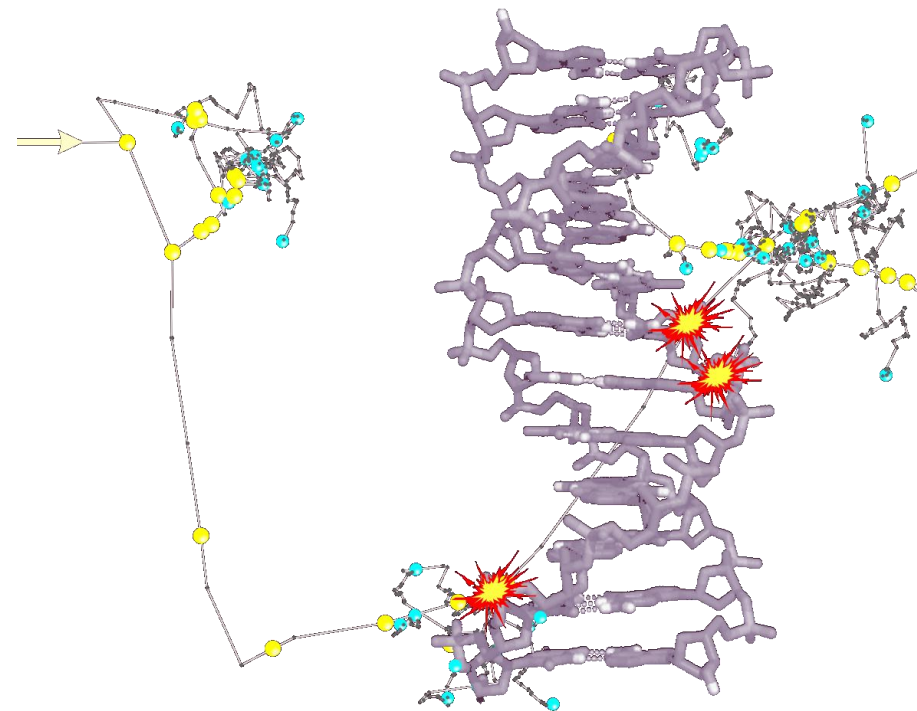


Anwendungen aktiver Messverfahren in der Mikro- und Nanodosimetrie

Peter Beck

AIT Austrian Institute of Technology, Vienna

19. Juni 2012, ÖVS Frühjahrstagung, Wien.

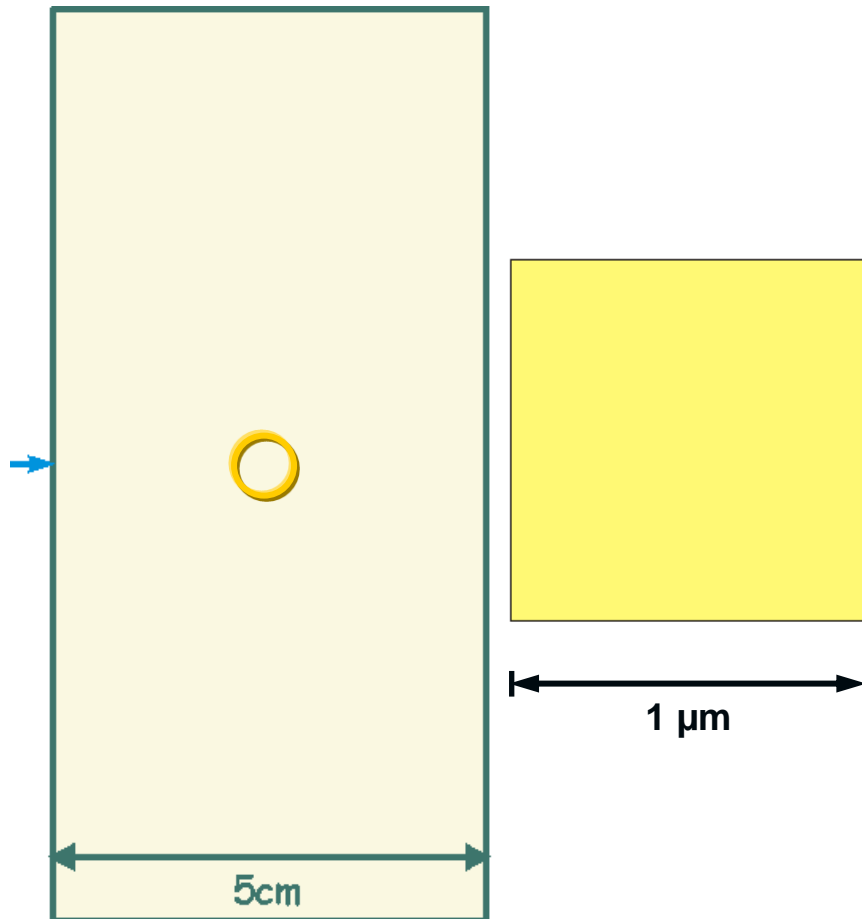


Inhalt

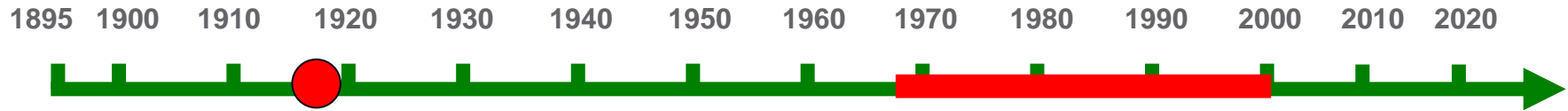
- Mikrodosimetrie und Prof. Harald Rossi
- Anwendungen: Flugdosimetrie – Weltraum – Medizin
- Aktuelle Entwicklungen in der „Nanodosimetrie“
- Zusammenfassung

Vergleich Standard-Dosimetrie und Mikrodosimetrie

10 MeV Elektronen in Wasser

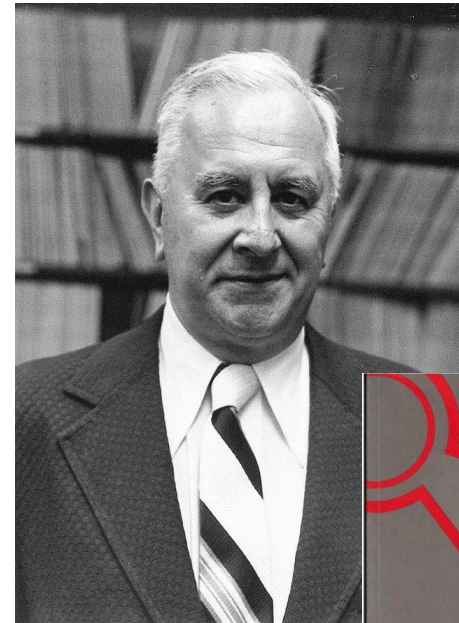


- Ionisierende Strahlung wird in **diskreten Paketen** deponiert
- Pakete sind **nicht einheitlich** im gesamten bestrahlten Volumen verteilt
- Nicht nur die mittlere Energie (**Energiedosis, D**) ist wichtig, sondern:
 - deponierte **Energie**
 - **Anzahl** der deponierten Energie
 - **räumlichen Verteilung** (Dichte)
- All diese beeinflusst **biologische** und anderen Strukturen
- => **RBE** (relative biologische Effektivität)

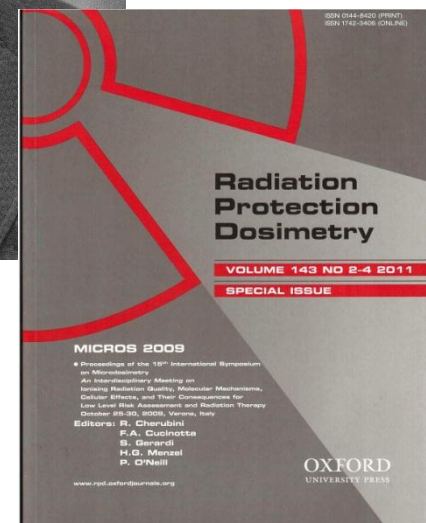


Harald Rossi (1917-2000): Entwickelte Mikrodosimetrie

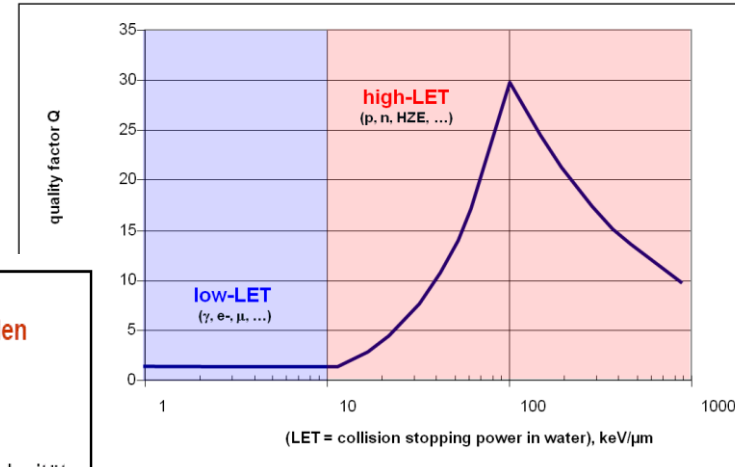
- **1917:** H. Rossi geboren in [Wien](#)
- **1939:** Emigration mit Eltern nach [England](#)
- **1942:** PhD in [USA](#)
- Arbeitet in Columbia University,
Brookhaven National Labs
- **1967 – 1998:**
Wichtige Publikationen und [ICRU Reports](#)



