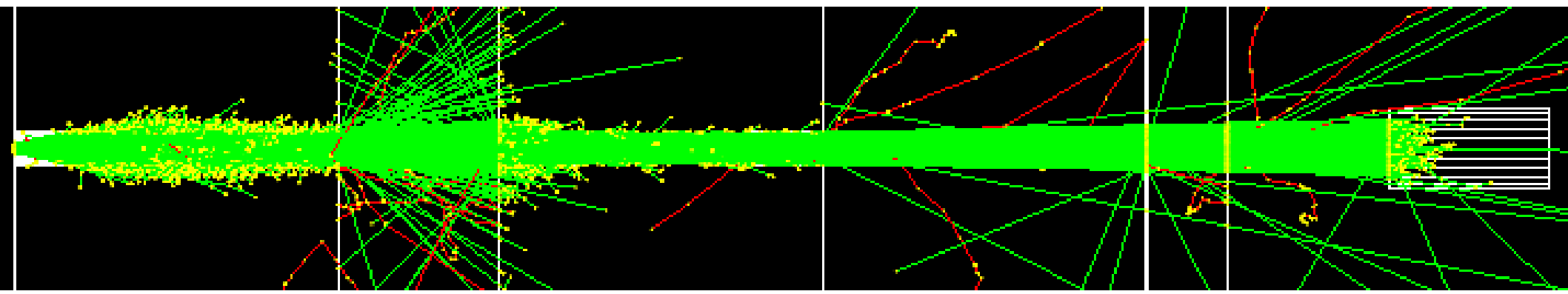


Monte Carlo in der Strahlungsdosimetrie Praktikum APBST HS17

Patrik Eschle, Physik-Dozent IAMP

Christian Sommer, wissenschaftlicher Mitarbeiter IAMP



Woche 1

- Einführung, was ist MC?
- Aufgaben: Einführung, Magnetfelder, Teilchen und Energien, Abschwächungsgesetz
- Theorie: MC, Fluenz, Kerma, Dosis, Skalierung

Woche 2

- Theorie Dosismessung, Statistik
- Aufgabe 4 Backscatter
- Theorie: Komplexe Geometrien
- Aufgabe 5 Protonentherapie

Material

- Skript mit Theorie und Beispielen
- Folien-Handouts
- Software Topas vorinstalliert auf Schulrechner

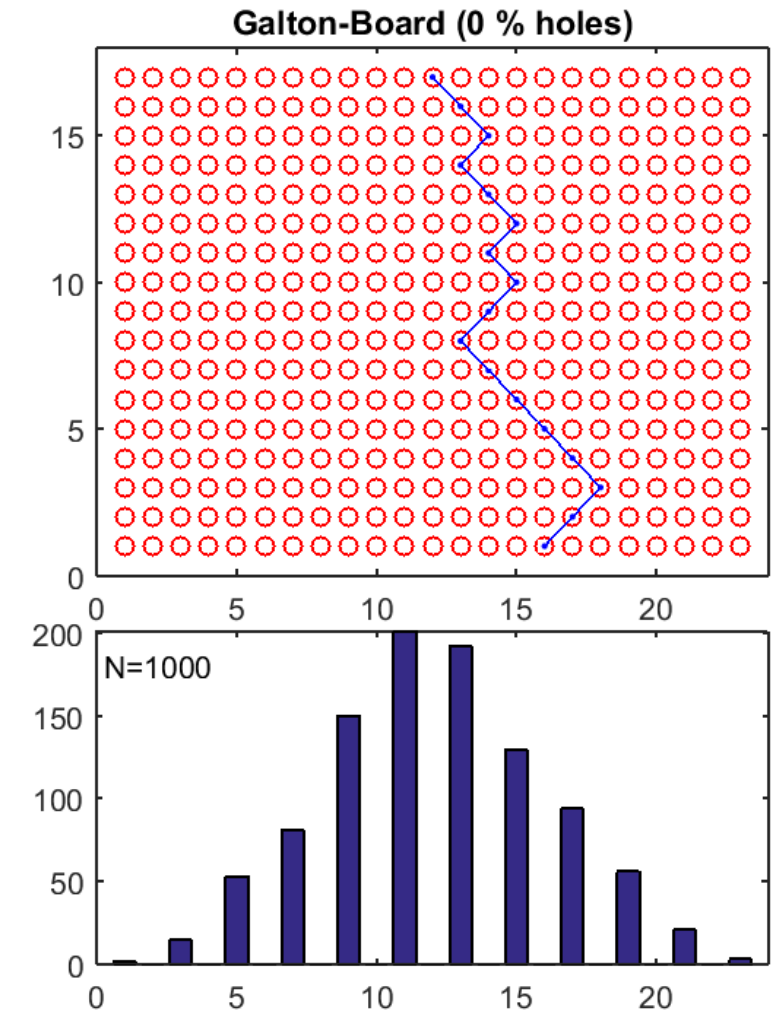
Unser Ziel

Sie können nach diesem Kurs Probleme aus der Strahlungsdosimetrie modellieren, berechnen und korrekt interpretieren

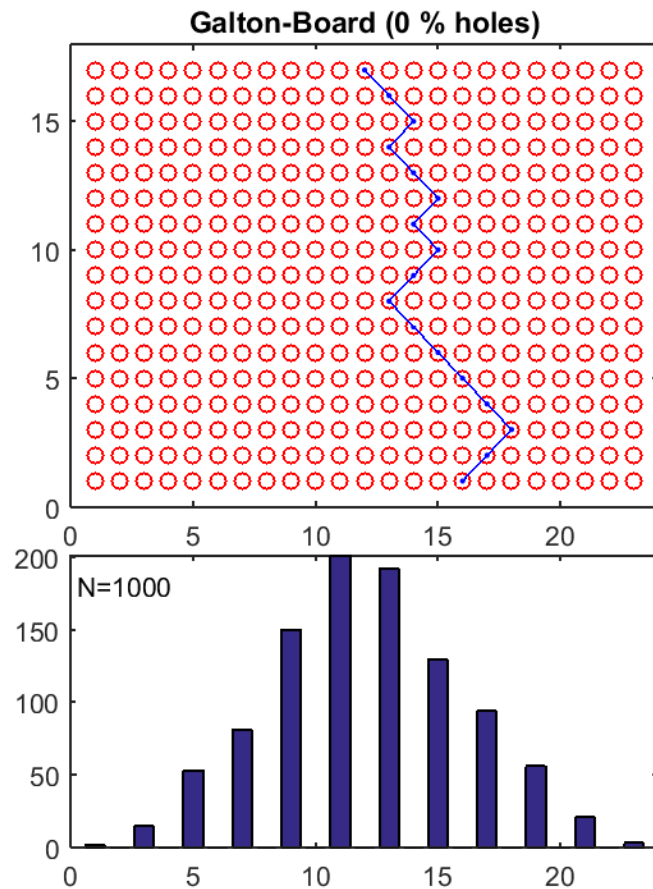
Galton Brett

Nägel in einem regelmässigen Gitter

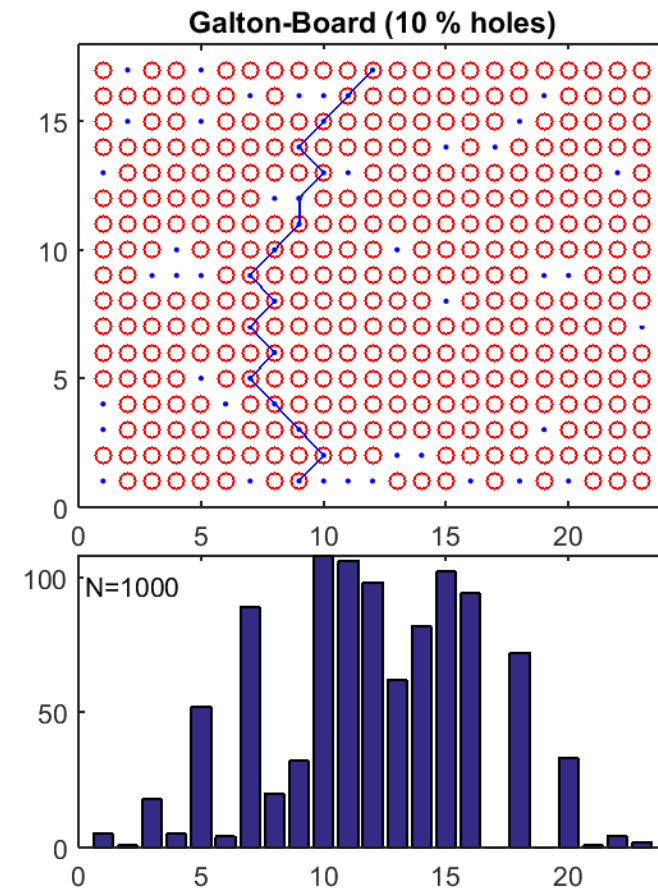
- Eine Kugel finden zufällig einen Weg
- Die Zahl der Kugeln an jedem Ausgang folgt bald einer Normalverteilung



