



## Natürliche und künstliche Strahlenbelastung

- Woher kommt die natürliche Strahlung ?
- Belastungswege
- Regionale Unterschiede
- Woher kommt die künstliche Strahlenbelastung ?
- Belastete Arbeitsplätze
- Anteil an der Gesamtstrahlenbelastung
- Medizinische Untersuchungen

## Strahlenschäden und -risiken



## Natürliche Radionuklide

### Zerfallsreihen der Urane und des Thorium

47 Radionuklide als Zwischenprodukte der Zerfallsreihen, mit sehr unterschiedlichen HWZ

### 25 weitere primordiale Radionuklide

Langlebige Radionuklide, die aus der Entstehungszeit der Erde stammen

### Kosmogene Radionuklide

Radionuklide, die in der Atmosphäre durch Beschuss mit kosmischer Strahlung entstehen

Wichtige Vertreter dieser Gruppen sind:

Radium-224  
3,64 d

**Radon-220** (Thoron)  
55,6 s

**Radon-222**  
3,8 d

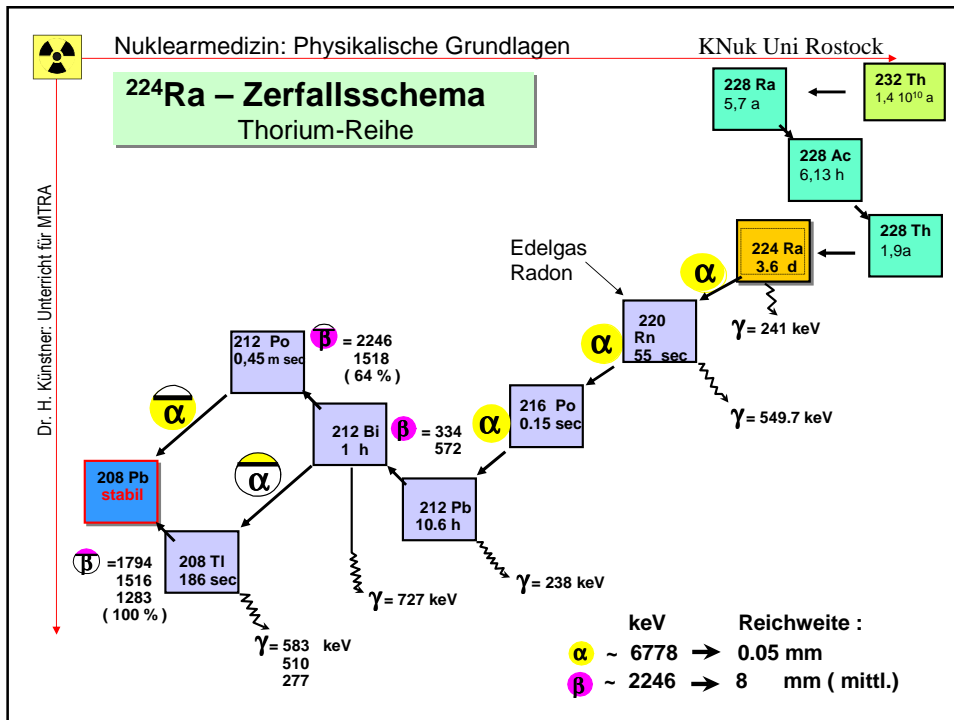
Pollonium-xxx

Blei-xxx

**Kalium-40**  
1,3\*10<sup>9</sup> a

Rubidium-87  
4,8\*10<sup>10</sup> a

**Kohlenstoff-14**  
5730 a





### Mittlere jährliche eff. Dosis durch äußere Strahlenbelastung

Dr. H. Küstner: Unterricht für MTRA

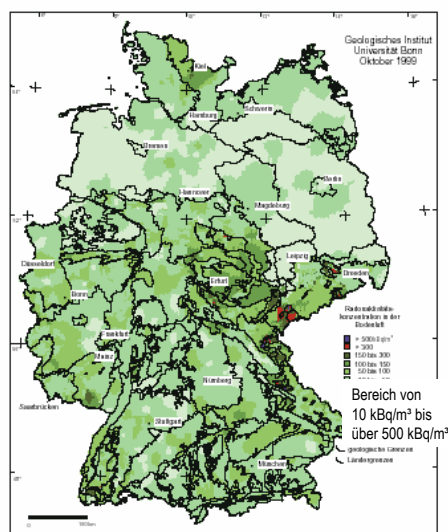
Bundesland	Ortsdosis $\mu\text{Sv/h}$	Bundesland	Ortsdosis $\mu\text{Sv/h}$
MV	<b>0,036</b>	Brandenburg	<b>0,028</b>
Niedersachsen	<b>0,048</b>	Thüringen	<b>0,063</b>
Bayern	<b>0,069</b>	Saarland	<b>0,79</b>