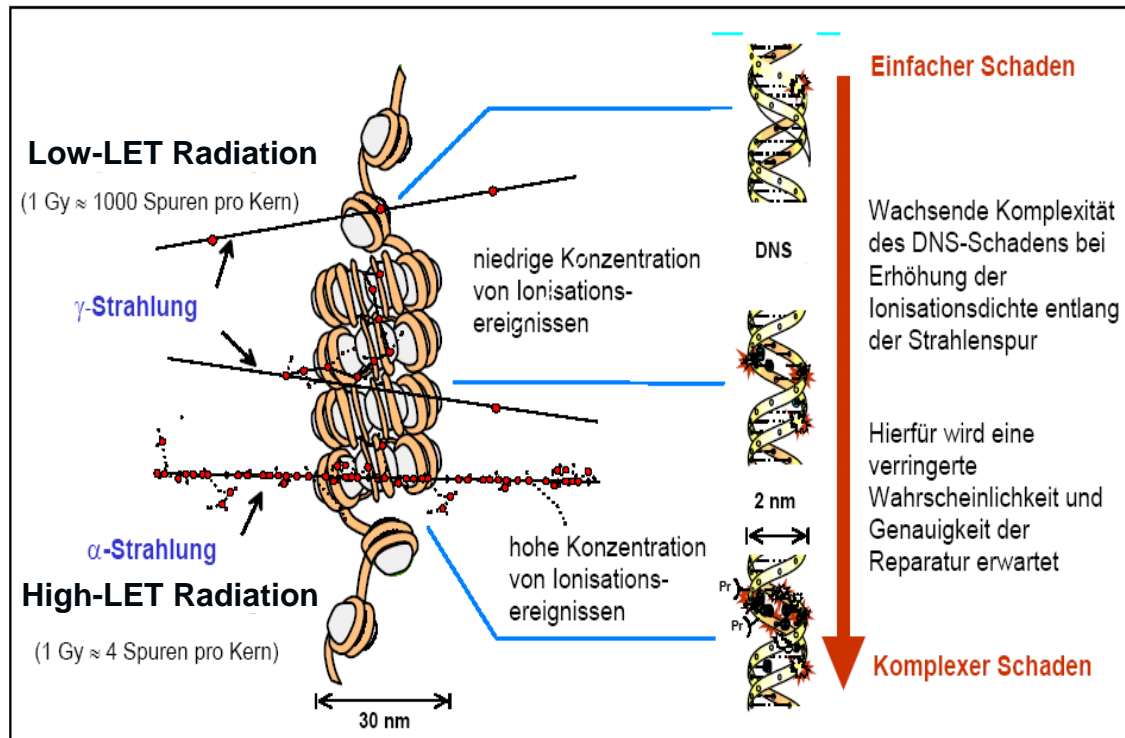
1967 – jetzt: Microdosimetry Symposium (**MICROS**)



Low-LET und High-LET Strahlung



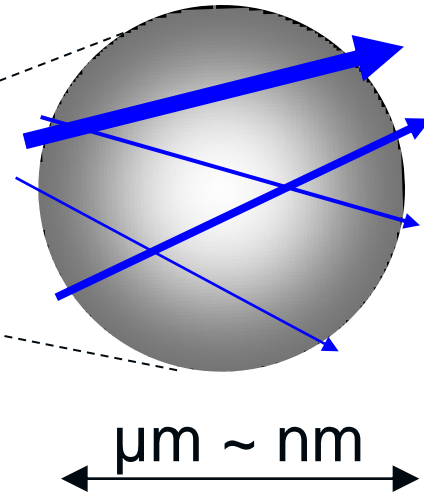
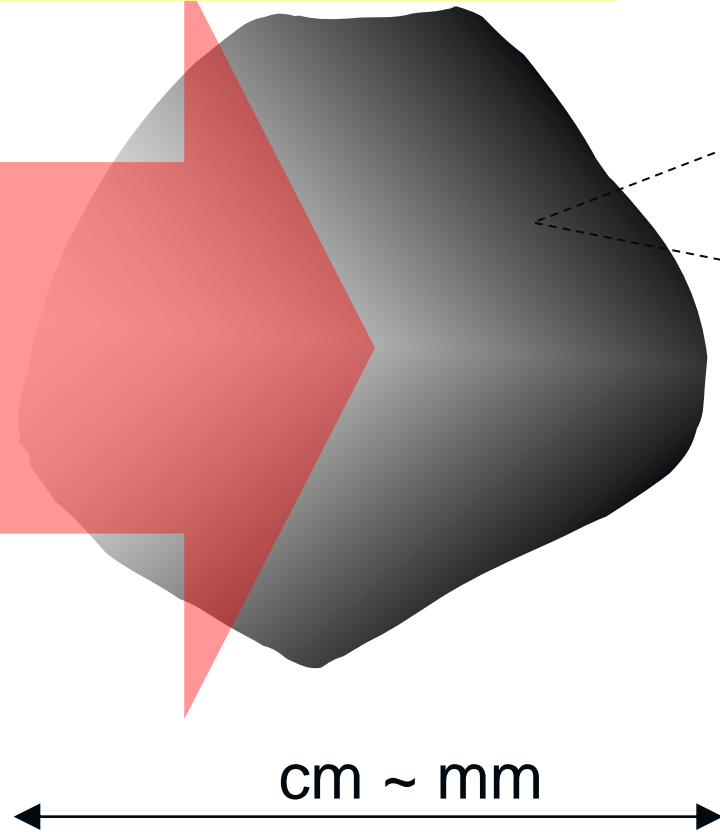
Ref: ICRP 60, ICRP 103



Vergleich Standard-Dosimetrie und Mikrodosimetrie

Nicht-Stochastische Größen

Energiedosis: $[D] = \text{Gy} = \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$



Stochastische Größen

energy deposit by an event $[\epsilon_i] = \text{J}, \text{keV}$

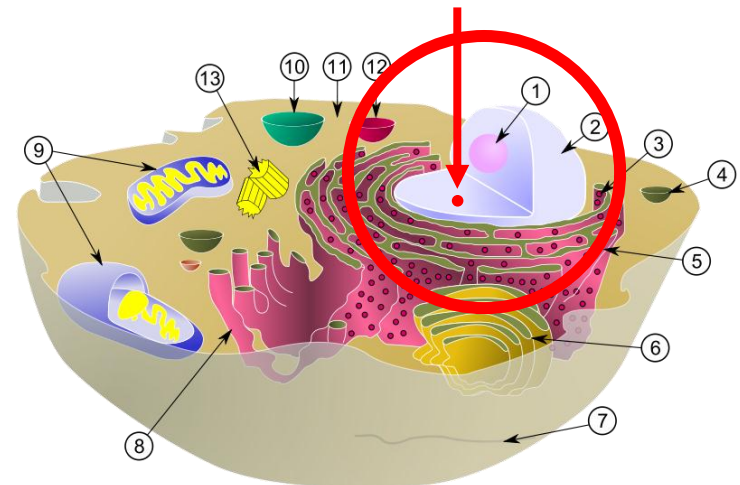
energy imparted: $[\epsilon] = \text{J}, \text{keV}$

specific energy: $[z] = \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} (\text{Gy})$

lineal energy: $[y] = \text{keV} \cdot \mu\text{m}^{-1}$

Sensitives Volumen („Site Size“) in der Mikrodosimetrie

- Wie groß ist das sensitive Volumen?
- **H. Rossi:** *“The dimensions of the volume of interest are those of the regions in the irradiated material where the concentration of absorbed energy determines the probability of a given effect.”*
- **Given effect:** “Zellschädigung durch Wechselwirkung mit dem „Zellkern“
=> Sensitives Volumen: $\sim \mu\text{m}$
- **Given effect:** “DNA Schaden durch Wechselwirkung mit DNA (SSB, DSB, ...)”
=> Sensitives Volumen: $\sim \text{nm}$