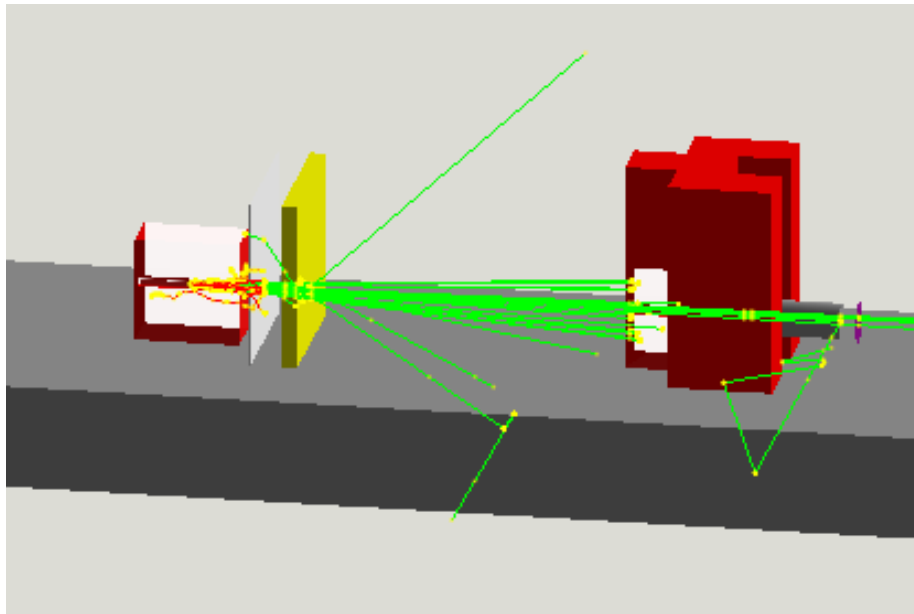
Regelmässig: Statistische Lösung



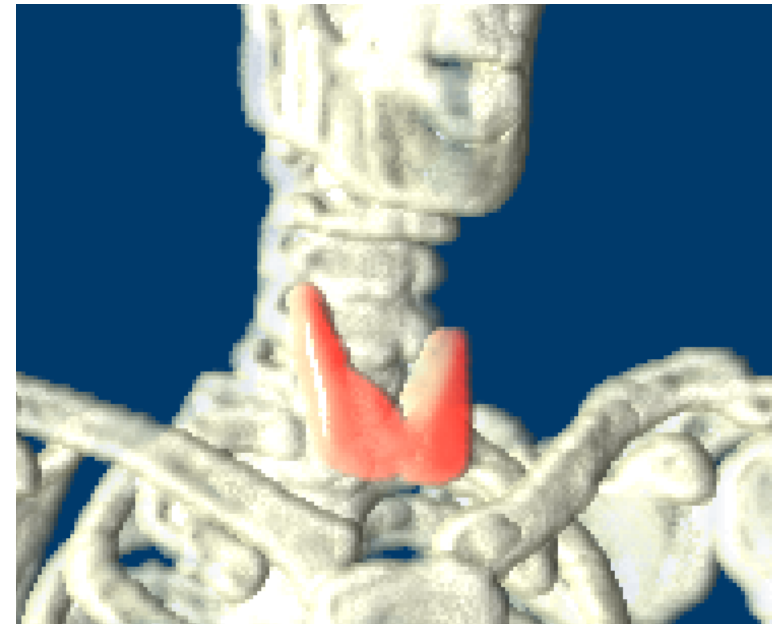
Unregelmässig: Monte Carlo



Regelmässige Geometrie:
Statistische Lösung
Abschwächung in flacher Platte



Unregelmässige Geometrie:
Monte Carlo
Alles Andere



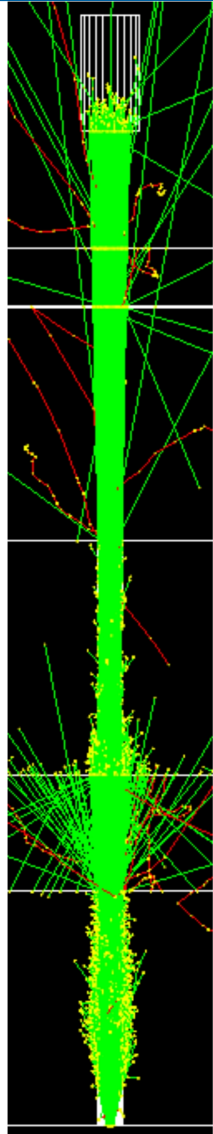
Was kann eine MC Rechnung aussagen?

MC liefert ..

.. alle physikalischen Werte wie z.B. Energieverlust und damit Dosiswerte als Schadensmass.

MC liefert keine ..

.. Aussagen zur langfristigen Auswirkung von Schäden wie z.B. Erhöhung des Krebsrisikos.



Protonen auf 3 Zeilen

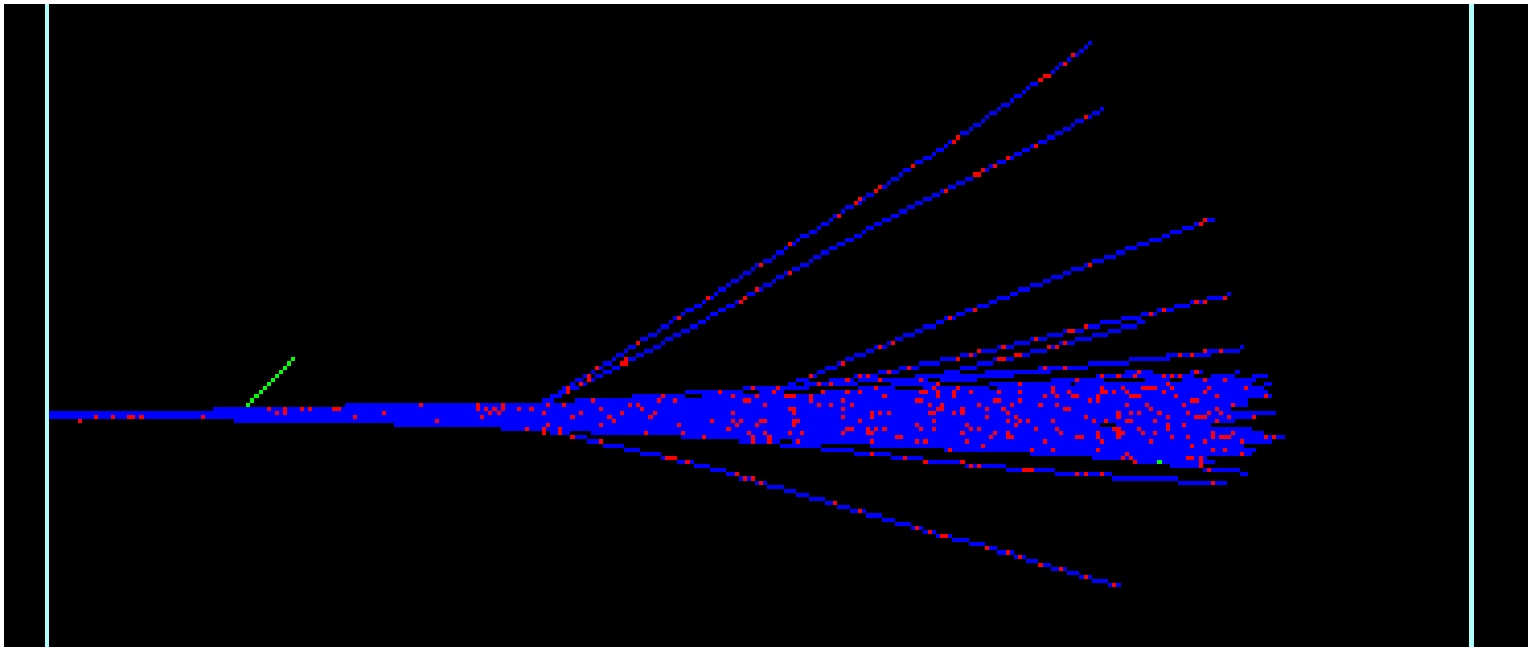
```
% mkdir aufgabe0_einfuehrung  
% cd aufgabe0_einfuehrung  
% gedit aufgabe0_einfuehrung.txt
```

```
i:So/Demo/NumberOfHistoriesInRun = 100 # Anzahl Teilchen  
s:Gr/ViewA/Type = "OpenGL" # Graphik  
b:Ts/PauseBeforeQuit = "True"  
d:So/Demo/BeamEnergy = 30 MeV
```

```
% topas aufgabe0_einfuehrung.txt
```

Das geht nur so einfach, weil wir für alle anderen Parameter wie Geometrie, Teilchenart, Energie, Flugrichtung etc. die Voreinstellungen übernehmen


```
% topas aufabge0_einfuehrung.txt
```



Die Syntax von Topas (1)

```
i:So/Demo/NumberOfHistoriesInRun = 100 # Anzahl Teilchen  
s:Gr/ViewA/Type = "OpenGL" # Graphik  
b:Ts/PauseBeforeQuit = "True"  
d:So/Demo/BeamEnergy = 30 MeV
```

Wert mit Einheit (wenn nötig)

Name, hierarchisch, getrennt durch „/“

Typ: integer, string, boolean, double, ...

Topas

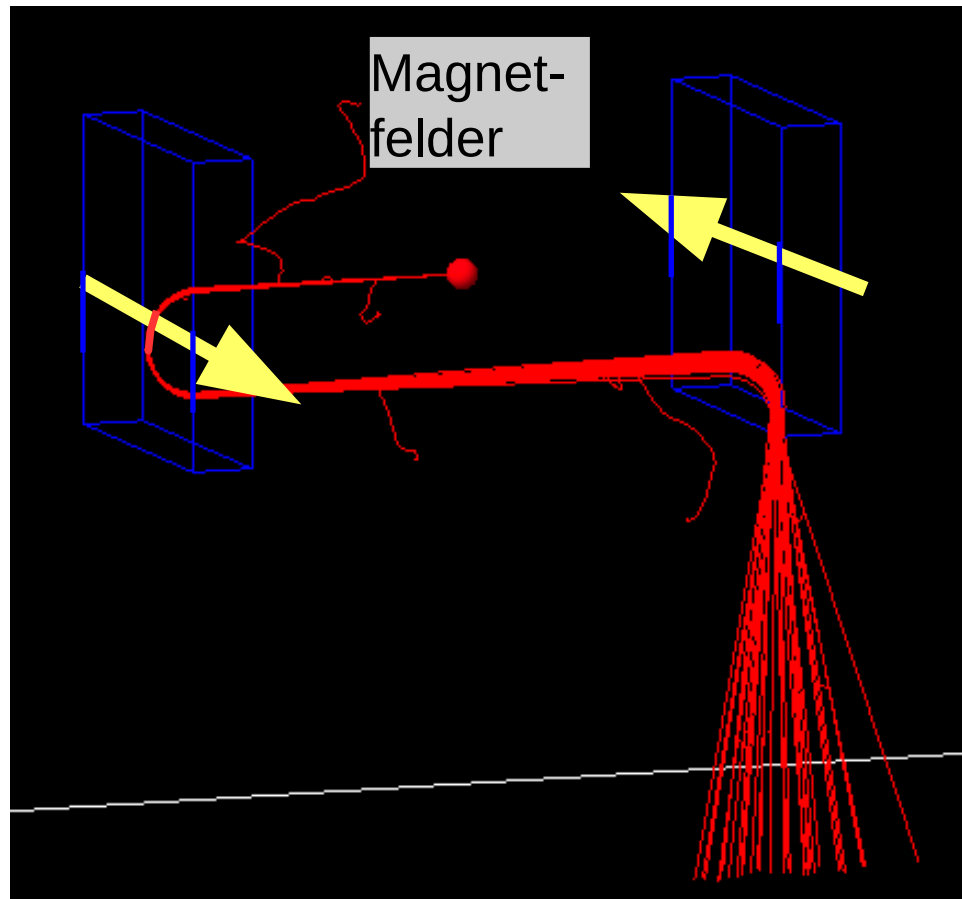
- Beschreibt Experiment in Textfile.
- Einfache Syntax, schnelle Entwicklung und einfaches „Gegenlesen“ durch Kollegen
- Bewährter Transportmechanismus Geant4
- Läuft parallel auf Multiprozessor-Rechnern

