Exposé meiner Arbeit

Vorläufiger Titel:

Untersuchung der Strahlenresistenz der Bleiglasmodule SF57 und TF1 des Elektromagnetischen-Kalorimeter am COMPASS-Experiment

Problem von Č-Radiatoren

- Bleiglas verliert unter Einfluss von Strahlung seine optimalen Nachweiseigenschaften
- Durch Strahlenschäden: Teil der Č-Photonen wird bereits im Glas absorbiert
- Somit: keine Information über Primärenergie des einfallenden Teilchens möglich $N_{Čherencov} \sim E_0$
- Strahlenschäden lassen sich an vermindeter Transmission erkennen, welche man durch spektrosk. Verfahren aufdecken kann

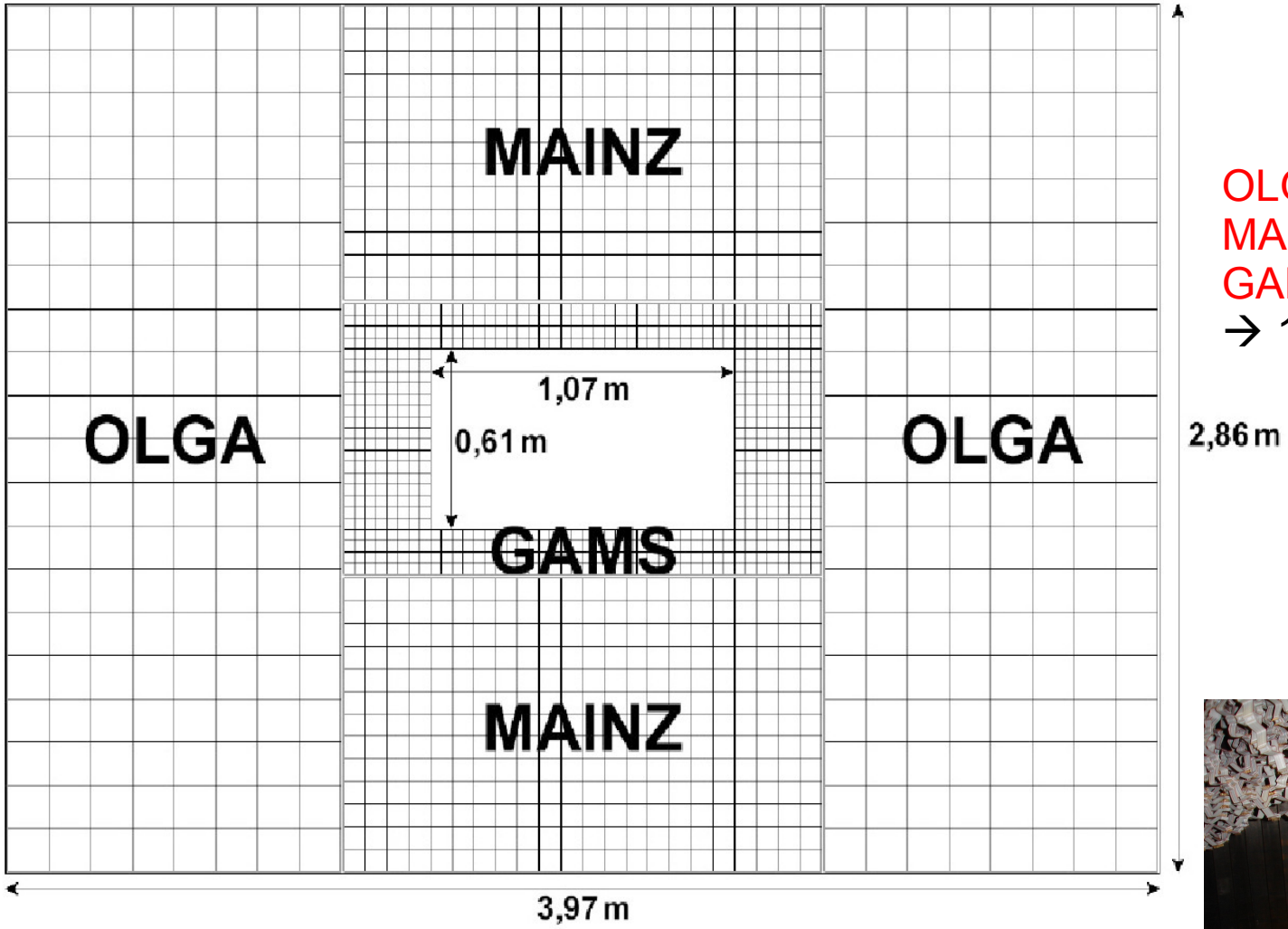
Idee