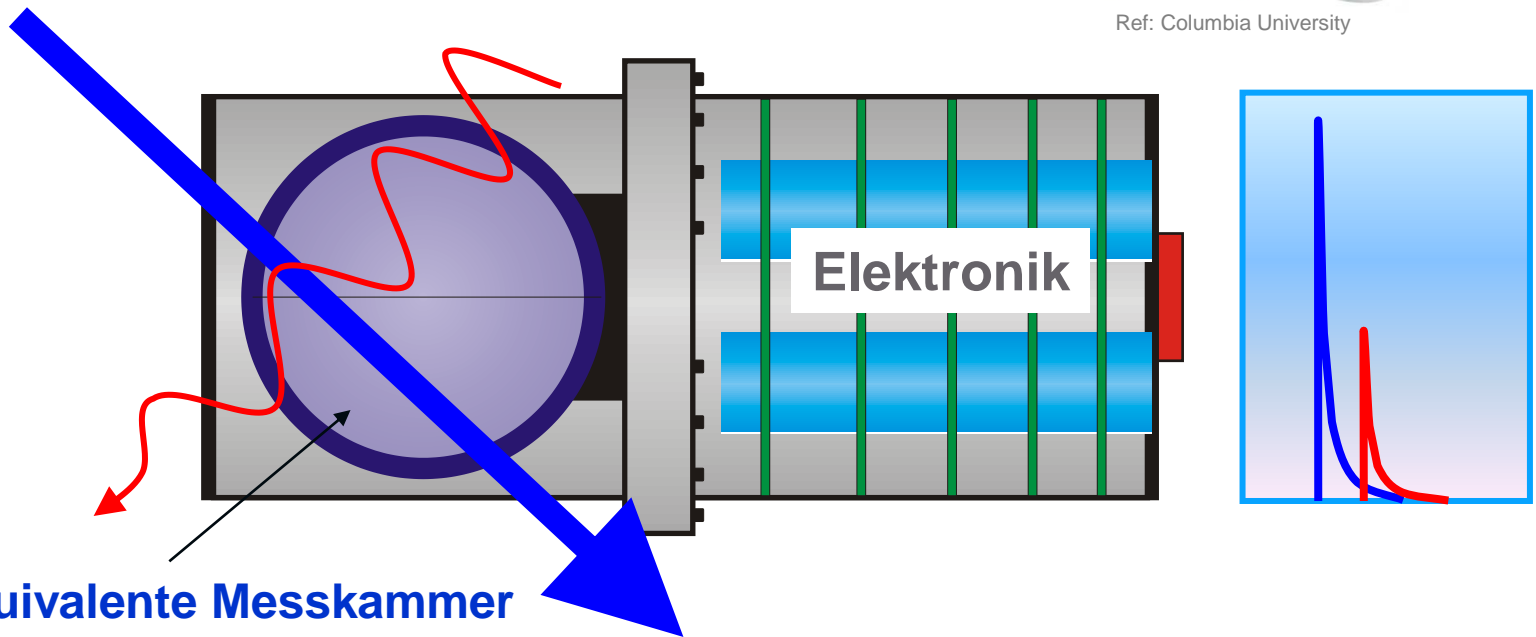


Aktives Messgerät für Mikrodosimetrie

TEPC - Tissue Equivalent Proportional Counter



Ref: Columbia University



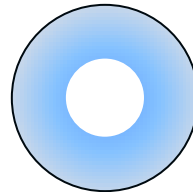
Gewebeäquivalente Messkammer
„Simulated site size 1 μm “

“Simulated” Site Size?

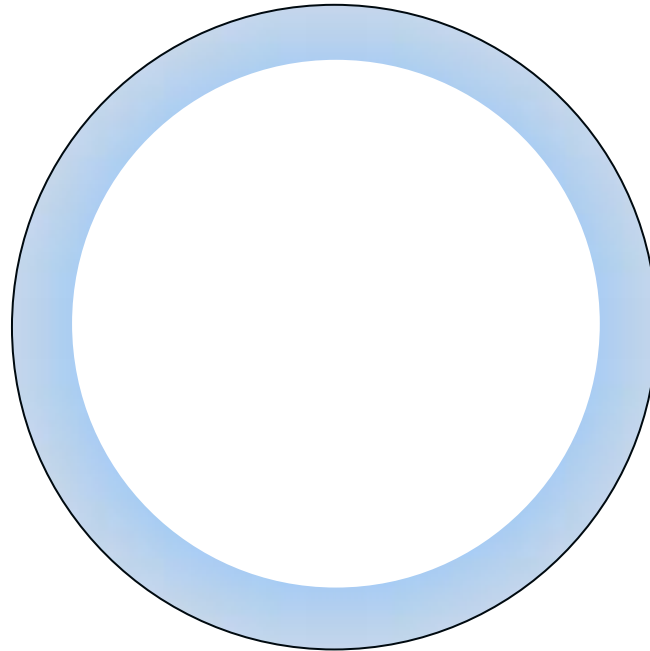
mikroskopisches Volume (d ~1 μ m)



“Simulated” Site Size



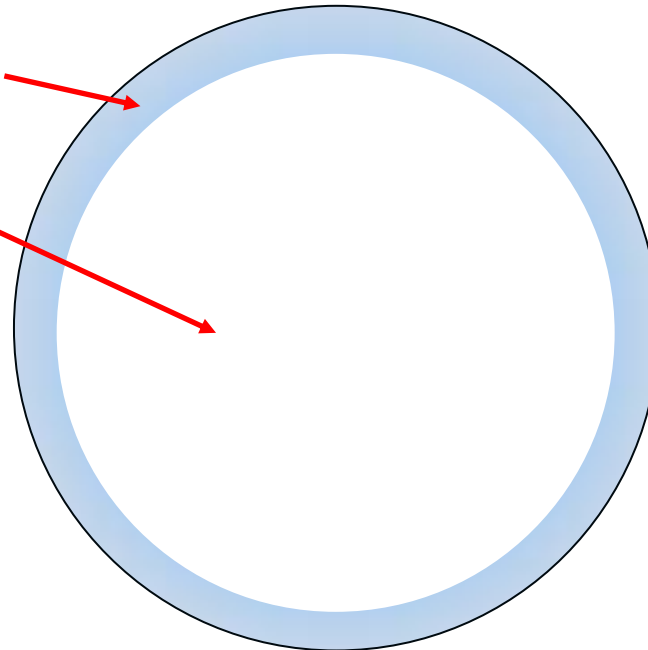
“Simulated” Site Size



“Simulated” Site Size

- Produkt aus Wand- und Gas-
Durchmesser
mit **Dichte ist gleich!**

- **Gleiche** Massen
von Gas und Wand
wie **Gewebe**



← makroskopisches Volume ($d \sim \text{cm}$)

Gewebezusammensetzung für Kammerwand und Zählergas

TABLE C.1—*Elemental composition of muscle-equivalent compounds and mixtures in percentage by weight*