Beispiel:
Wasserwürfel 1x1x2 cm³

```
s:Ge/Target/Type      = "TsBox"  
s:Ge/Target/Parent    = "World"  
d:Ge/Target/HLX       = 5 mm  
d:Ge/Target/HLY       = 5 mm  
d:Ge/Target/HLZ       = 1 cm  
s:Ge/Target/Material  = "G4_WATER"
```

Beispiel: Magnetfelder

```
% cd aufgabe1_magnet  
% topas aufgabe1_magnet.txt
```



Teilchentransport

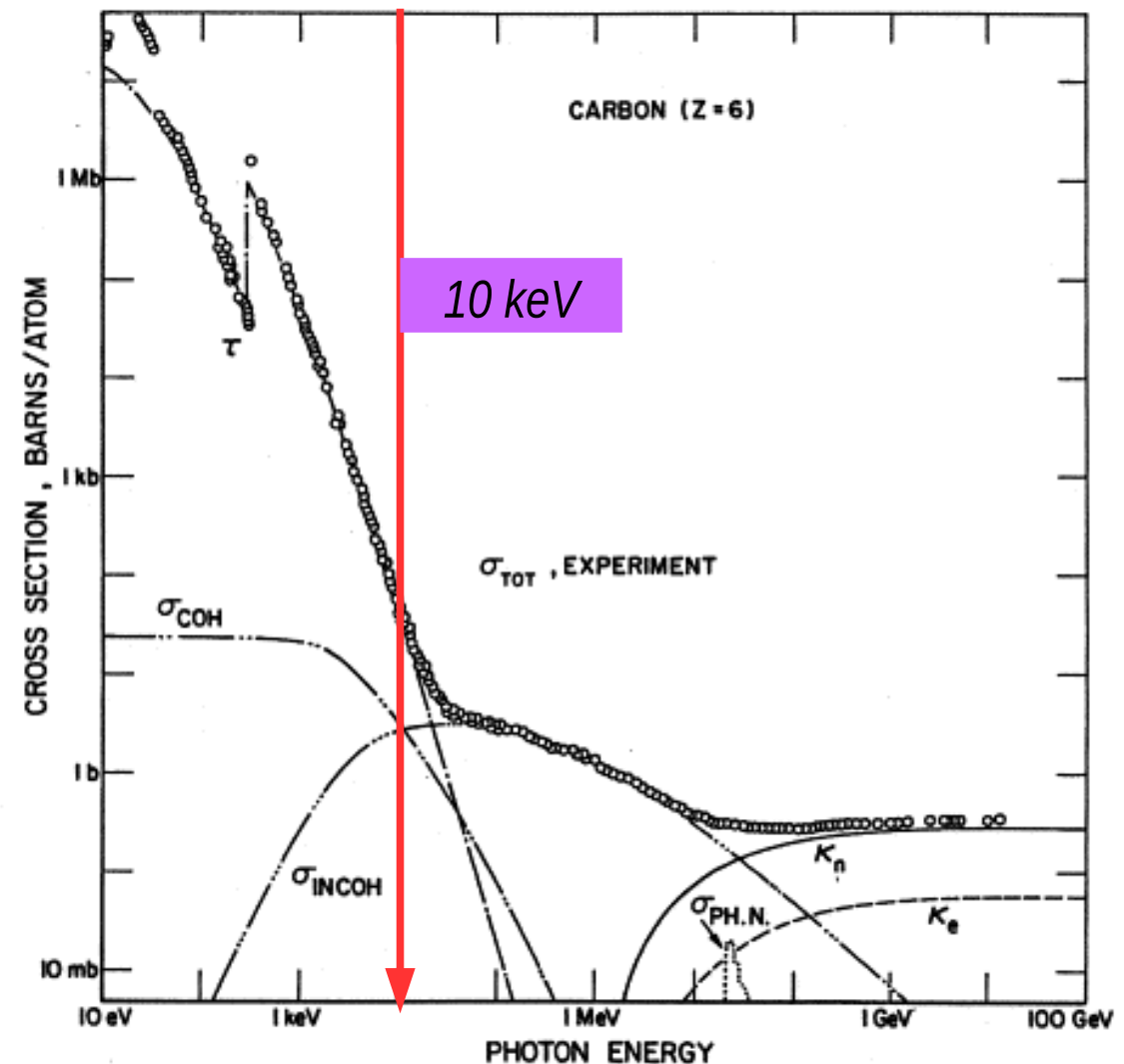
- Strahlung und Materie wechselwirken zufällig
- Man kennt die Verteilung, aber nicht das konkrete Ergebnis
- Bei jeder Wechselwirkung wird gewürfelt



Beispiel: Photon trifft Atom (1)

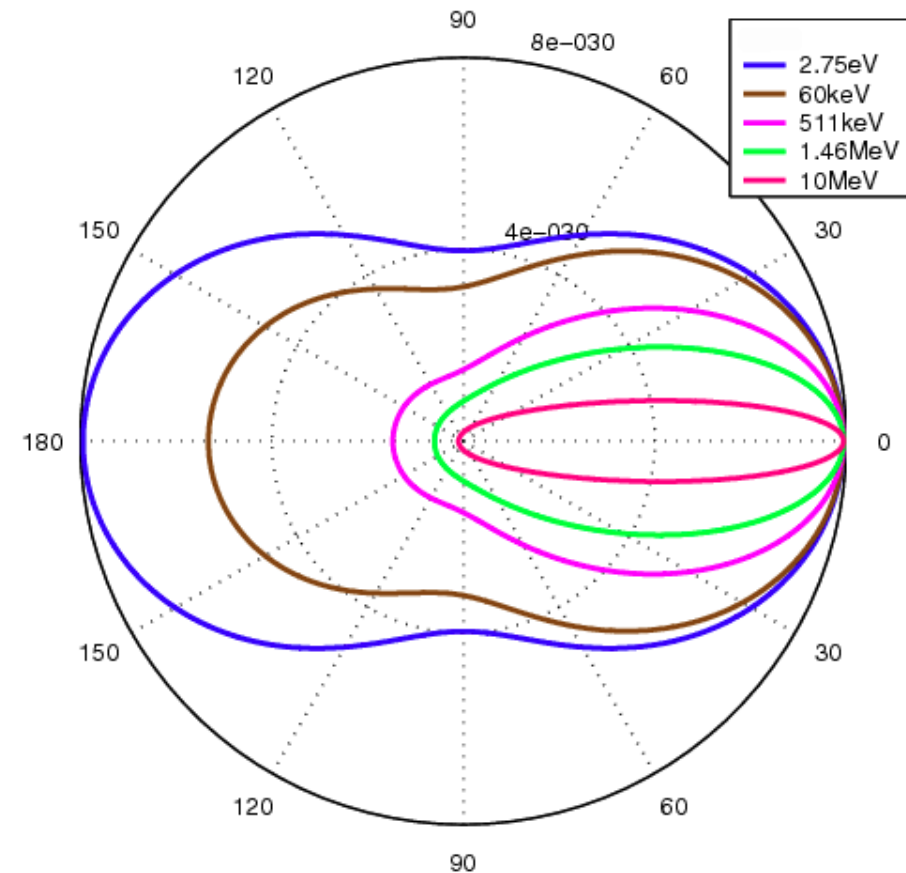
10 keV Photon trifft auf Materie. Was passiert?

- Atom getroffen? (Weglänge, Dichte)
- Welche Wechselwirkung?



Welche Parameter?

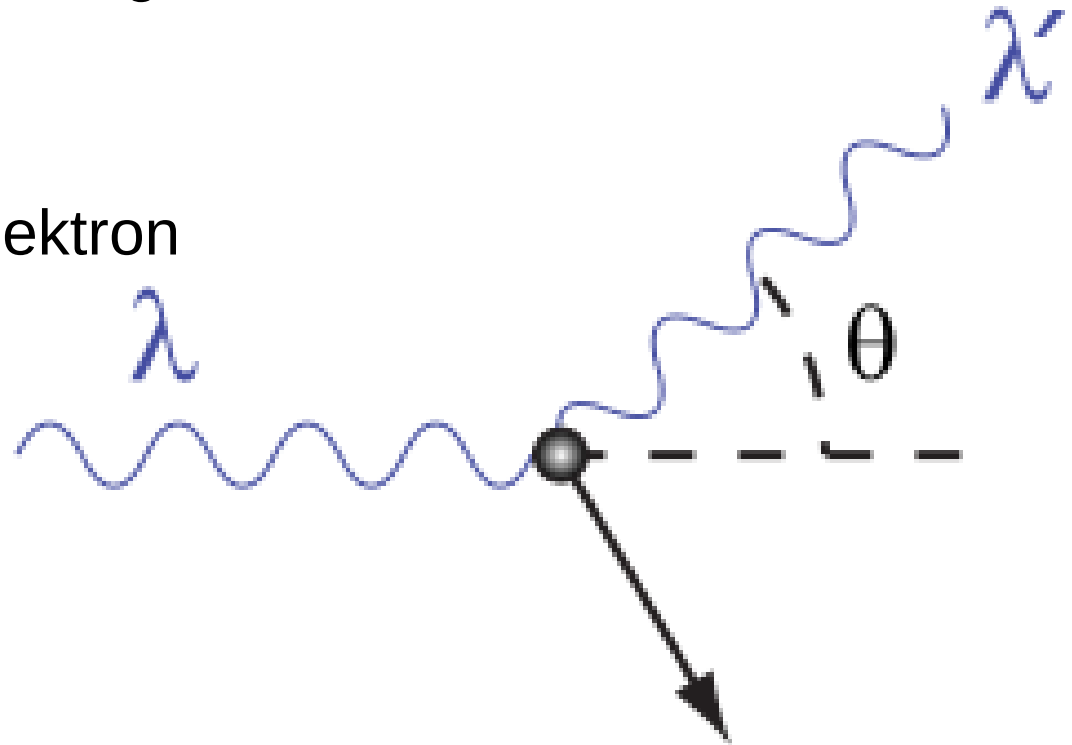
- Zufällig gewählt: Compton-Streuung
- Zufälliger Winkel gemäss bekannter Verteilung



