 2016

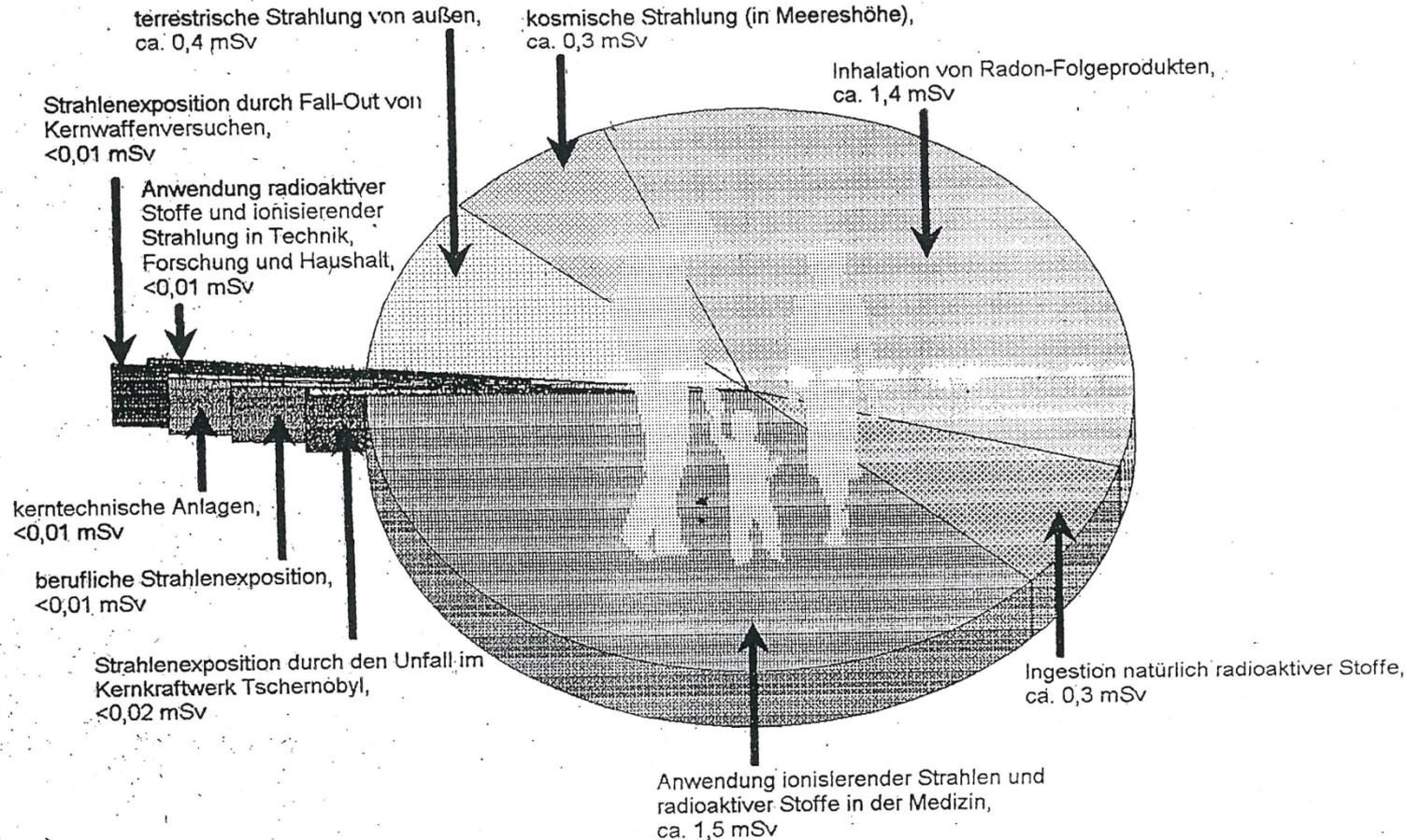
(in mSv)



Natürliche Radionuklide Belastung

Mittlere effektive Dosis Bevölkerung in Deutschland

Mittlere effektive Dosis der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 1995: ca. 4 mSv



Zielstellungen

- mikrobielle Dekontamination von Gewürzen
- mikrobielle Dekontamination von Fleisch (insbes. Geflügel)
- mikrobielle Dekontamination von Eiprodukten (insbes. Eipulver)
- mikrobielle Dekontamination von Fischerzeugnissen
- Reifungsverzögerung bei Obst und Gemüse
- Sterilisation von Enzymlösungen
- Herstellung von sterilen Krankenhausdiäten