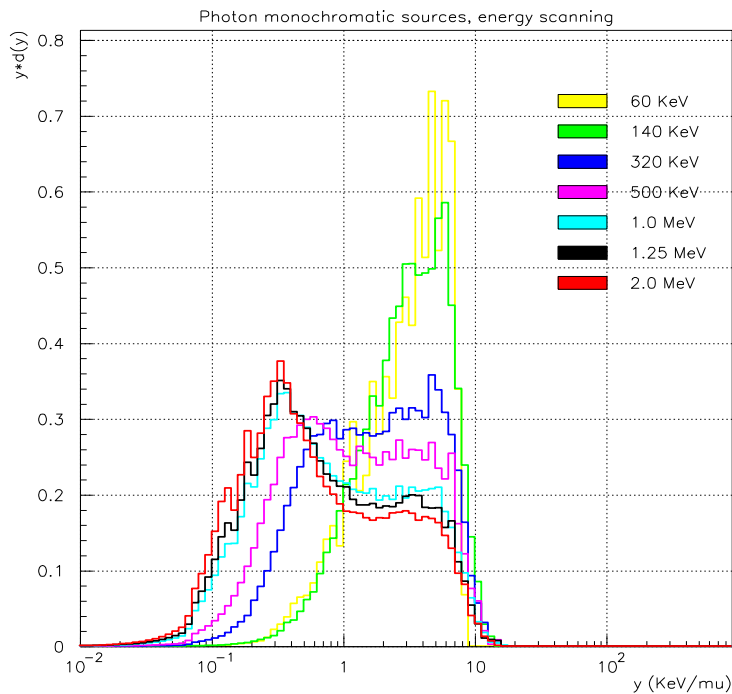
| No. | Name | H | C | N | O | F | Na | Mg | Si | P | S | K | Ca |
|-----|---|------|------|-----|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-------|
| 1 | ICRU tissue, muscle (ICRU, 1964) | 10.2 | 12.3 | 3.5 | 72.9 | — | 0.08 | 0.02 | — | 0.2 | 0.5 | 0.3 | 0.007 |
| 2 | Muscle-equivalent plastic A 150 (Smathers <i>et al.</i> , 1977) | 10.1 | 77.6 | 3.5 | 5.2 | 1.7 | — | — | — | — | — | — | 1.8 |
| 3 | Muscle-equivalent gas, with methane (Rossi and Failla, 1956) | 10.2 | 45.6 | 3.5 | 40.7 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 4 | Muscle-equivalent gas, with propane (Srdoc, 1970) | 10.3 | 56.9 | 3.5 | 29.3 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 5 | Air-equivalent plastic C-552 (Spokas, 1975) | 2.5 | 50.2 | — | 0.4 | 46.5 | — | — | 0.4 | — | — | — | — |

TABLE C.2—*Conversion factors for muscle-equivalent gases*

| Parameter | Muscle-equivalent gas with methane (Table C.1) | Muscle-equivalent gas with propane (Table C.1) |
|--|--|--|
| Density, ρ , at 20°C and 100 kPa (750.1 torr) | 1.050 | 1.798 |
| $\rho / \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ | | |
| Thickness ρd at 20°C and 1 kPa (7.501 torr) | 10.50 | 17.98 |
| $\rho d / \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot \text{cm} \right)$ | | |
| 1 μm of muscle ($\rho = 1 \text{ g/cm}^3$) is simulated by a distance of 1 cm in muscle equivalent gas of 20°C and a pressure p | 9.524 kPa (71.44 torr) | 5.562 kPa (41.72 torr) |

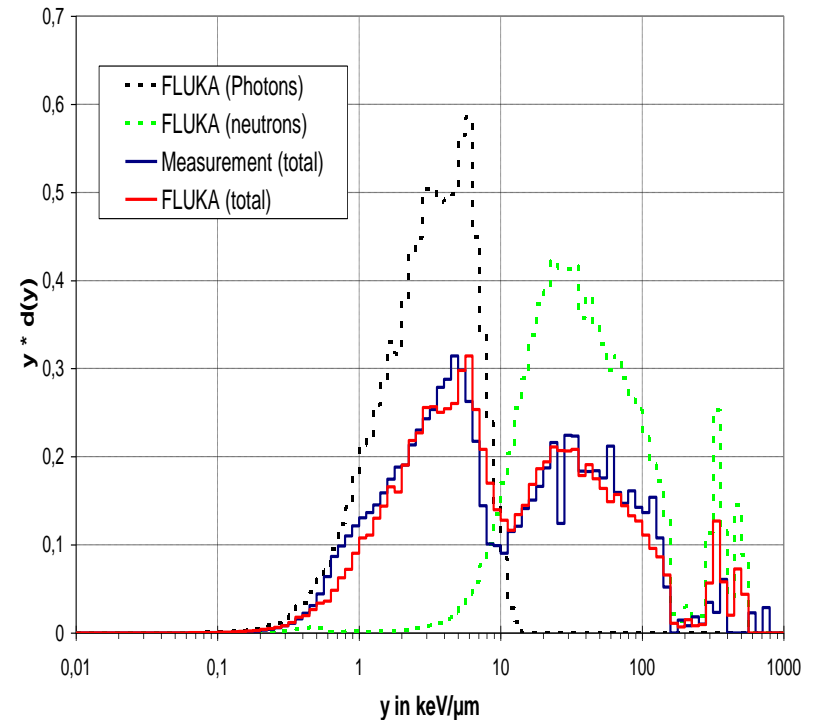
Verteilung der linearen Energiedichte, y in $1\mu\text{m}$ Gewebe aufgrund von Photonen- und Neutronenexposition

Photonen: 60keV - 2 MeV



Ref: Rollet, S., Beck, P., Ferrari, A., Pelliccioni, M. and Autischer, M., Dosimetric considerations on TEPC FLUKA-Simulation and Measurements. Radiat. Prot. Dosim. 110(1-4), 833-838 (2004).

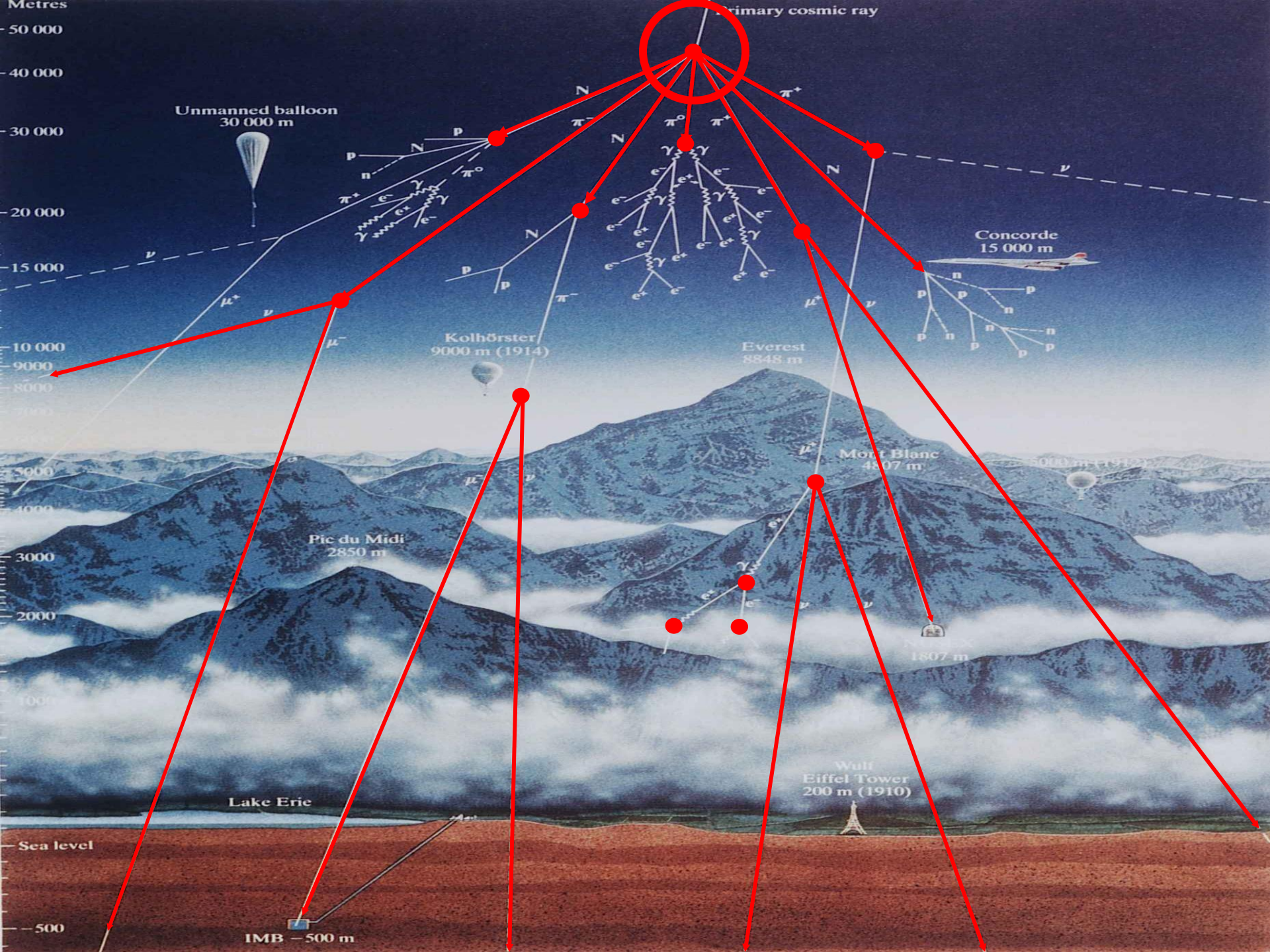
Neutronen: $^{241}\text{AmBe}$



Ref: Rollet, S., Beck, P., Ferrari, A., Pelliccioni, M. and Autischer, M., Dosimetric considerations on TEPC FLUKA-Simulation and Measurements. Radiat. Prot. Dosim. 110(1-4), 833-838 (2004).