Beispiel: Photon trifft Atom (3)

Buchführung und nächster Loop

- Aus Winkel: Richtung und Energie von Photon und Elektron
- Führe Buchhaltung nach
- Weiter je für Photon und Elektron



MC Programme

- Es gibt viele allgemeine MC-Programme: **EGS**, **MCNP**, **Penelope** ...
- Resultate verschiedener Codes sind ähnlich und müssen immer mit Experimenten **validiert** werden.
- Wir benutzen **Geant4** (moderne Architektur, C++) und
- **Topas**⁽¹⁾, eine simple Beschreibungssprache als Frontend zu Geant4.
- Ein weiteres Frontend (kostenlos) ist GATE⁽²⁾.

(1) Perl et al, Medical Physics 39, 6818 (2012);doi: 10.1118/1.4758060 – topasmc.org

(2) <http://www.opengatecollaboration.org>

Aufgabe 2: Absorption von γ und p

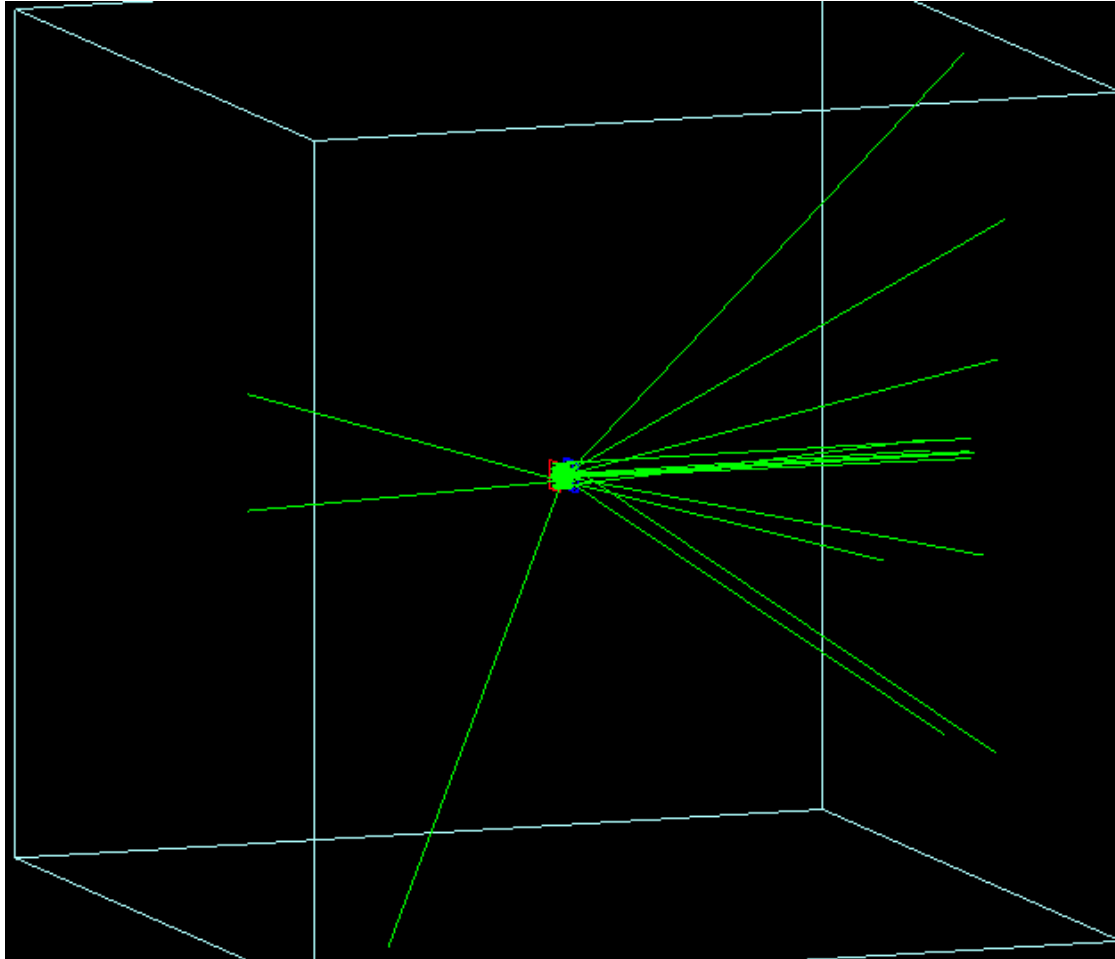
```
% gedit aufgabe2_absorber.txt &
```

```
% topas aufgabe2_absorber.txt
```

Häufige Unix-Befehle finden Sie im Skript

Aufgabe 2: Einfacher Absorber

```
% topas aufgabe2_absorber.txt
```

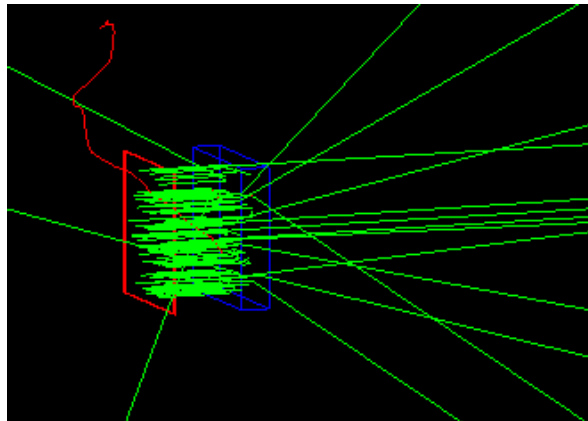


Aufgabe 2: Einfacher Absorber

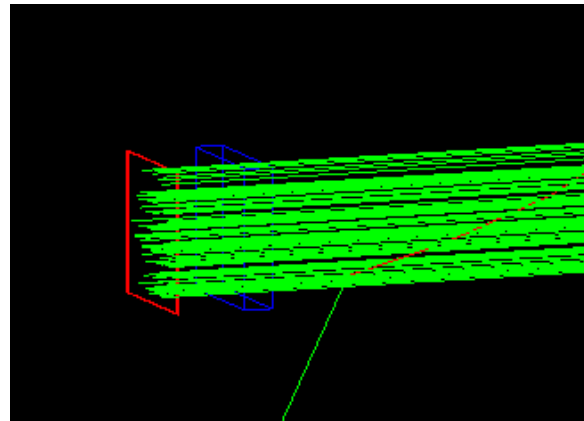
```
u:GrafikZoom = 5
```

```
s:So/Source/BeamParticle =  
s:Ge/Absorber/Material =
```

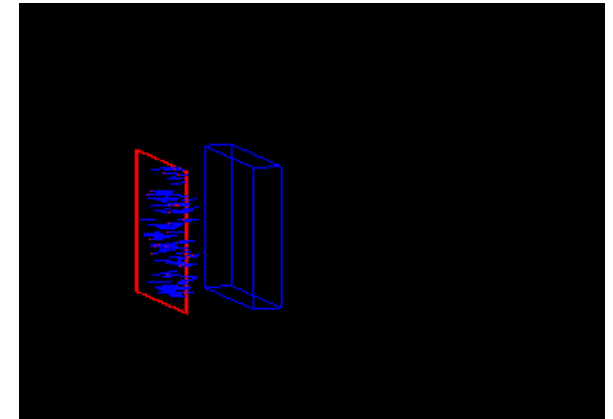
```
"gamma"  
"G4_Pb"
```



```
"gamma"  
"G4_AIR"
```



```
"proton"  
"G4_AIR"
```



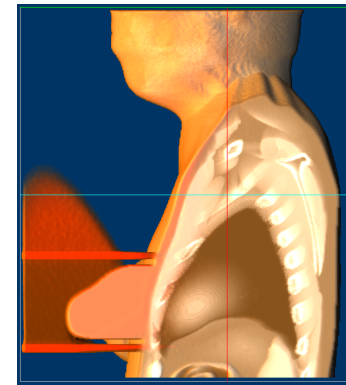
Experiment



Dosimeter →
Eintrittsdosis D_{Exp}

Organdosen Experiment

Simulation



Dosimeter oder Fluenz
→ Eintrittsdosis D_{Sim}

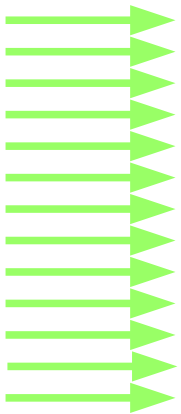
Organdosen simuliert

$$\times \frac{D_{\text{Exp}}}{D_{\text{Sim}}}$$

Kerma

$$K = \frac{E_{\text{Transfer}}}{\text{Masse}} \left(\frac{\text{J}}{\text{kg}} = \text{Gy} \right)$$