Gebiet	mittl. effektive Dosis der Bevölkerung mSv/Jahr	Maxim. Ortsdosis im Freien mSv/Jahr
Deutschland	<b>0,4</b>	<b>5</b>
Indien: Kerala, Madras	<b>4</b>	<b>50</b>
Brasilien: Espirito Santo	<b>6</b>	<b>800</b>
Iran: Ramsar	<b>6</b>	<b>850</b>



### Radonaktivitätsverteilung in der Bodenluft

Dr. H. Küstner: Unterricht für MTRA



Mittelwerte der Radonaktivität in Deutschland:  
**15 Bq/m<sup>3</sup> im Freien**  
**50 Bq/m<sup>3</sup> in Gebäuden**

➔ **Mittlere effektive Dosis** aus der Bestrahlung mit natürlichem Radon und seinen Folgeprodukten:  
**1,4 mSv/a**

Wesentlich höhere Werte der Radonaktivität in:

- Kellerräumen in Gebirgslagen
- Bergwerken, Stollen
- Höhlen
- Grundwasserspeichern

Abb. 13. Karte der Radonaktivitätskonzentrationen in der Bodenluft in 1 m Tiefe (Geologisches Institut Bonn 1999).



**Strahlenexpositionen beim Fliegen und in der Raumfahrt**

Dr. H. Künschner: Unterricht für MTRA

**Flugbelastung**

- Frankfurt – New York – Frankfurt  
**100 µSv**
- Frankfurt – Singapur – Frankfurt  
**60 µSv**
- Frankfurt- Mallorca – Frankfurt  
**6 µSv**

Nach etwa **400** Transatlantikflügen im Jahr wird der Grenzwert von 20 mSv erreicht

Bei 600 Flugstunden in mittlerer Höhe von 10 km in unseren Breiten ergibt sich eine effektive Dosis von etwa 3 mSv

**Belastung bei Raumflügen**

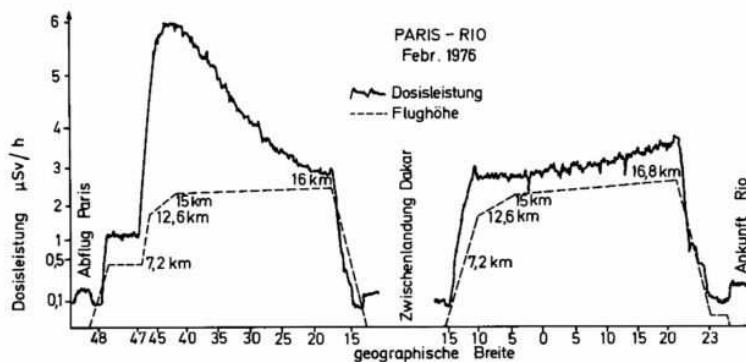
Flug	Dauer h	Dosis mSv
Erdumkreisung Apollo VII	260	3,6 14 µSv/h
Erdumkreisung Salut 6	4200	55 13 µSv/h
Mondlandung Apollo XI	195	6 30 µSv/h
Mondlandung Apollo XIV	209	15 72 µSv/h

Höhere Werte bei den Mondflügen resultieren aus der Durchquerung der Strahlungsgürtel der Erde in 8000 bzw. 50000 km Höhe über dem Äquator



**Einfluss der Flughöhe und der geografischen Breite auf die Dosisleistung beim Fliegen**

Dr. H. Künschner: Unterricht für MTRA



- Abhängig von:
- Flughöhe und geografischer Breite
  - Sonnenaktivität und Magnetfeldstärke