Anwendung

1. Referenzdosimeter der kosmischen Strahlung in Flughöhen



Primary cosmic ray

Unmanned balloon
30 000 m

Concorde
15 000 m

Kolhörster
9000 m (1914)

Everest
8848 m

Mont Blanc
4807 m

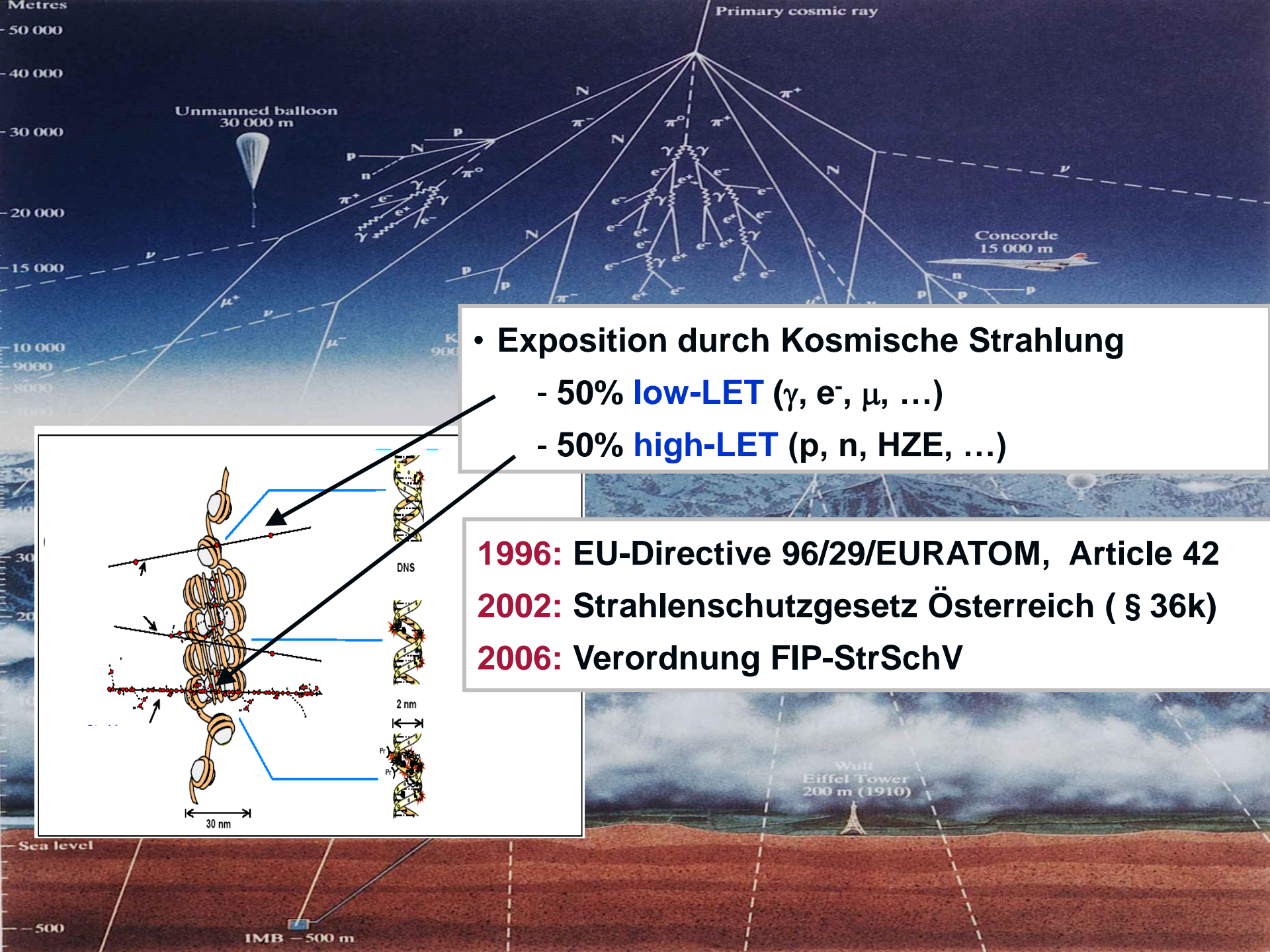
Pic du Midi
2850 m

Wulf
Eifel Tower
200 m (1910)

Lake Erie

Sea level

IMB - 500 m



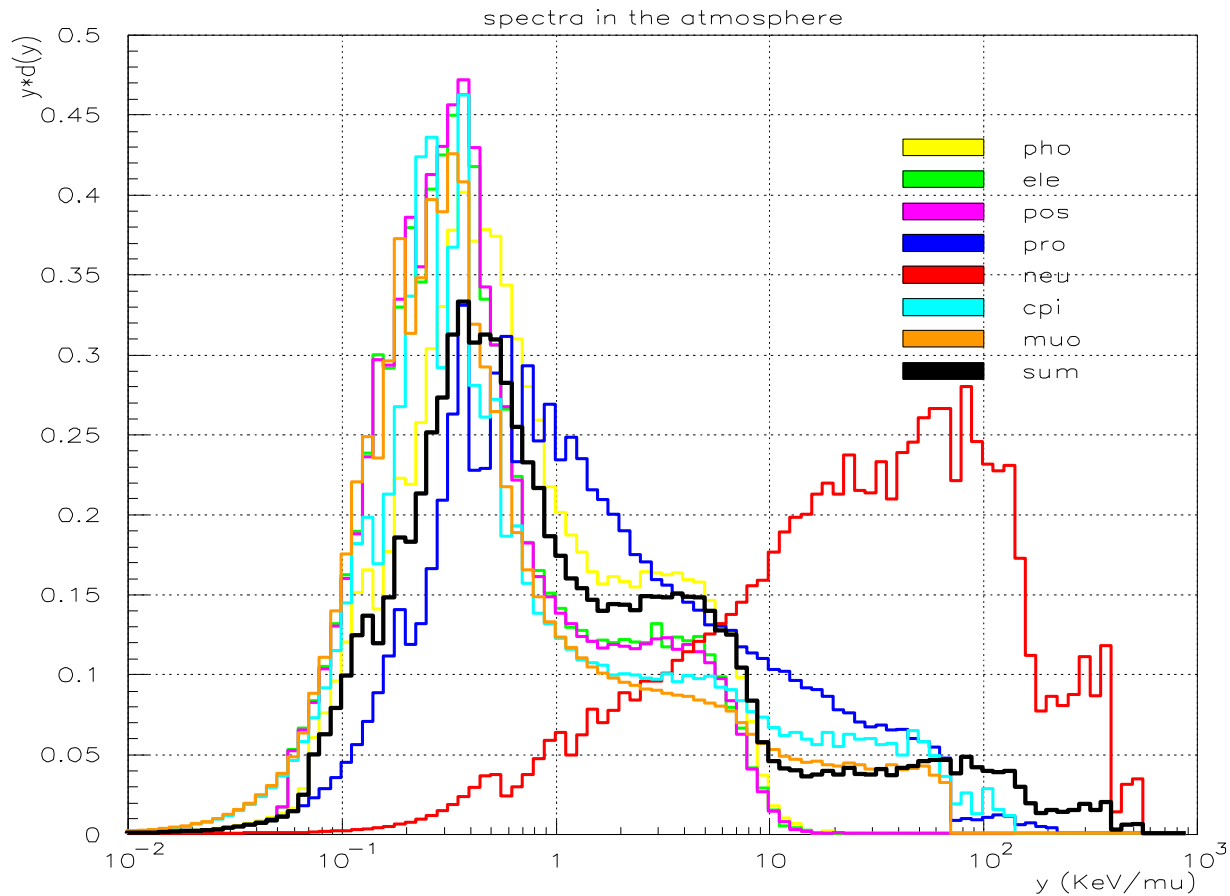
- Exposition durch Kosmische Strahlung
 - 50% **low-LET** (γ , e^- , μ , ...)
 - 50% **high-LET** (p, n, HZE, ...)