E_{Transfer} : An Elektronen übertragene Energie



*Kerma korrekt, solange
Abschwächung klein*

Kerma ist die physikalisch korrekte
Charakterisierung des einfallenden Strahls

Kerma ist immer grösser oder gleich der Dosis

Kerma berechnen

$$K_{Medium} = \frac{\mu_{tr}}{\rho_{Medium}} E_{\gamma} \Phi$$

μ_{tr}/ρ ; Energietransferkoeffizienten pro Dichte

E_{γ} : Energie des einfallenden Teilchens

Φ : Fluenz, Anzahl Teilchen pro cm^2

Werte von K/Φ für Luft
in pGy cm^2

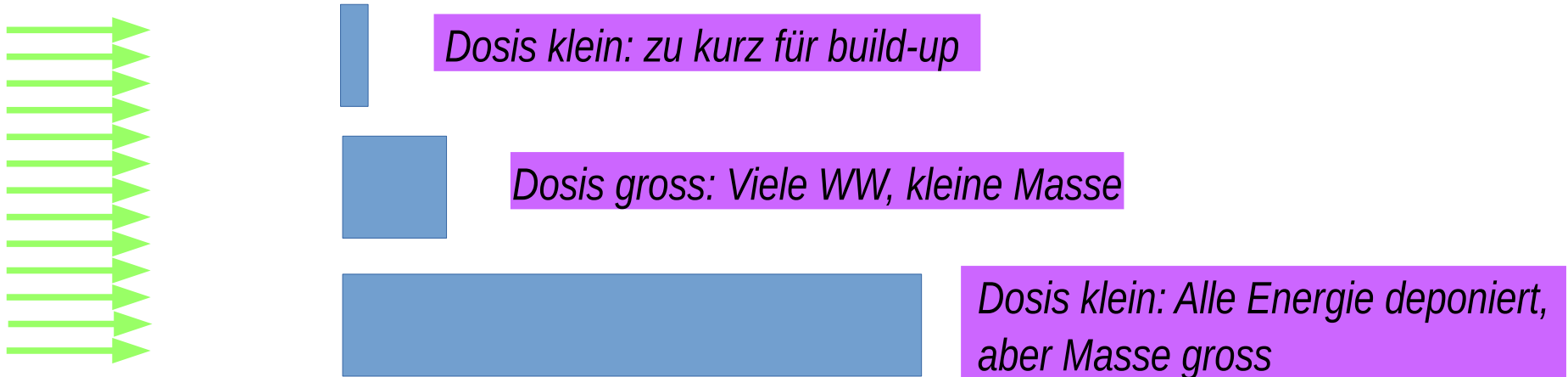
E_{γ} keV	20	80	100	150	662	1300
K_{Luft}/Φ	1.72	0.31	0.37	0.60	3.11	5.5

Beispiel: 10^6 Photonen von 662 keV pro cm^2 erzeugen in Luft eine Kerma von $K = 3.11 (\text{pGy cm}^2) 10^6 (1/\text{cm}^2) = 3.11 \mu\text{Gy}$

Energiedosis

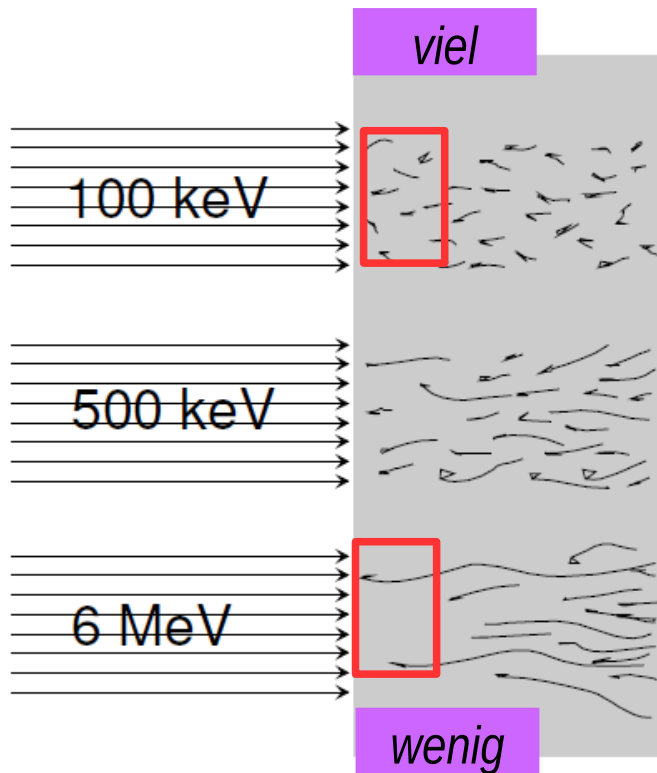
$$D = \frac{\text{Deponierte Energie}}{\text{Masse}} \left(\frac{\text{J}}{\text{kg}} = \text{Gy} \right)$$

Hängt von Material und Geometrie ab

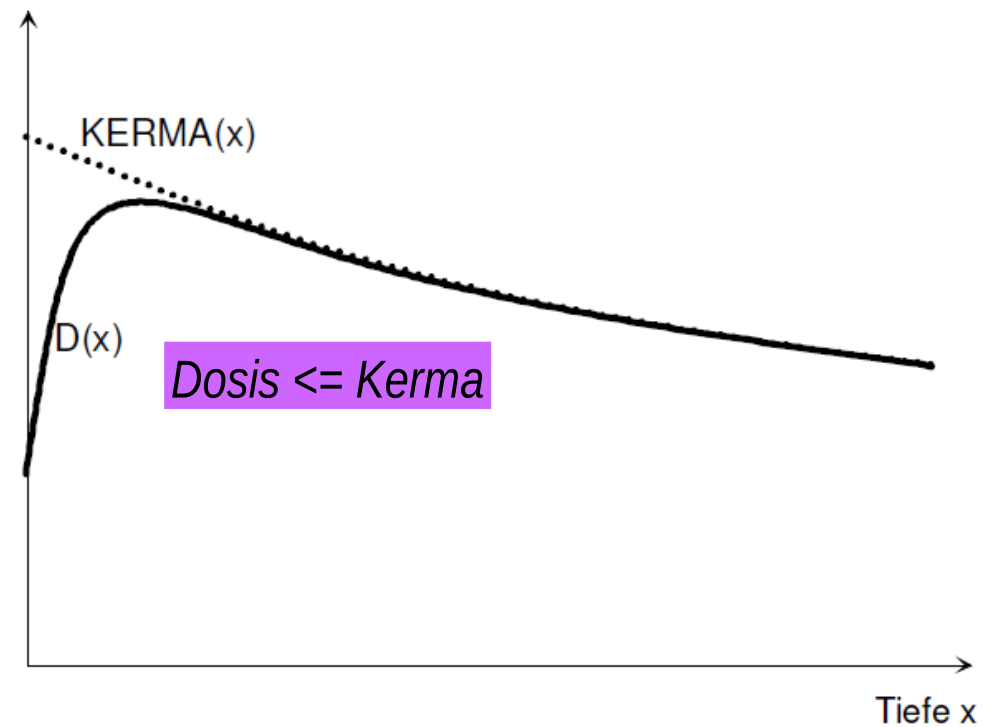


Die Energiedosis im Menschen wird in Sievert (Sv) angegeben.
Für Photonen: Sv = Gy

Dosis build-up



Dosis \leq Kerma



Bilder: Stephan Scheidegger

Organdosis

MC an einem Phantom liefert Energiedosis in jedem Organ (nicht direkt messbar).

Effektive Dosis

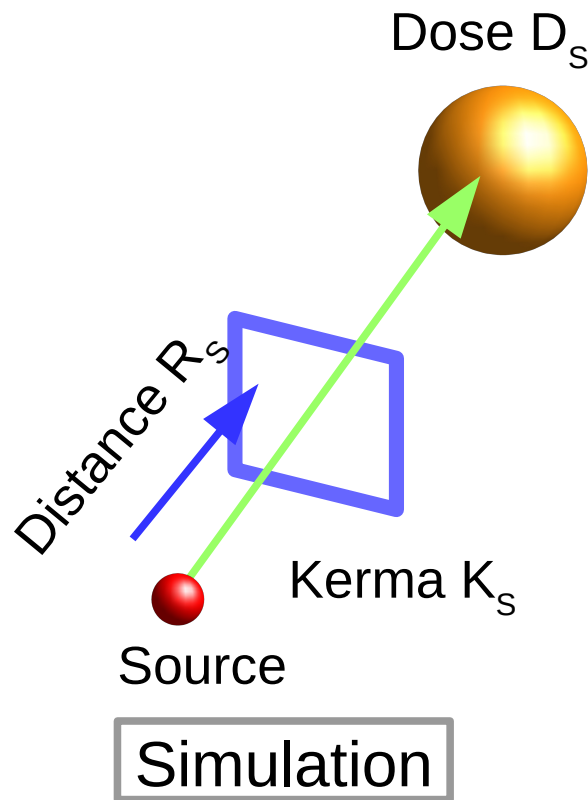
Gewichtete Summe wichtiger Organdosen, Mass für die Gesamtbelastung

$$\text{Effektive Dosis } E = \sum_T w_T H_T$$

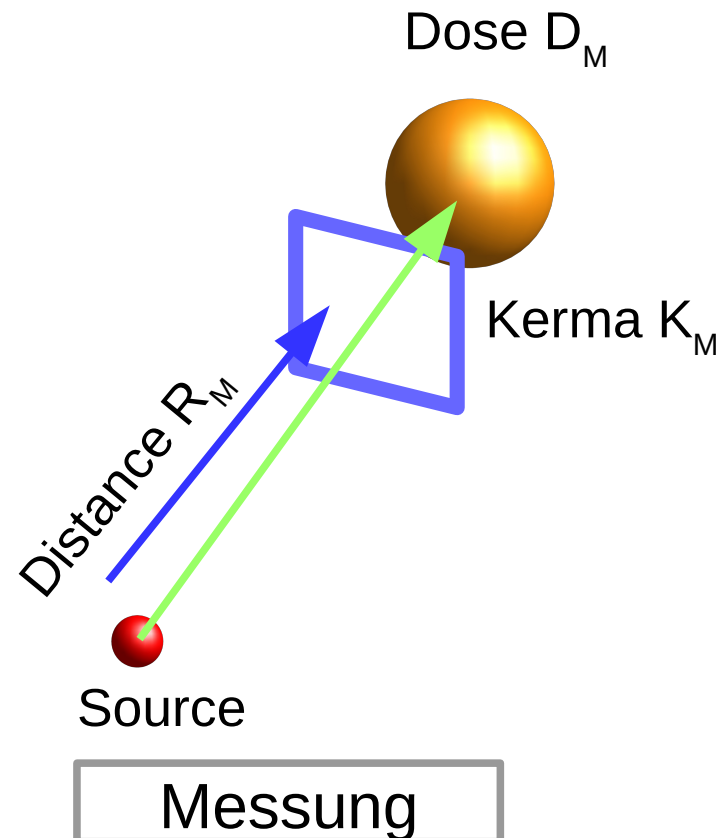
ICRP 103	
Gewebeart, Organ	w-Faktor
Keimdrüsen	0,08
Colon	0,12
Lunge	0,12
Magen	0,12
rotes Knochenmark	0,12
Brust	0,12
Summe restl. Gewebe	0,12
Blase	0,04
Oesophagus	0,04
Leber	0,04
Schilddrüse	0,04
Knochenoberfläche	0,01
Gehirn	0,01
Speicheldrüsen	0,01
Haut	0,01

Tabelle: Hanno Krieger

Sensor-Abstände in Simulation und Experiment können verschieden sein. Wir skalieren über das Dosis-Flächenprodukt (DAP).