Strahlenquellen

- ^{60}Co (aus ^{59}Co), zwei Gammaquanten von 1,1 MeV und 1,3 MeV,
 $t_{1/2}$ 5,26 a
- ^{137}Cs (aus Reaktor-Recycling), ein Gammaquant mit 0,66 MeV
 $t_{1/2}$ 30 a
- Elektronenstrahlen, bis 10 MeV
- Röntgenstrahlen ???? Schwierig da Kontinuum abgestrahlt wird

Lebensmittelbestrahlung

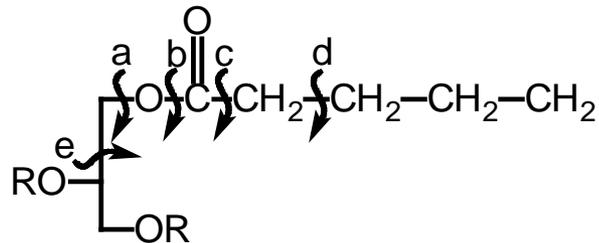
Strahlenresistenz von Mikroorganismen

Organismus	Resistenz	D10 [kGy]	Bestrahlungsmedium
anaerobe Sporenbildner			
Clostridium botulinum A	resistent	2,7 - 3,4	Puffer
	mäßig resistent	1,9 - 2,0	Puffer
	wenig resistent	1,2 - 1,4	Wasser
Clostridium botulinum B	resistent	2,1 - 3,0	Puffer
	mäßig resistent	1,6	Puffer
	wenig resistent	1,1 - 1,2	Puffer
Clostridium perfringens		1,2 - 3,7	Wasser
Clostridium tetani		2,4	Wasser
aerobe Sporenbildner			
Bacillus brevis		0,5	Puffer
Bacillus subtilis		0,6	Puffer
Bacillus cereus		2,8	Puffer
Bacillus pumilus		3,1	trocken
Bacillus anthracis		2,8	Puffer

Reaktionen von Lipiden

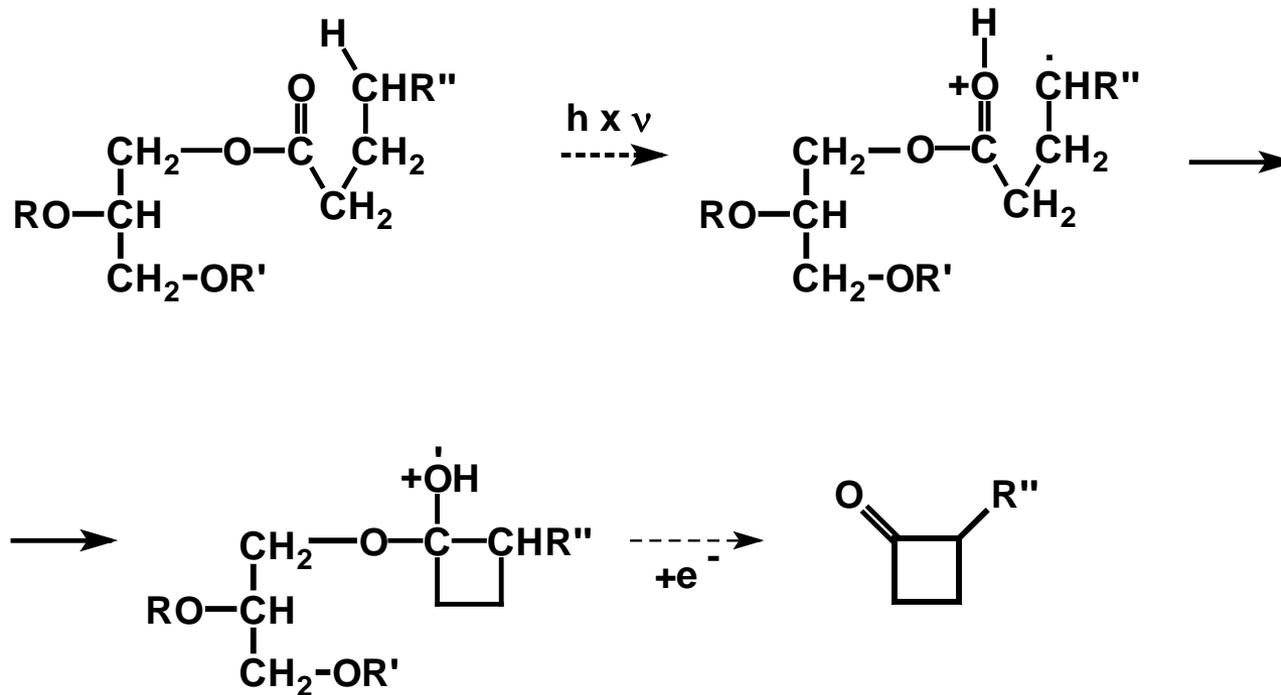
Lipidbindung	Dissoziationsenergie [kJ/mol]	Quantenenergie von ^{60}Co
C - C	350	
C = C	620	E1 = 1,17 MeV
C - H	415	= 3,108 GJ/mol
C - O	355	
C = O	715	E2 = 1,33 MeV
O - H	465	= 3,524 GJ/mol