- In Vergangenheit : Gläser wurden bereits auf das Reagieren durch unterschiedl. Energiedosen untersucht
- Neuer Aspekt : zeitl. Ausheilen der Gläser nach unterschiedl. Bestrahlung:
- Niederenergetische Teilchen : ^{60}Co-Quelle
- Hochenerg. Elektronen : MAMI-Beschleuniger
- Ausheilungsprozesse unter „Normalbedingung“ & unter „optical bleaching“

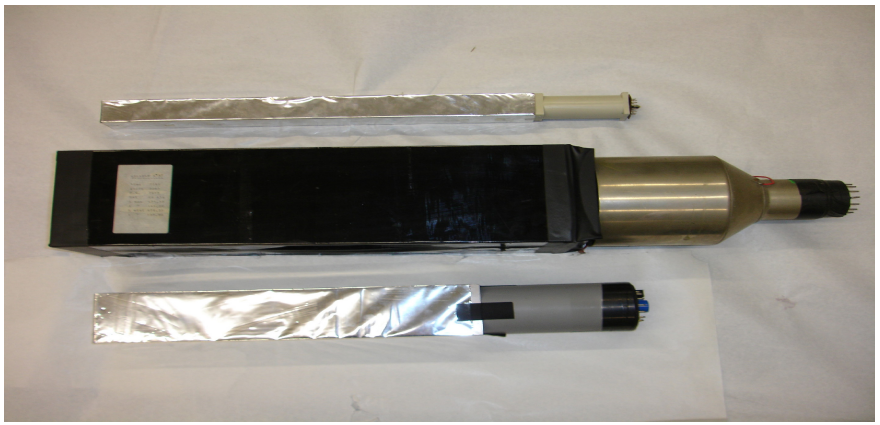
Experimentelle Gliederung

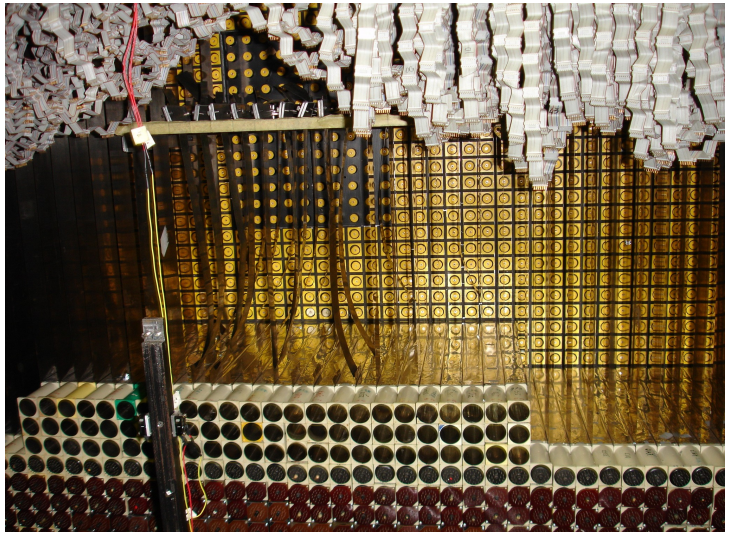
- Voruntersuchungen
  - Gütekriterien der Messapparatur
  - Optische Homogenität der Gläser
- ^{60}Co – Bestrahlung
- MAMI : Regeneration unter Raumtemperatur
- MAMI : Regeneration unter „optical bleaching“