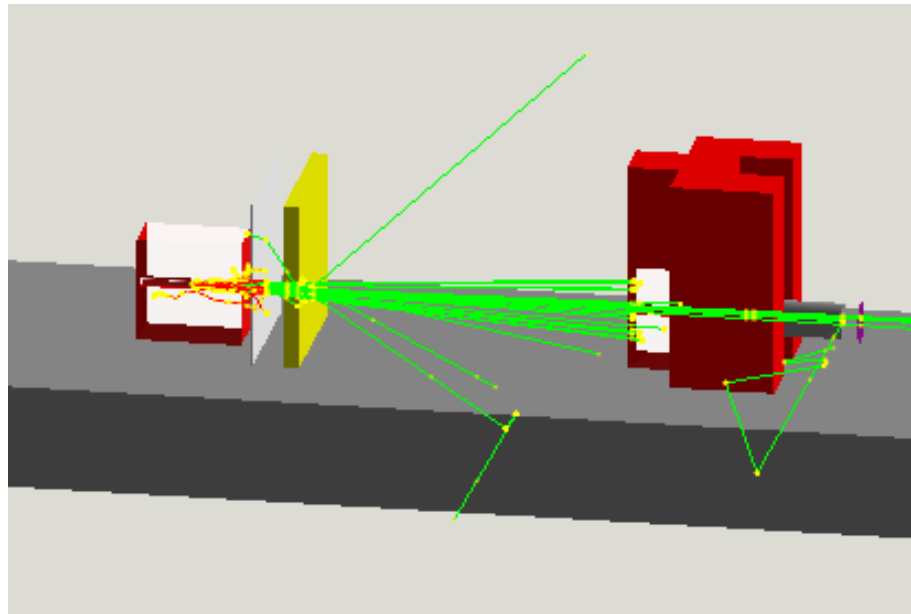
$$\frac{D_S}{K_S R_S^2} = \frac{D_M}{K_M R_M^2}$$



Aufgabe 3: Abschwächung von Photonen

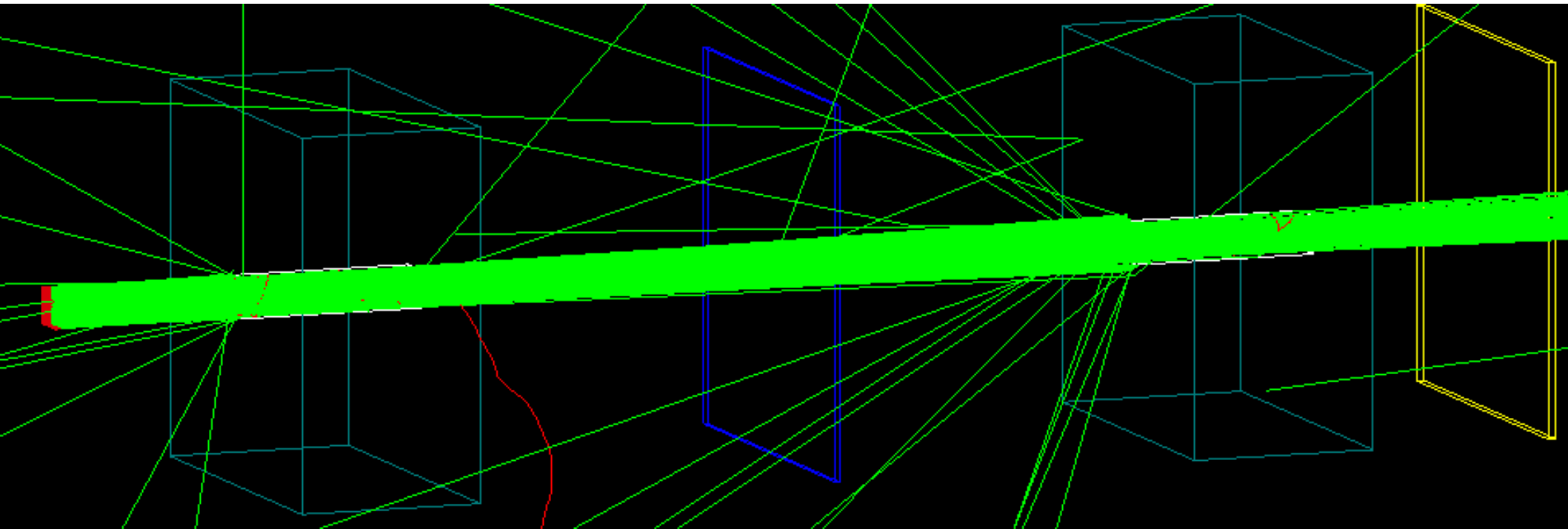
```
% gedit aufgabe3_abschwaechung.txt &
```

```
% topas aufgabe3_abschwaechung.txt
```



Aufgabe 3: Abschwächung von Photonen

```
% topas aufgabe3_abschwaechung.txt
```



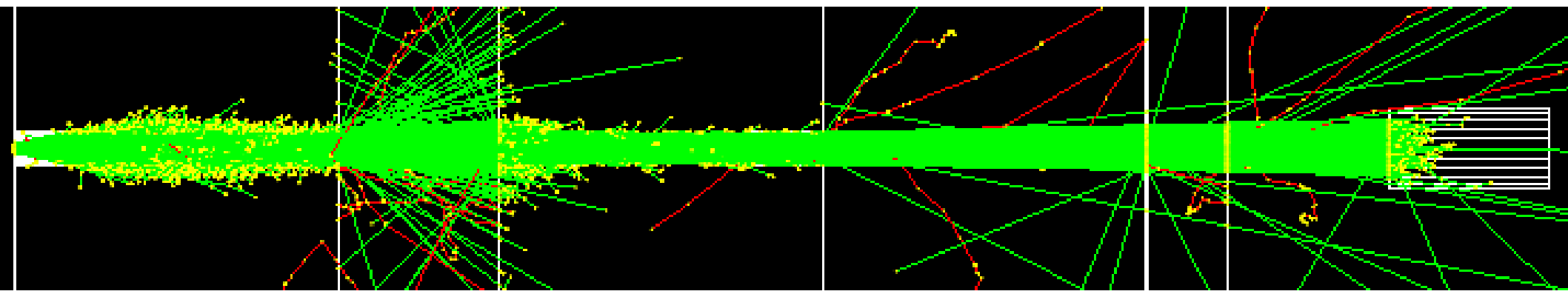
- Grundlagen von Monte Carlo-Rechnungen angeschaut
- Messung und Skalierung in MC besprochen
- An drei einfachen Beispielen MC angewendet

- Theorie Dosismessung und Statistik
- Aufgaben Backscatter und Protonentherapie
- Theorie komplexe Geometrien