Homolyse angeregter Triglyceride

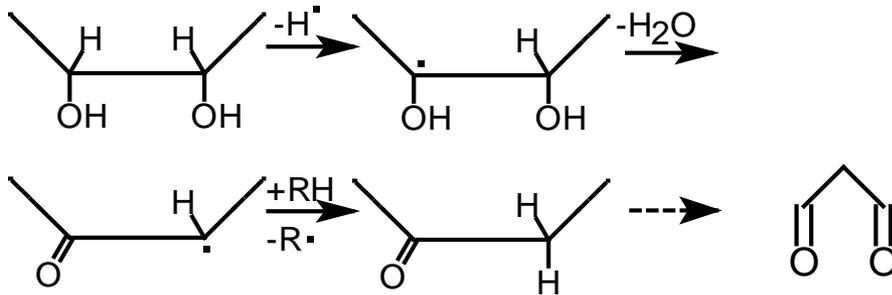


Reaktionen von Lipiden

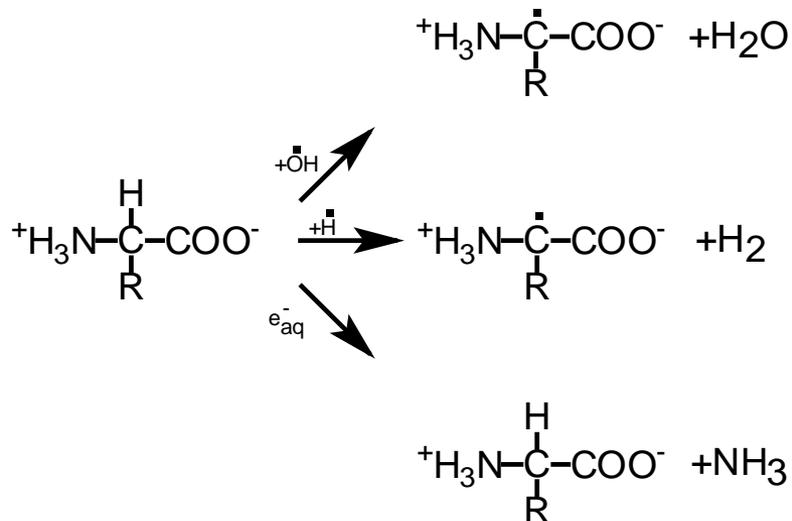
Bildungsmechanismus von 2-Alkylcyclobutanonen