## Zivilisatorische Strahlenbelastung

### Verursacht durch die Nutzung/Anwendung ionisierender Strahlung

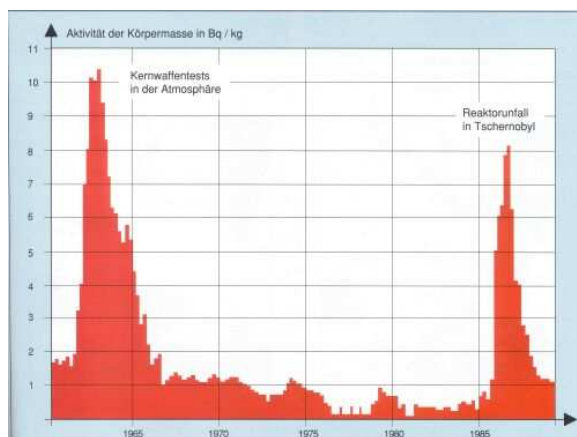
- Kernenergie und Kernforschung  
radioaktive Abfälle, Unfälle
- militärische Nutzung (Atombomben u.a.)  
Kernwaffenteste
- industrielle Nutzung ionisierender Strahlung  
Sterilisation, Werkstoffprüfung, ...
- medizinische Nutzung  
Röntgen, Nuklearmedizin, Bestrahlung
- aber auch Bergbau, Kohlekraftwerke, Fliegen

Dr. H. Küstner: Unterricht für MTRA



## Zivilisatorische Strahlenbelastung

### Atombombenversuche in der Atmosphäre und Reaktorunfall von Tschernobyl (1986)



Personendosis in Mitteleuropa von 1960 bis 2050 aus Atombombenversuchen etwa 2 mSv effektive Dosis (80% davon von 1960-70)

Dr. H. Küstner: Unterricht für MTRA

**Strahlenexposition durch Bildschirme u.a.**

<b>Natürliche Umgebungsstrahlung</b>	100.000 pSv/h
<b>Bildschirmgeräte</b> (Abstand 0,5 m) - betriebsbedingte Röntgenstrahlung - Gammastrahlung enthaltener natürlicher radioaktiver Stoffe	6 pSv/h 1200 pSv/h
<b>Farbfernseher</b> (Röhre)(Abstand 3 m) - betriebsbedingte Röntgenstrahlung - Gammastrahlung enthaltener natürlicher radioaktiver Stoffe	2 pSv/h 100 pSv/h
<b>Zeitschriften</b> (Abstand 0,35 m) - Gammastrahlung von Ra- und Th-Folgeprodukten	30 pSv/h
<b>Anderer Mensch</b> (Abstand 0,5 m) - Gammastrahlung von Ka-40	50 pSv/h

pSv = Picosievert, 1 pSv = 0,000 000 001 mSv  
1 pSv = 0,000 001 µSv

Dr. H. Küstner: Unterricht für MTRA

**Natürliche und zivilisatorische Strahlungsbelastung für Deutschland (statistisches Mittel)****Strahlenexposition aus natürlichen Quellen**

Jährliche Dosis in mSv

Kosmische Strahlung	0,3
Terrestrische Strahlung	0,5
Natürliche Radionuklide im Körper	0,3
Inhalation von Radon und Folgeprod.	1,3
<b>Summe</b>	<b>2,4</b>

**Strahlenexposition aus zivilisatorischen Quellen**

Jährliche Dosis in mSv

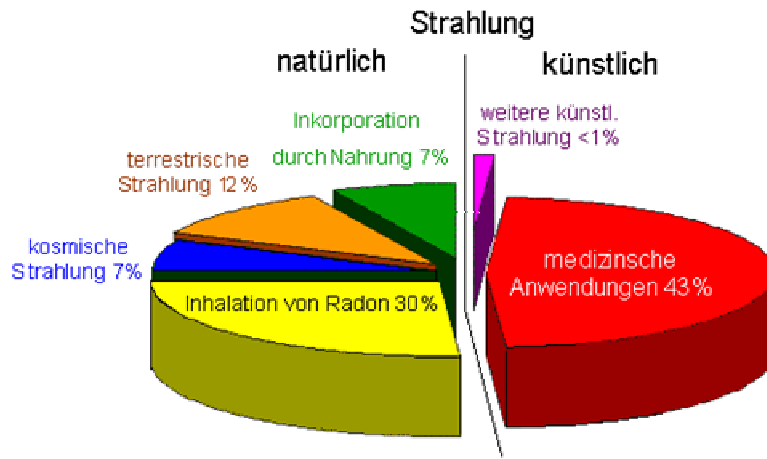
Medizin	1,5
Kernwaffenfallout	0,02
Reaktorunglück Tschernobyl	0,02
Wissenschaft, Technik, KKW	0,01
<b>Summe</b>	<b>1,55</b>