1996: EU-Directive 96/29/EURATOM, Article 42
2002: Strahlenschutzgesetz Österreich (§ 36k)
2006: Verordnung FIP-StrSchV

TEPC Referenzdosimeter für Messungen im Flugzeug

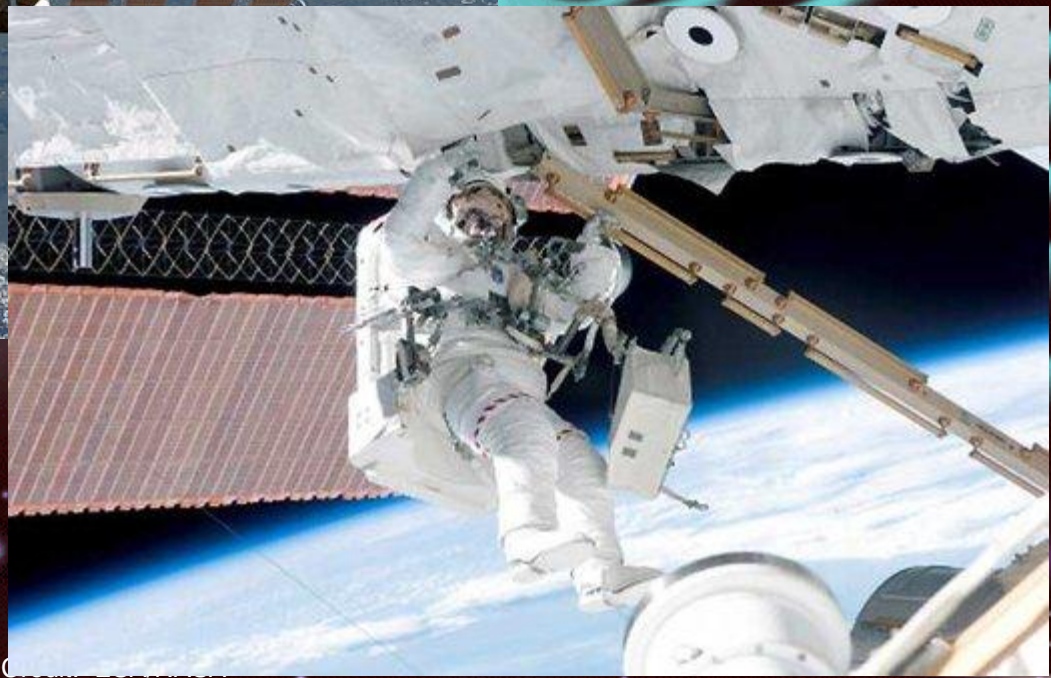
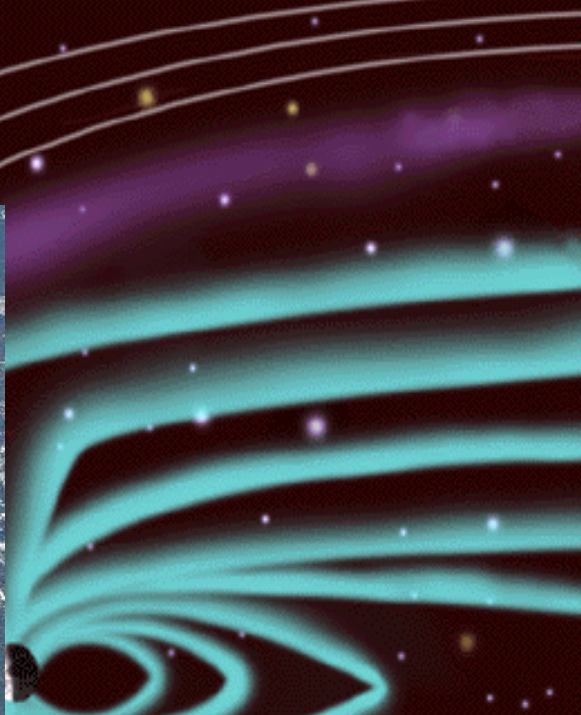
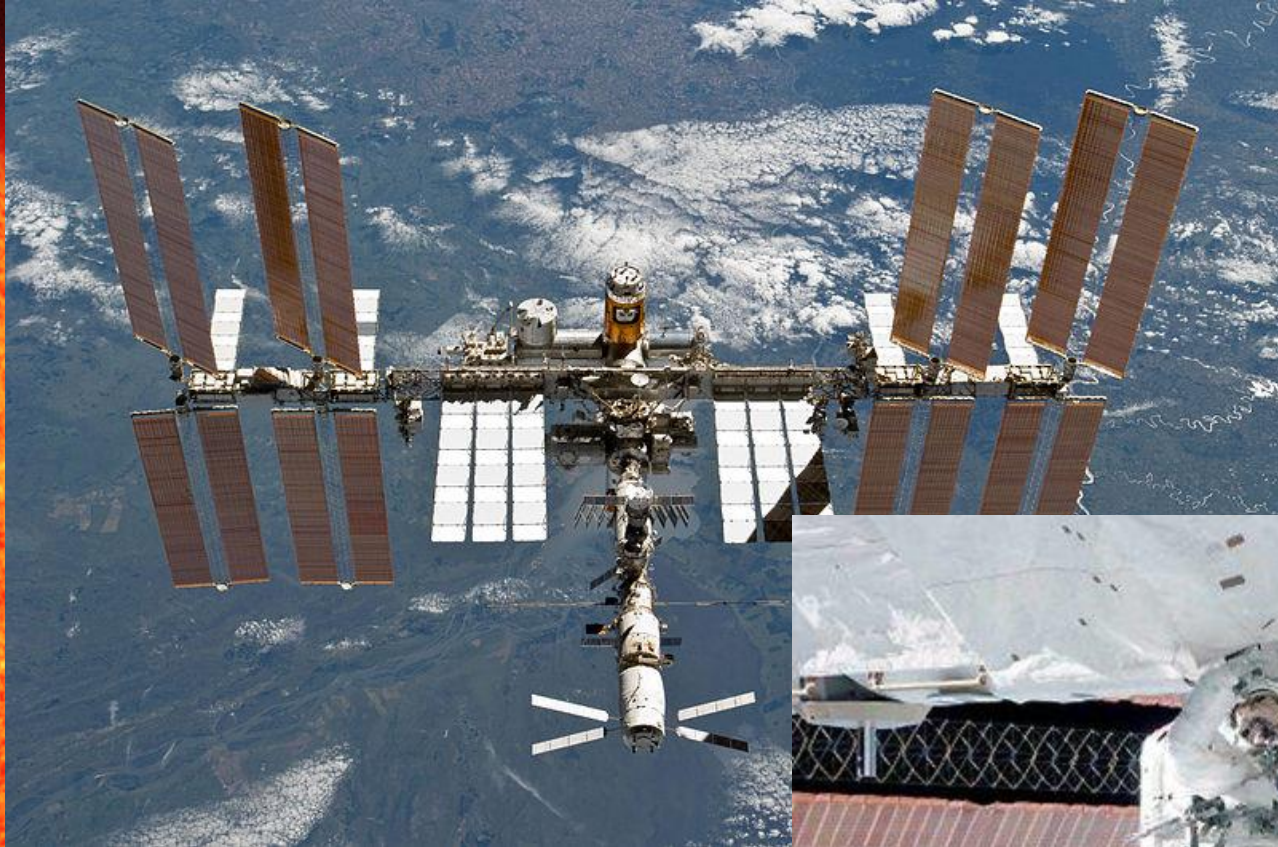


Verteilung der linearen Energiedichte, y in 1 μm Gewebe durch kosmische Strahlung in 10km Flughöhe

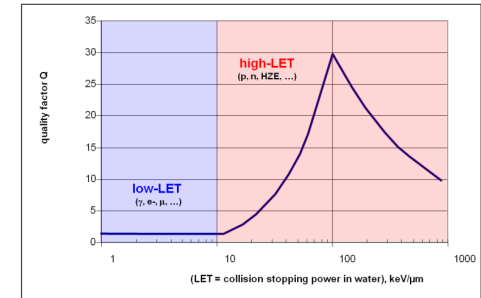


Anwendung

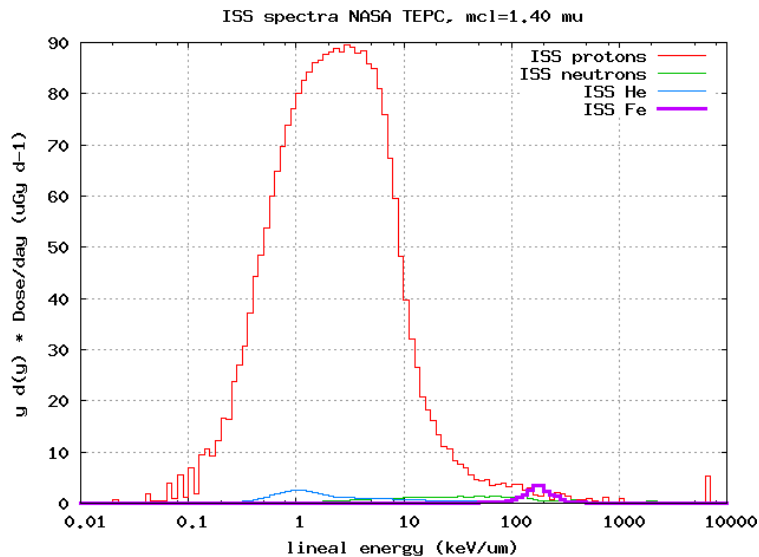
2. Referenzdosimetrie im Weltraum



Verteilung lineare Energiedichte, y in 1 μm Gewebe durch kosmische Strahlung auf der Internationalen Raumstation (ISS) für Energiedosis, D und Äquivalentdosis, H