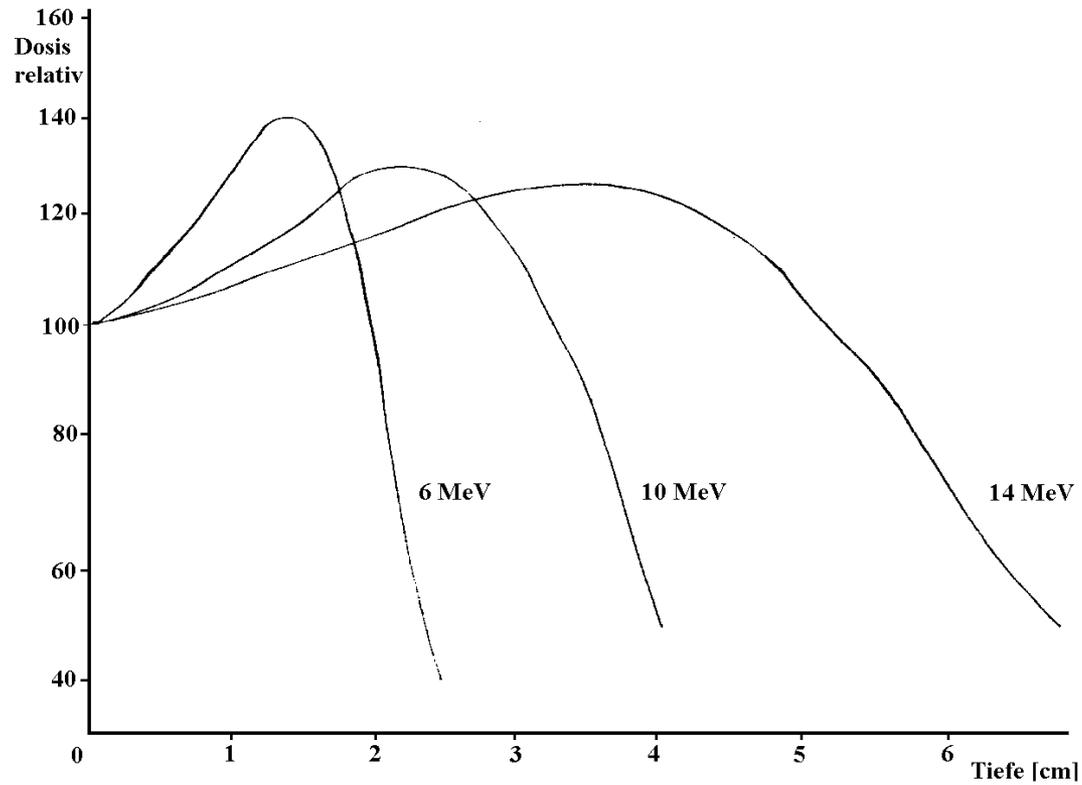
Reaktionen von Kohlenhydraten



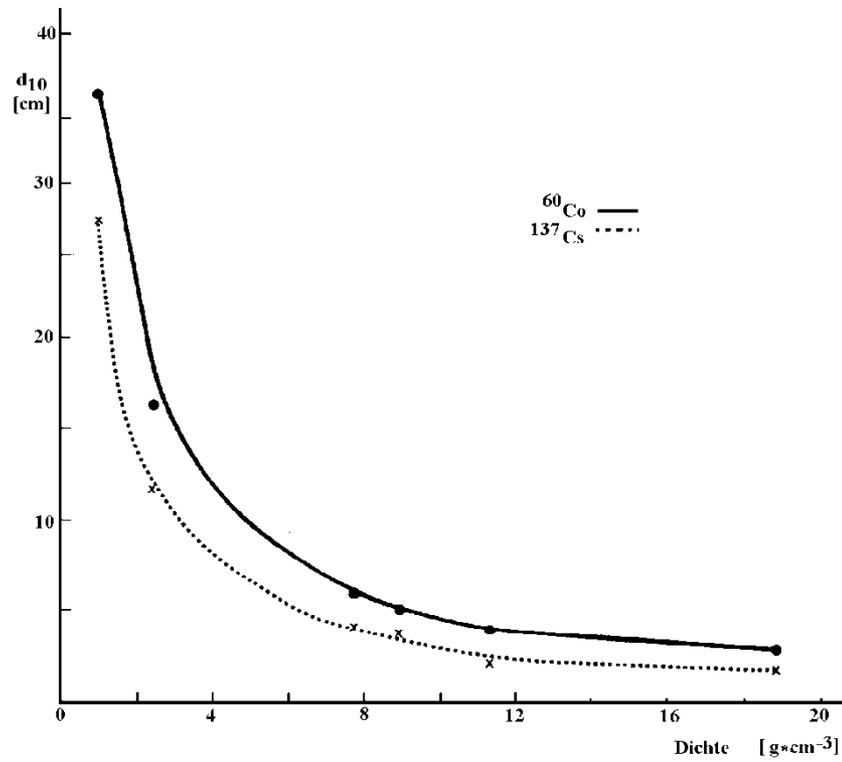
Radiolyse von Aminosäuren



Eindringtiefe Elektronenstrahlen

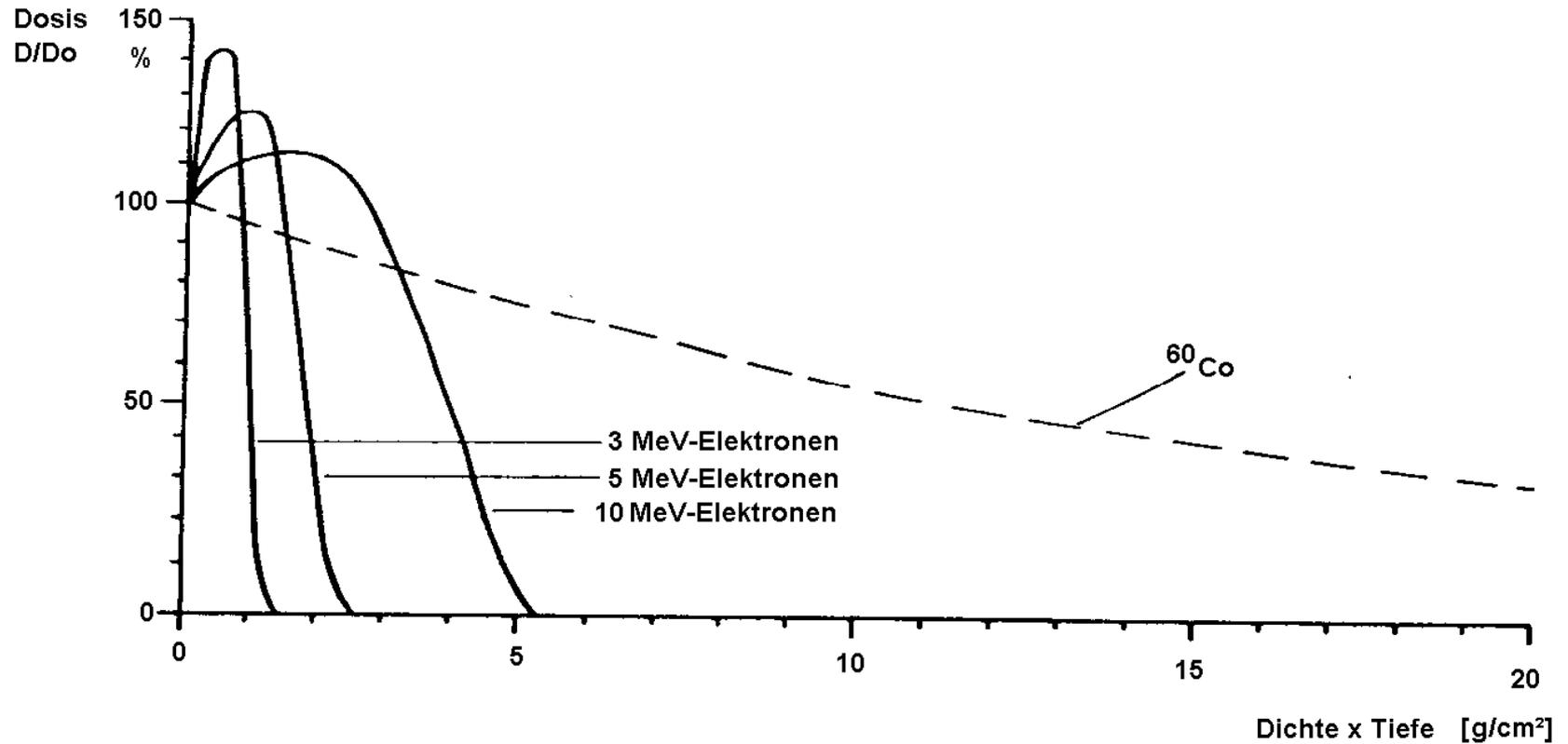


Eindringtiefe γ -Strahlen