Dr. H. Küstner: Unterricht für MTRA



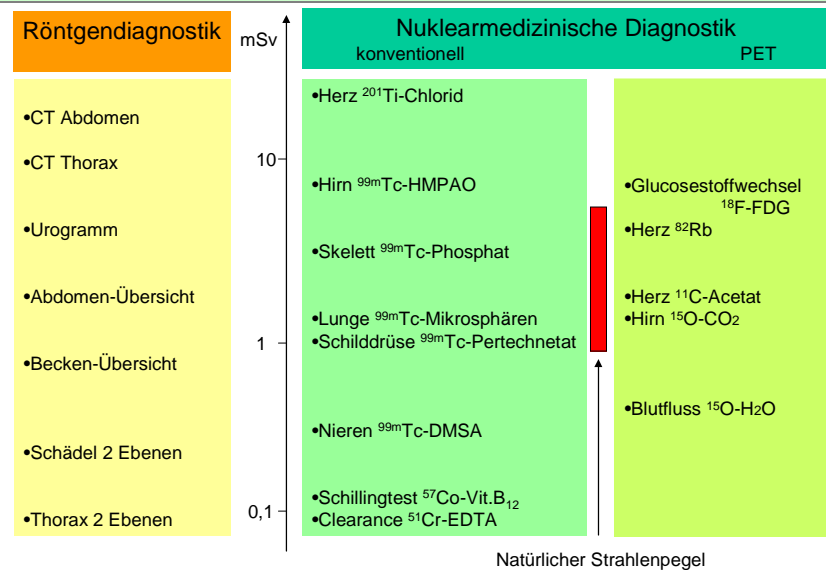
### Anteile der jährlichen Strahlendosis

Dr. H. Küstner: Unterricht für MTRA



### Strahlenbelastung bei medizinischen Untersuchungen

Dr. H. Küstner: Unterricht für MTRA

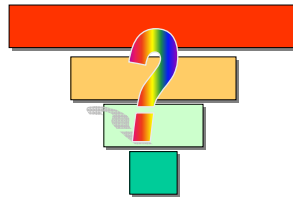




## Strahlenrisiko und Strahlenschäden

Ordnen Sie die folgenden Risiken, tödliche Schäden davonzutragen in absteigender Reihenfolge (vom höheren zum niedrigeren Risiko):

- A: tödlicher Autounfall
- B: tödliches Krebsrisiko allgemein in BRD
- C: Tod durch ionisierende Strahlung
- D: tödlicher Raucher Krebs



## Strahlenrisiko

Unter dem Strahlenrisiko versteht man die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten biologisch negativer Bestrahlungsfolgen und Strahlenschäden zu einem beliebigen Zeitpunkt im Leben des bestrahlten Individuums oder bei den Nachkommen einer Population durch eine zusätzlich zum natürlichen Strahlenpegel auftretende Strahlenbelastung.

### Risikodefinition

$$\text{Risiko} = \frac{\text{Zahl der Schadensfälle}}{\text{Gesamtzahl der Personen}}$$

Absolutes Risiko = Gesamtzahl der Schadensfälle – Zahl der spontanen Schadensfälle =  $I - I_0$

$$\text{Relatives Risiko} = \frac{\text{Gesamtzahl der Schadensfälle}}{\text{Zahl der spontanen Schadensfälle}} = I/I_0$$

$$\text{Risiko pro Sv} = \frac{\text{Risikoeffizient } \Delta I}{(\text{Risikowert}) \Delta D} \quad \text{In Schadenfälle pro 1 Mio. Personen pro Jahr und pro Sv}$$