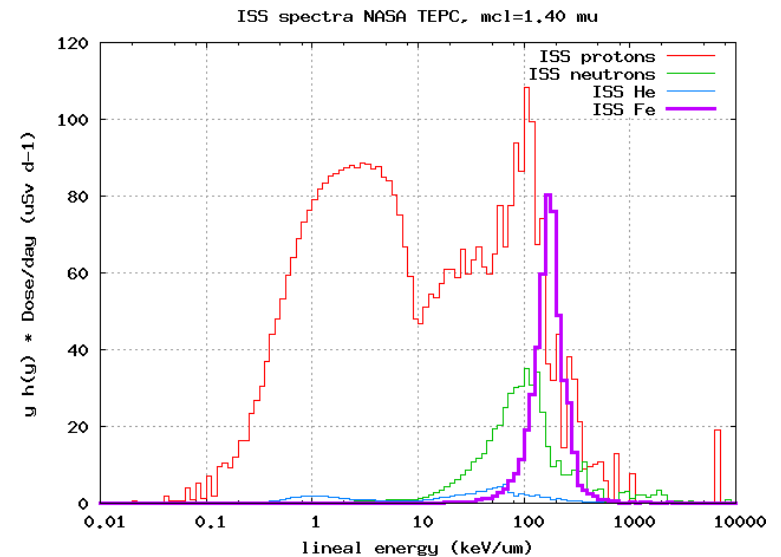


Energiedosis, D



FLUKA Simulation

Äquivalentdosis, H

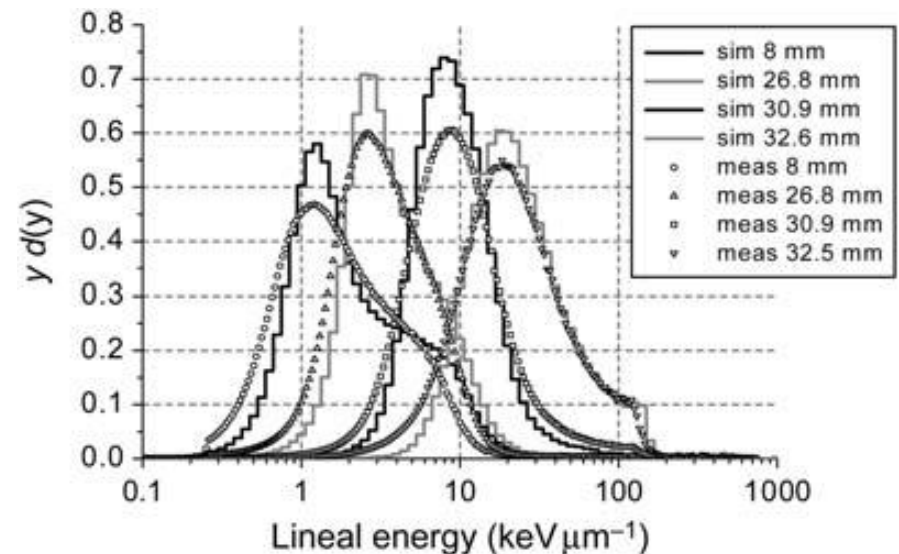


Anwendung

3. Medizin

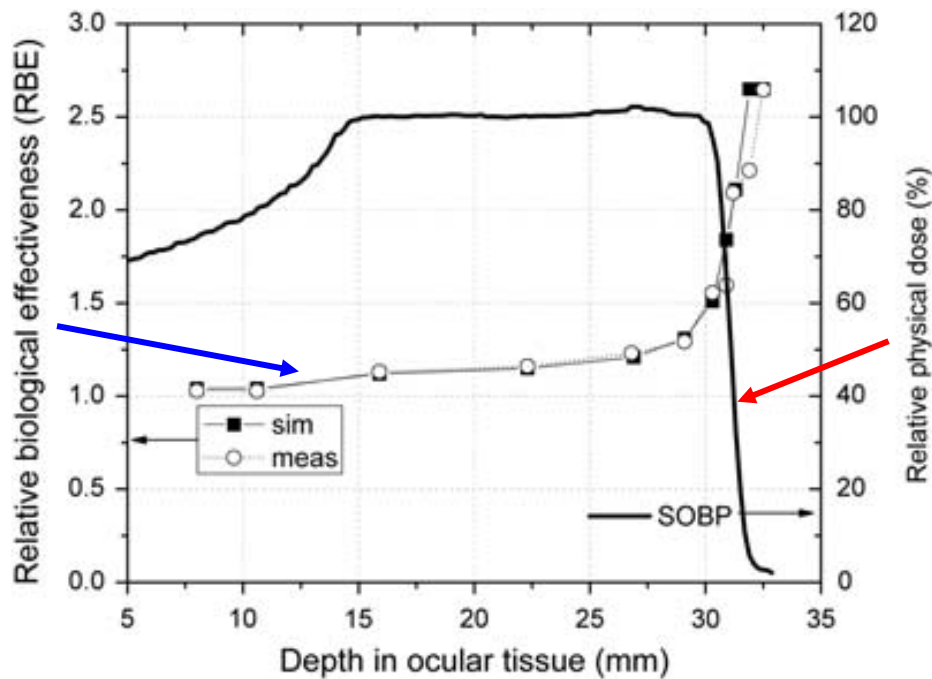
Untersuchungen mit einem Mini-TEPC in 1 μ m Gewebe in einem Augenphantom durch Protonenbestrahlung

- Min-TEPC
- 1 μ m sensitives Volumen
- Messungen und Simulation der linearen Energiedichte, y in unterschiedlichen Tiefen des Augenphantoms
- 1 μ m sensitives Volumen



Ref: S.Rollet, P.Colautti, B.Grosswendt, J. Heralut, M. Wind, E. Gargioni, P. Beck, M. Latocha and D. Moro, MICRODOSIMETRIC ASSESSMENT OF THE RADIATION QUALITY OF A THERAPEUTIC PROTON BEAM: COMPARISON BETWEEN NUMERICAL SIMULATION AND EXPERIMENTAL MEASUREMENTS, Radiation Protection Dosimetry (2011), Vol. 143, No. 2–4, pp. 445–449 doi:10.1093/rpd/ncq483, Advance Access publication 15 December 2010.

Gemessene und simulierte relative Energiedosis und RBE für SOBP (Spread-Out Bragg Peak), 62 MeV Protonenstrahl