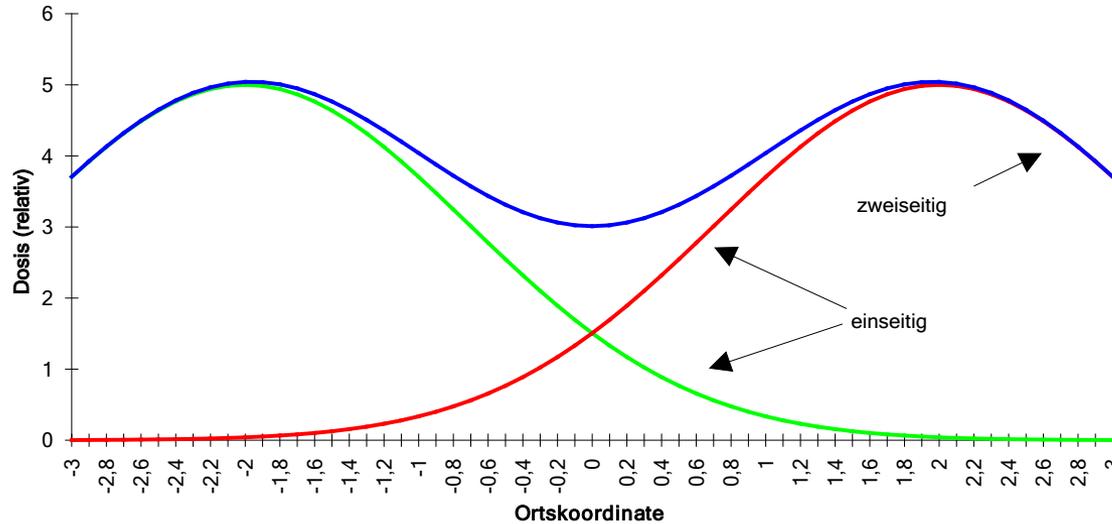


Lebensmittelbestrahlung

Eindringtiefe \square Strahlen



Eindringtiefe bei 2-seitiger Bestrahlung



Resultiert --- Überdosisfaktor notwendig damit das Produkt überall sicher ist.