### Risikobetrachtung

Beispiele für Todesrisiken

Dr. H. Küstner: Unterricht für MTRA

**Krebs allgemein:**  
ca. 25 %

**Raucherkrebs:**  
ca. 8% für Raucher

**Strahlenkrebs:**  
0,005 %  
pro mSv

**Straßenverkehr:**  
ca. 0,01 %  
pro Jahr

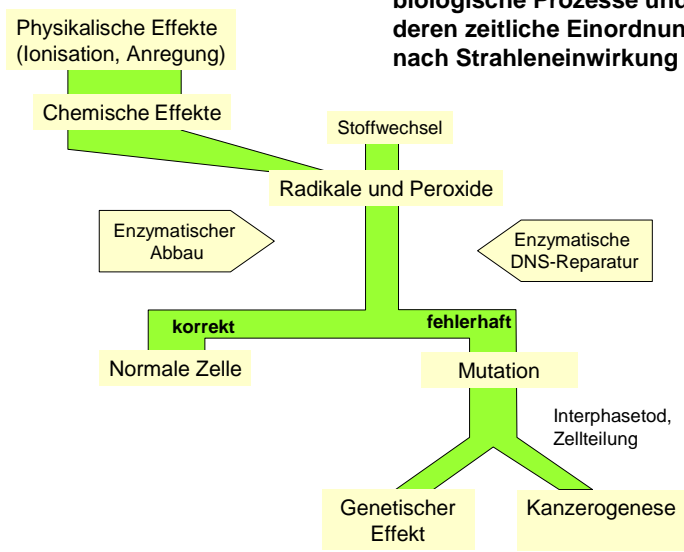
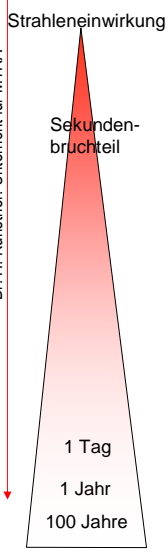
**Beruflich strahlenexponierte Personen haben gegenüber vergleichbaren Berufsgruppen kein erhöhtes Krebsrisiko, wenn die Dosisgrenzwerte nicht überschritten werden.**



### Strahlenwirkung

**Physikalische, biochemische und biologische Prozesse und deren zeitliche Einordnung nach Strahleneinwirkung**

Dr. H. Küstner: Unterricht für MTRA





Dr. H. Küstner: Unterricht für MTRA

### Deterministische Schäden

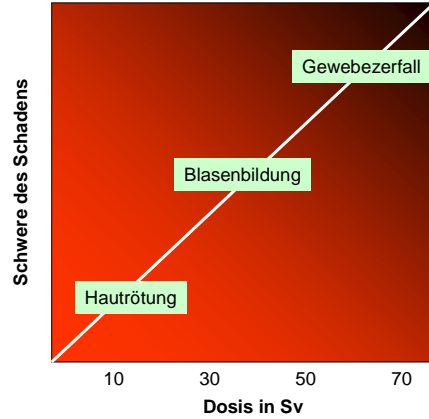
Schwere des Schadens abhängig von der Dosis

Schaden tritt oberhalb eines Schwellwertes mit Sicherheit auf

Dosisrate spielt große Rolle

Beispiele:  
Veränderung des Blutbildes  
Schädigung der Haut, Übelkeit

Deterministische Schäden bei Teilkörperexposition der Haut



Deterministische Schäden erst bei (Teilkörper-)Dosen über 250 mSv



Dr. H. Küstner: Unterricht für MTRA

### Stochastische Schäden

Schwere des Schadens unabhängig von der Dosis

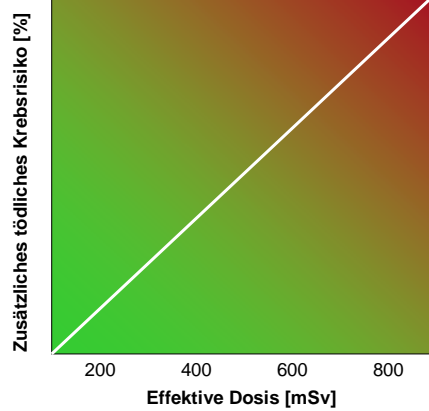
Wahrscheinlichkeit für das Auftreten des Schadens abhängig von der Dosis

Kein Schwellwert

Dosisrate spielt i. allg. keine Rolle

Beispiele:  
Krebs, Leukämie, Erbschäden

Krebsrisiko in Deutschland: mit Todesfolge 20-25 %



Die effektive Dosis ist ein Maß für die Krebswahrscheinlichkeit