Monte Carlo in der Strahlungsdosimetrie Praktikum APBST HS17

Patrik Eschle, Physik-Dozent IAMP

Christian Sommer, wissenschaftlicher Mitarbeiter IAMP



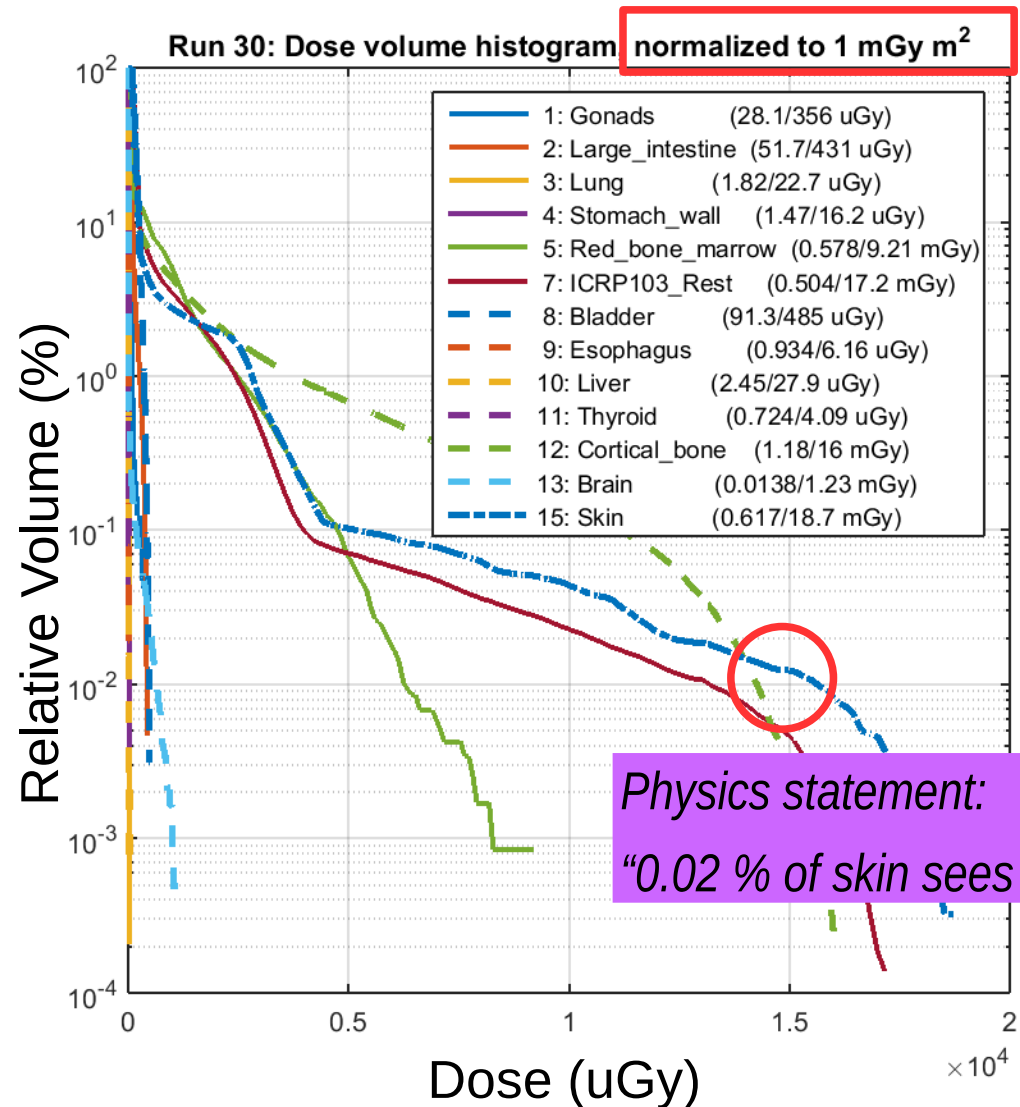
CT

Mammo

Fluoro

DVH from phantom irradiation

- Dose for every voxel
- Summarized in organ doses
- Displayed in DVH



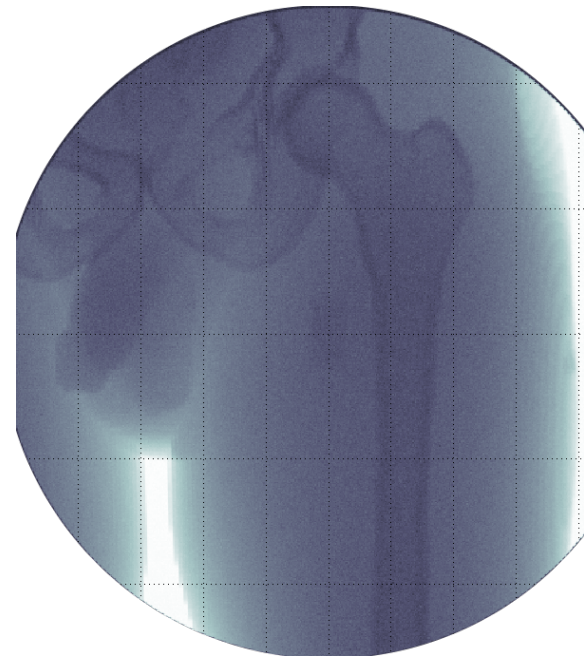
Case study 3: Fluoroscopy

CT

Mammo

Fluoro

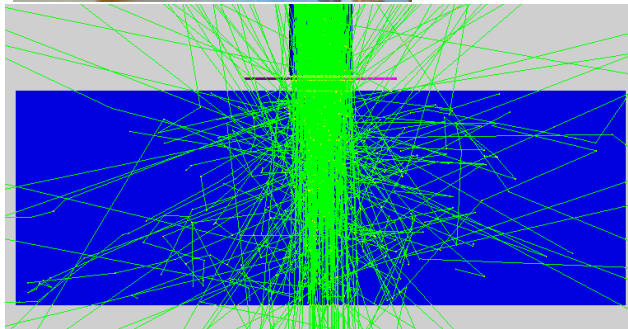
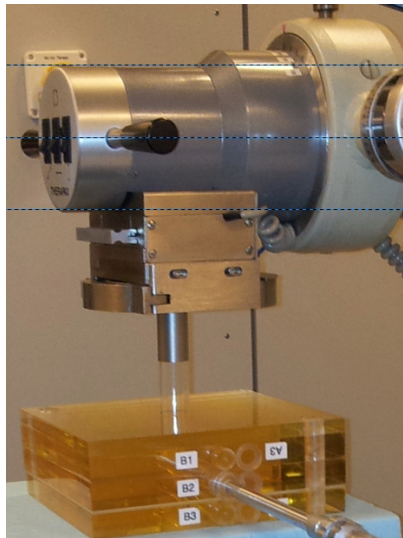
Fluoroscopy is used to observe the hip joint in motion.
What is the individual patient risk?