$$F_D = \left(\frac{D_{\max}}{D_{\min}} \right)$$

Lebensmittelbestrahlung

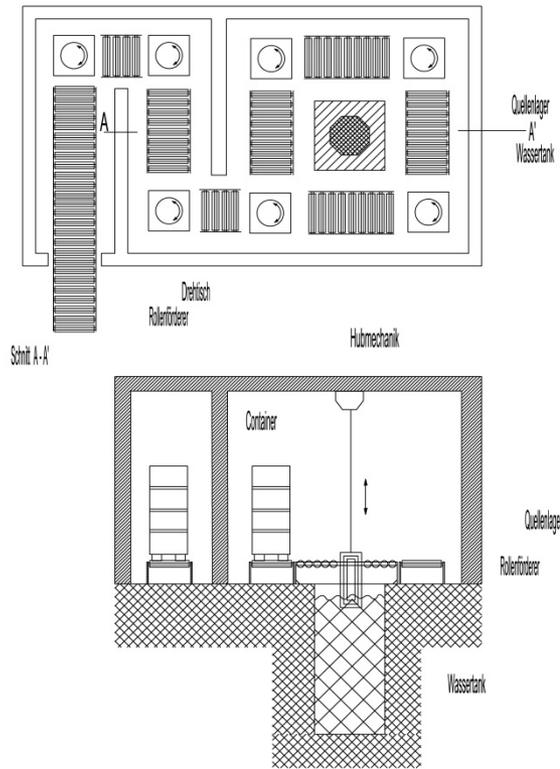
Anwendungsmöglichkeiten der Lebensmittelbestrahlung (EHLERMANN [1978])

ZIEL	ANWENDUNGSGEBIET	NOTWENDIGE DOSIS [kGy]
Keimungshemmung	Kartoffeln, Zwiebeln, Knoblauch	0,01-0,15
Verzögerung der Reifung	Früchte, Gemüse	0,1-1,0
Desinfestation (Abtötung von Schadinsekten bzw. Unterbindung ihrer Vermehrung)	Cerealienprodukte, Körner, getrocknete Früchte	0,2-1,0
Radicidation (Eliminierung von Parasiten, pathogenen Organismen, ausgenommen Viren)	Trichinen, Bandwürmer u.ä.	0,1-1,0
	nicht sporenbildende Mikroorganismen (z.B. Salmonellen)	2,0-8,0
Radurisation (Erhöhung der Haltbarkeit durch Eliminierung lebensmittelverderbender Keime)	frisches Fleisch, Fisch, Obst, Gemüse	0,4-10,0
Beeinflussung technologischer Eigenschaften (erhöhter Saftertrag, leichtere Extrahierbarkeit, verkürzte Rehydratations- und Kochzeit)		1,0-10,0
Radappertisation (Strahlensterilisierung)	Fleisch, Fisch, Gebäck	10-50
Inaktivierung der meisten Viren		50-200
Inaktivierung von Enzymen		50-1000