$$RBE = r(y) d(y) dy$$

$r(y)$... biological weighting function¹

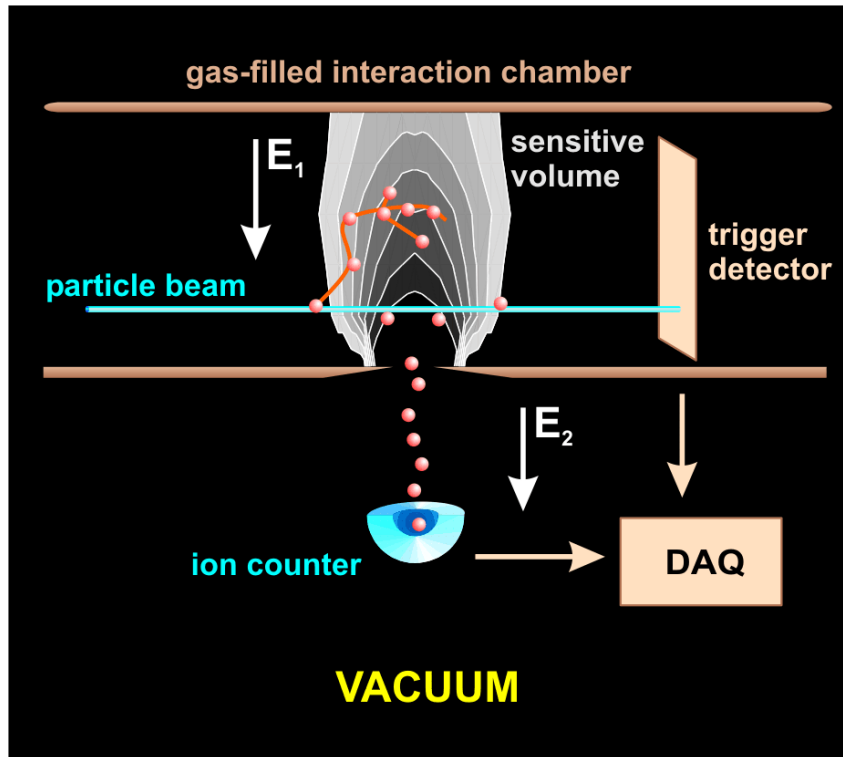
Ref: S.Rollet, P.Colautti, B.Grosswendt, J. Herault, M. Wind, E. Gargioni, P. Beck, M. Latocha and D. Moro, MICRODOSIMETRIC ASSESSMENT OF THE RADIATION QUALITY OF A THERAPEUTIC PROTON BEAM: COMPARISON BETWEEN NUMERICAL SIMULATION AND EXPERIMENTAL MEASUREMENTS, Radiation Protection Dosimetry (2011), Vol. 143, No. 2-4, pp. 445-449 doi:10.1093/rpd/ncq483, Advance Access publication 15 December 2010.

¹Ref: Pihet, P., Menzel, H. G., Schmidt, R., Beauduin, M. and Wambersie, A. Biological weighting function for RBE specification of neutron therapy beams. Intercomparison of 9 European centres. Radiat. Prot. Dosim.31(14), 437-442 (1990).

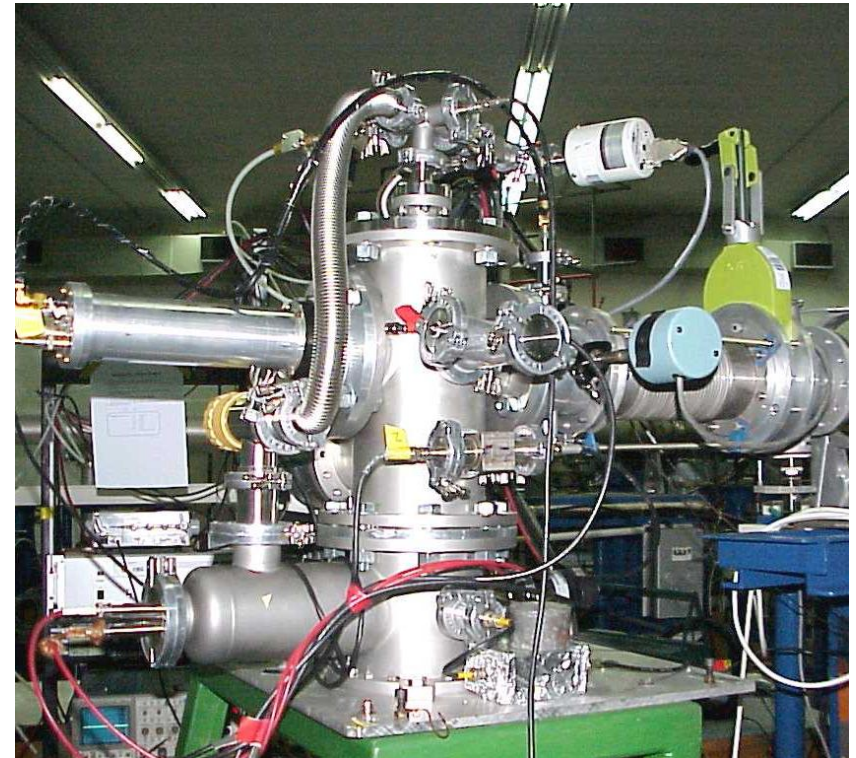
Aktuelle Entwicklungen aktiver „Nanodosimeter“ (besser: Teichenstrukturanalyse im Nanometerbereich)

Nanodosimeter mittels gasgefülltem Einzelionenzähler

Prinzip eines Nanodosimeters für Einzelionenzählung

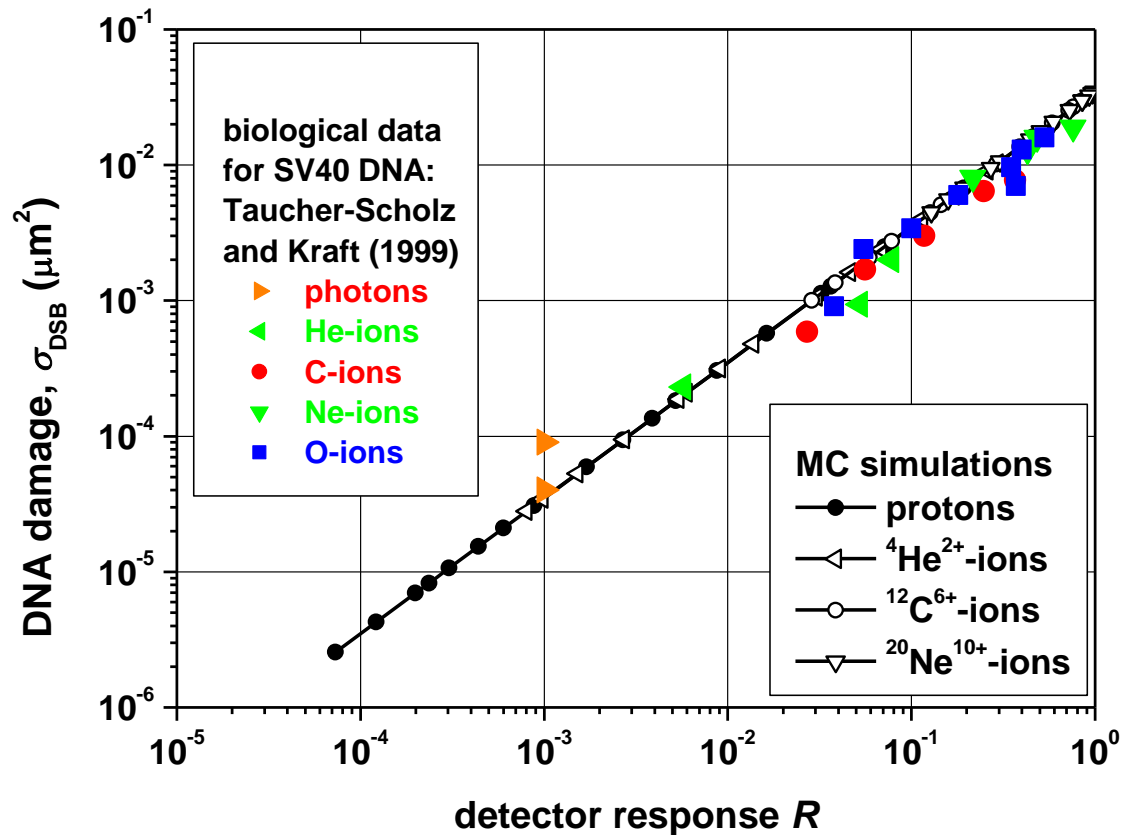


Aufbau eines Nanodosimeters (Weizmann-Institute, Rehovot/Israel, PTB, BRD)



Courtesy: Bernd Grosswendt

Vergleich Wirkungsquerschnitt Doppel-Strangbrüchen in SV40 DNA und Detektor Response von AIT Nano-Radiation-Sensor



Zusammenfassung

- Mikrodosimetrie zeigt wesentliche Vorteile der Beurteilung der absorbierten Dosis in **komplexen, gemischten Strahlungsfeldern**
- Mikrodosimetrie erfasst die Verteilung der **linearen Energiedichte, y**
- Aus der Verteilung der **linearen Energiedichte, y** lässt sich die mittels **$q(L)$** die **Äquivalentdosis, H** bestimmen.
- Mikrodosimetrie wird als Referenzdosimetrie verwendet für gemischte Strahlungsfelder:
 - **Kosmische Strahlung** in Flughöhen
 - **Kosmische Strahlung** im Weltraum (Internationale Weltraumstation, ISS)
- Zukünftige Anwendungen bei:
 - Strahlenfelder durch **Beschleuniger**
 - Proton, leichte und schwere **Ionentherapie**
 - Weltraummissionen (z.B. Mars, Mond)
- Dosimetrieconzepte im **Nanometerbereich** zeigen vielversprechende zukünftige Dosimeteranwendungen

**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!**

Peter Beck

peter.beck@ait.ac.at

Phone: +43-50550-4305