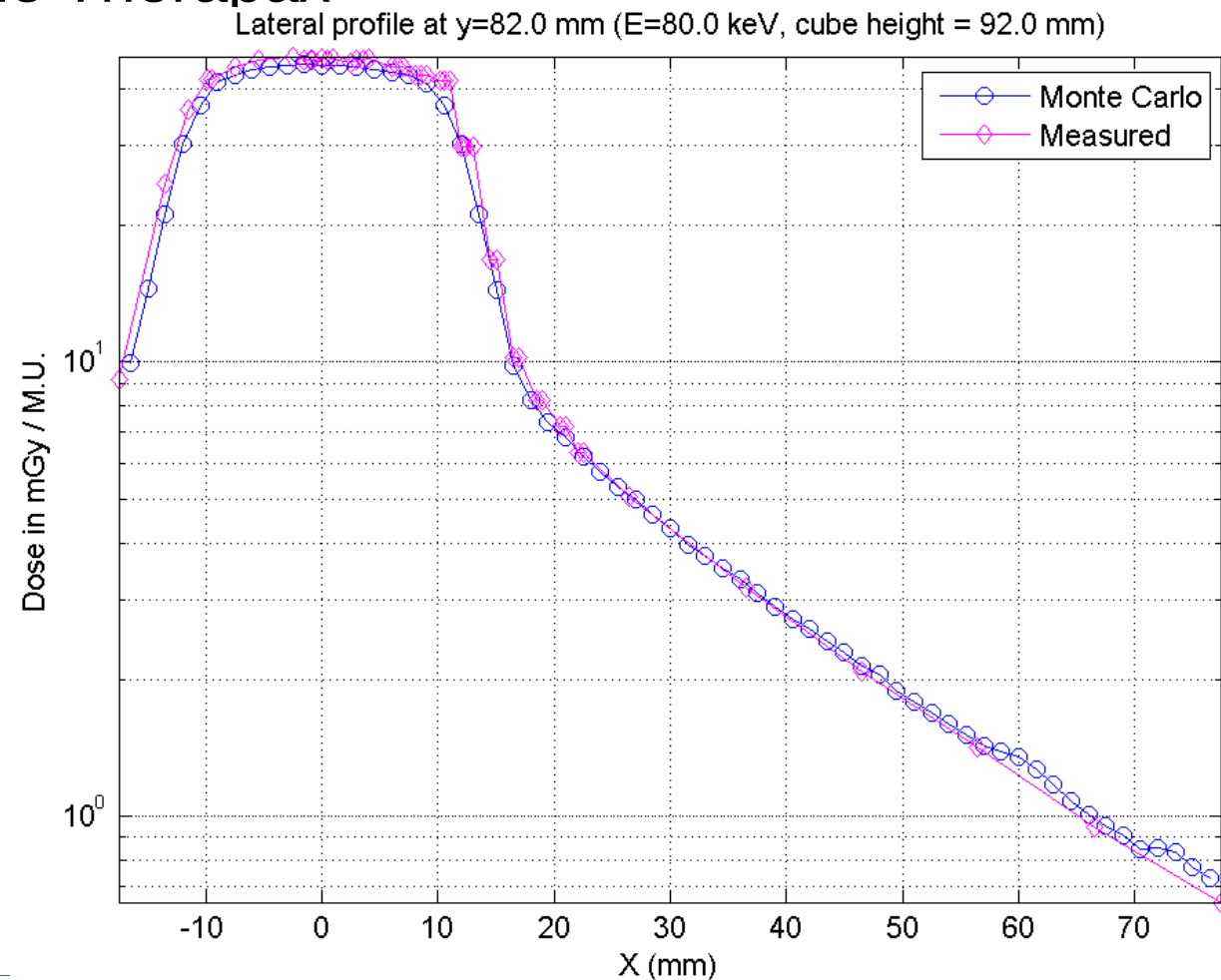
Vergleich mit Experiment

As with every theory: we measure and compare

Example: Beam profile with the Therapax

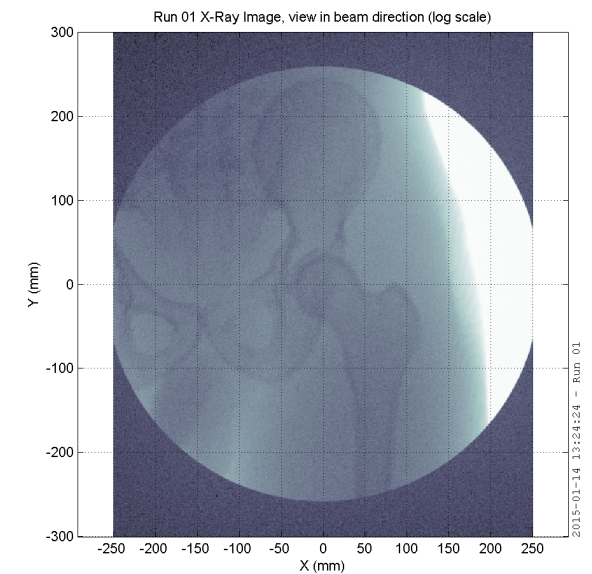
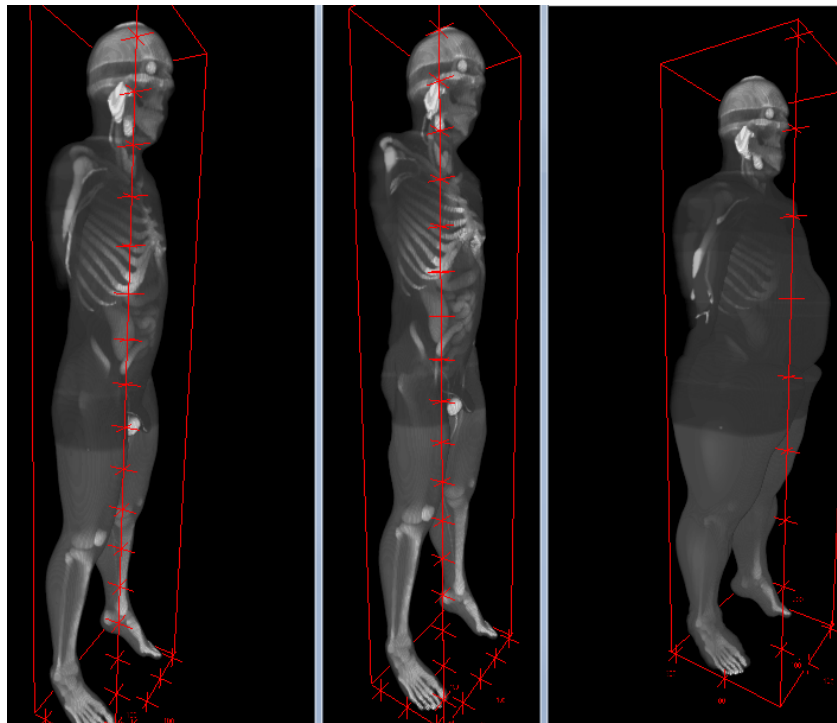
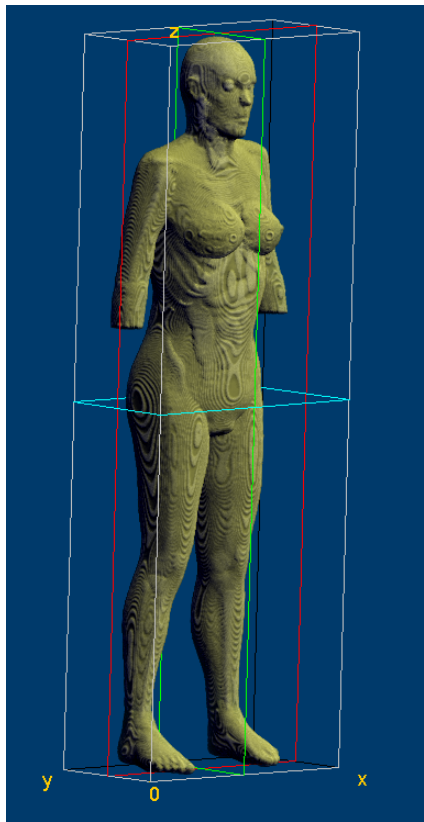


APBST MC HS19



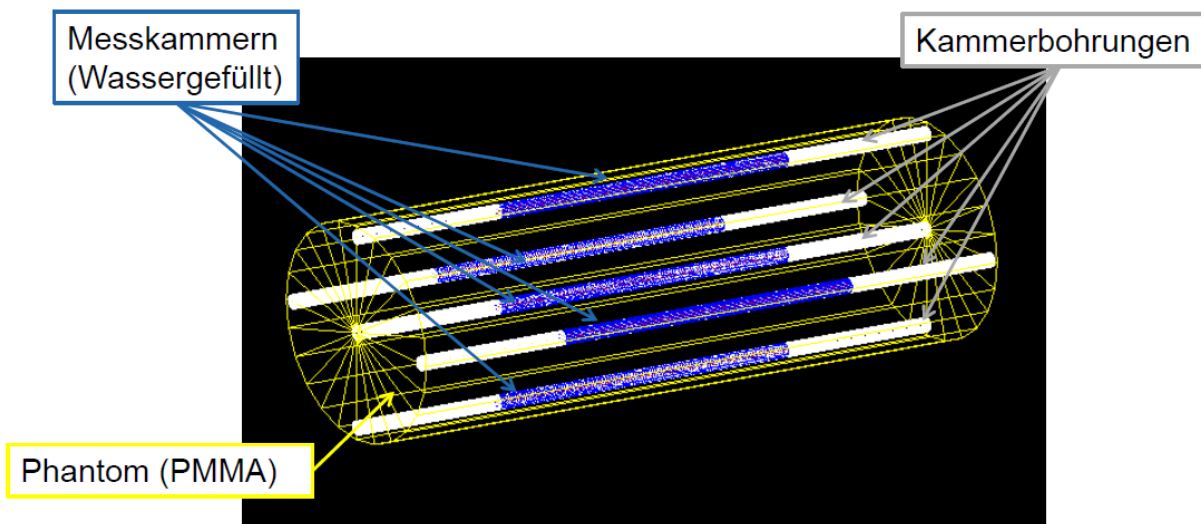
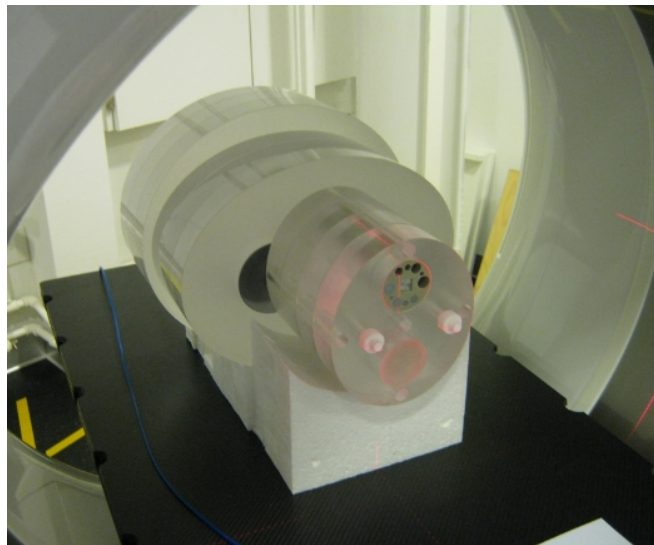
What phantoms do we use?

XCAT produces CT images of segmented male and female phantoms of different size. Typical resolution is 2 mm^3 . Other phantoms are often very coarse and not scalable.



SSDE – Size Specific Dose Estimates

In CT imaging we know the DLP in a standard circular phantom of 32 cm diameter. What is the DLP in different geometries?



Images: Christian Sommer, ZHAW

(1) CT – Size Specific Dose Estimates

Differences from MC to published average values due to local parameters. Result has to be **verified** and **calibrated**.

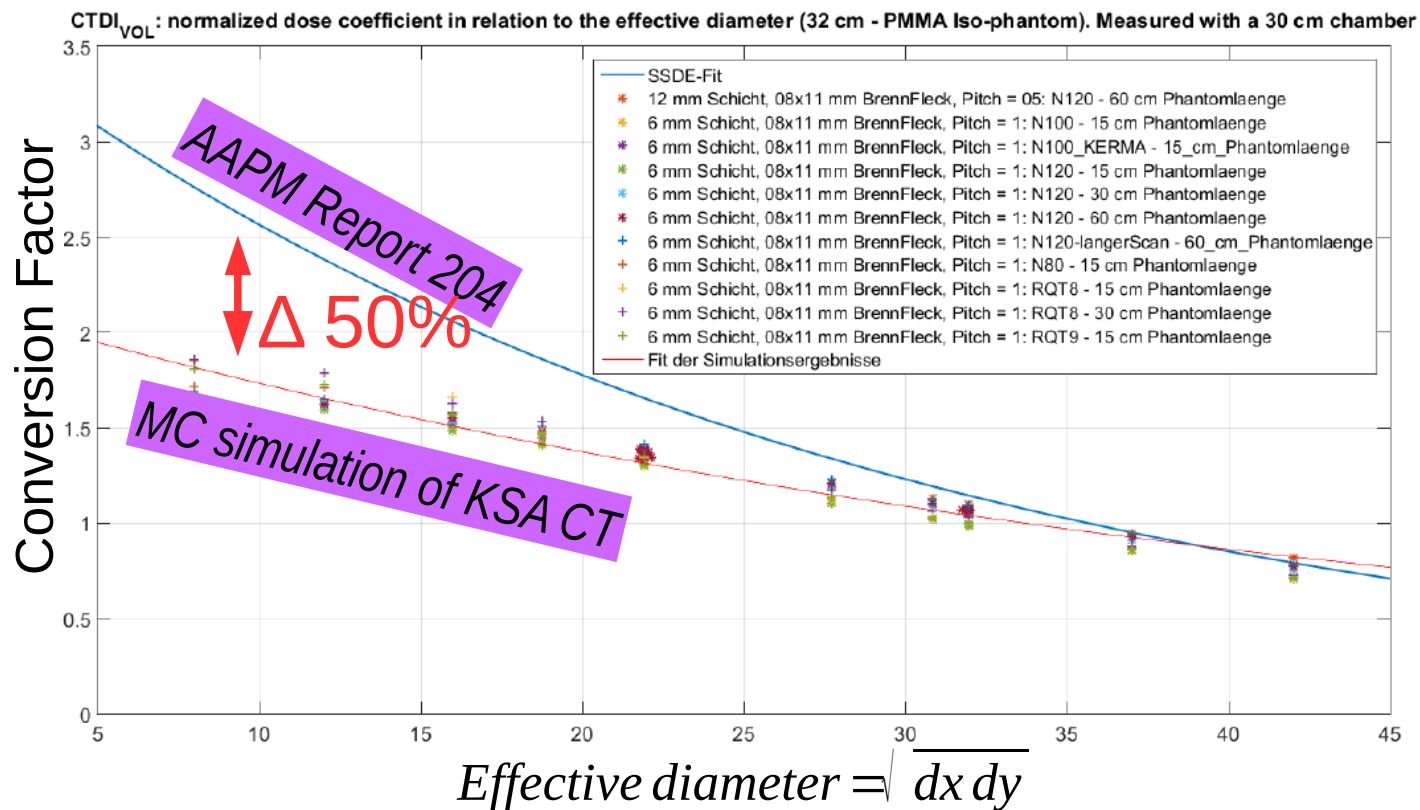


Image: Christian Sommer, ZHAW