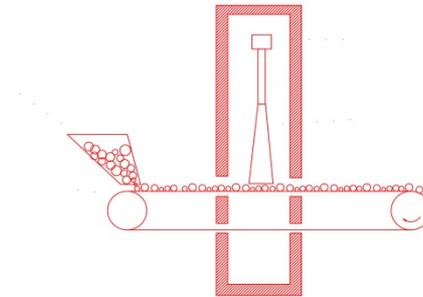
Lebensmittelbestrahlung

Apparatetechnik

Palettenförderer ^{60}Co

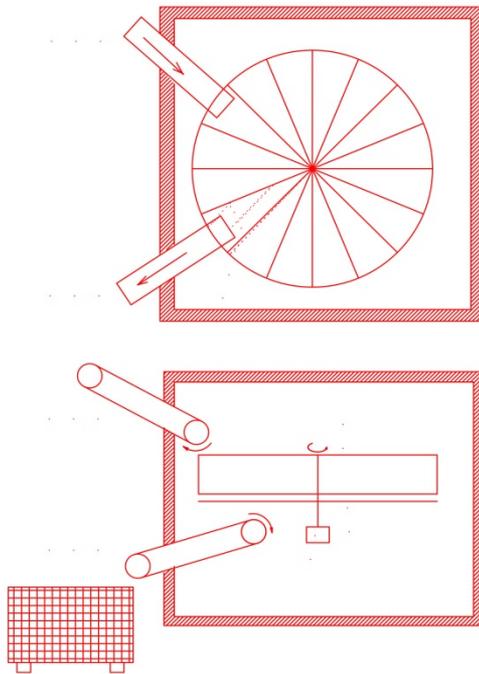


Bandapparat e-Strahlen



Apparatetechnik

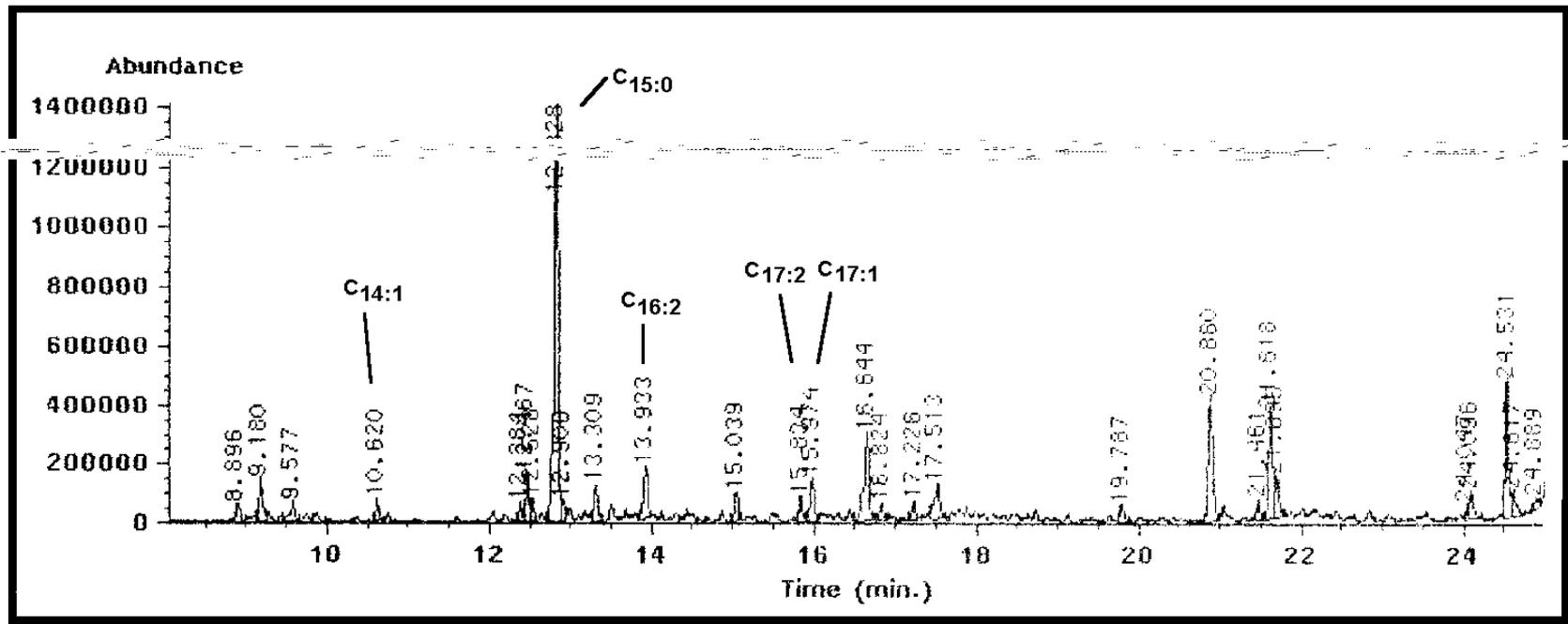
Drehtischapparat ^{60}Co



Palettenanlage BGS

Nachweis einer Bestrahlung

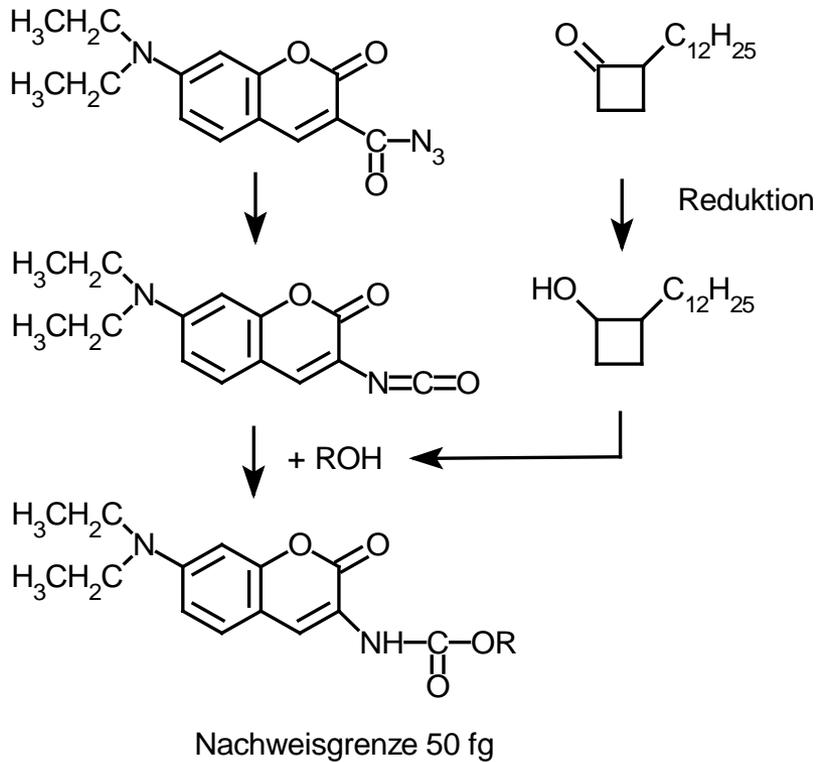
Gaschromatogramm von Kohlenwasserstoffen aus bestrahltem Hähnchenfleisch (Totalionenstrom)



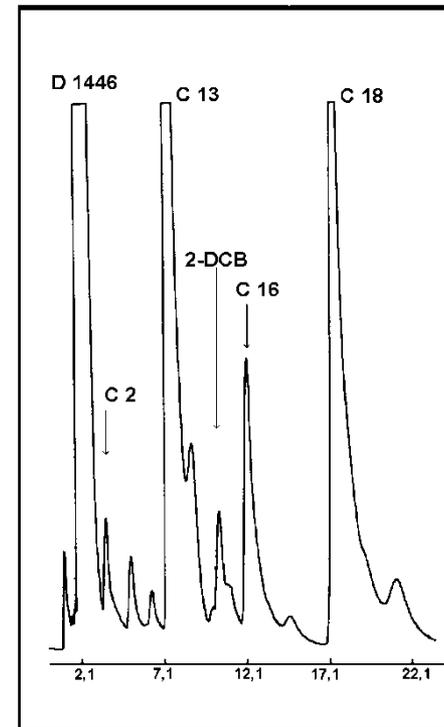
Nachweis einer Bestrahlung

2-Dodecylcyclobutanon mit dem Fluoreszenzfarbstoff

D-1446 (7-Diethylaminocumarin-3-carbonylazid)



HPLC, Phase Nucleosil RP-18, 250 mm x 4 mm,
mobile Phase Methanol/Wasser 97,5:2,5,
flow 2 ml/min, Fluoreszenz
Ex. 432 nm, Em. 480 nm



Rechtslage Lebensmittel- Bestrahlung

LFGB:2005

§ 8 Bestahlungsverbot und Zulassungsermächtigung

(1) Es ist verboten, 1. bei Lebensmitteln gewerbsmäßig eine nicht zugelassene Bestrahlung mit ultravioletten oder ionisierenden Strahlen anzuwenden

Lebensmittelbestrahlungsverordnung – LMBestr VO:2000

§ 1 Zulassungen

(1) Die Behandlung von getrockneten aromatischen Kräutern und Gewürzen mit aufgeführten Elektronen-, Gamma- und Röntgenstrahlen (Bestrahlung) ist zugelassen

§3 Kenntlichmachung

„bestrahlt“ oder die Angabe „mit ionisierenden Strahlen behandelt“

Richtlinie 1999/2/EG über mit ionisierenden Strahlen behandelte Lebensmittel und Lebensmittelbestandteile

Nur mit Zulassung zulässig, Gemeinschaftsliste

Richtlinie 1999/3/EG über die Festlegung einer Gemeinschaftsliste von mit ionisierenden Strahlen behandelten Lebensmitteln und Lebensmittelbestandteilen

ANHANG

LEBENSMITTEL, DIE MIT IONISIERENDEN STRAHLEN BEHANDELT WERDEN DÜRFEN, UND STRAHLUNGSHÖCHSTDOSEN

Lebensmittelgruppe	Maximale durchschnittliche absorbierte Gesamtdosis (kGy)
Getrocknete aromatische Kräuter und Gewürze	10

Vielen Dank!