- Abschätzung der Energiedosis bei COMPASS
  - Simulation ↔ Dosimeter

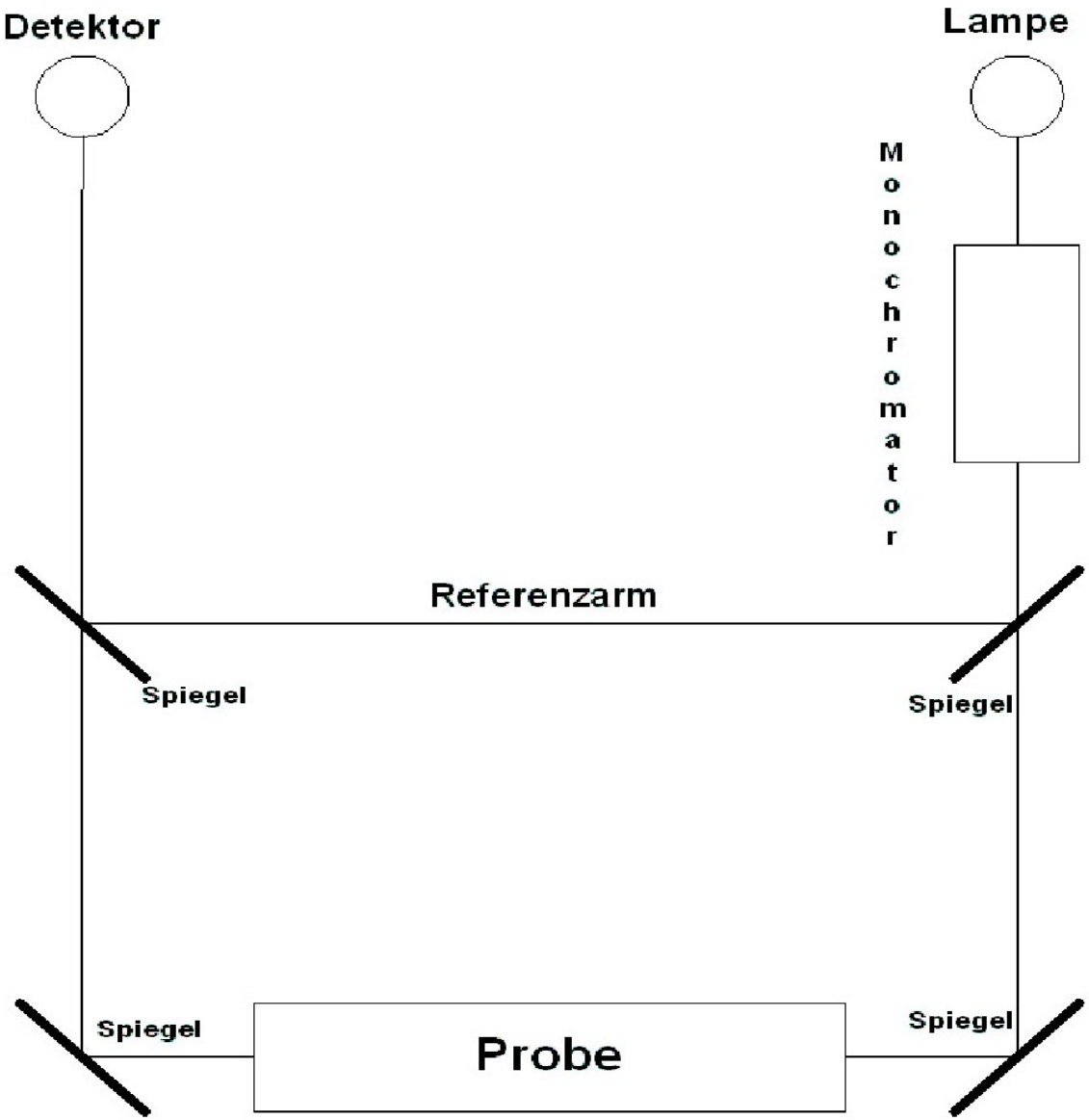


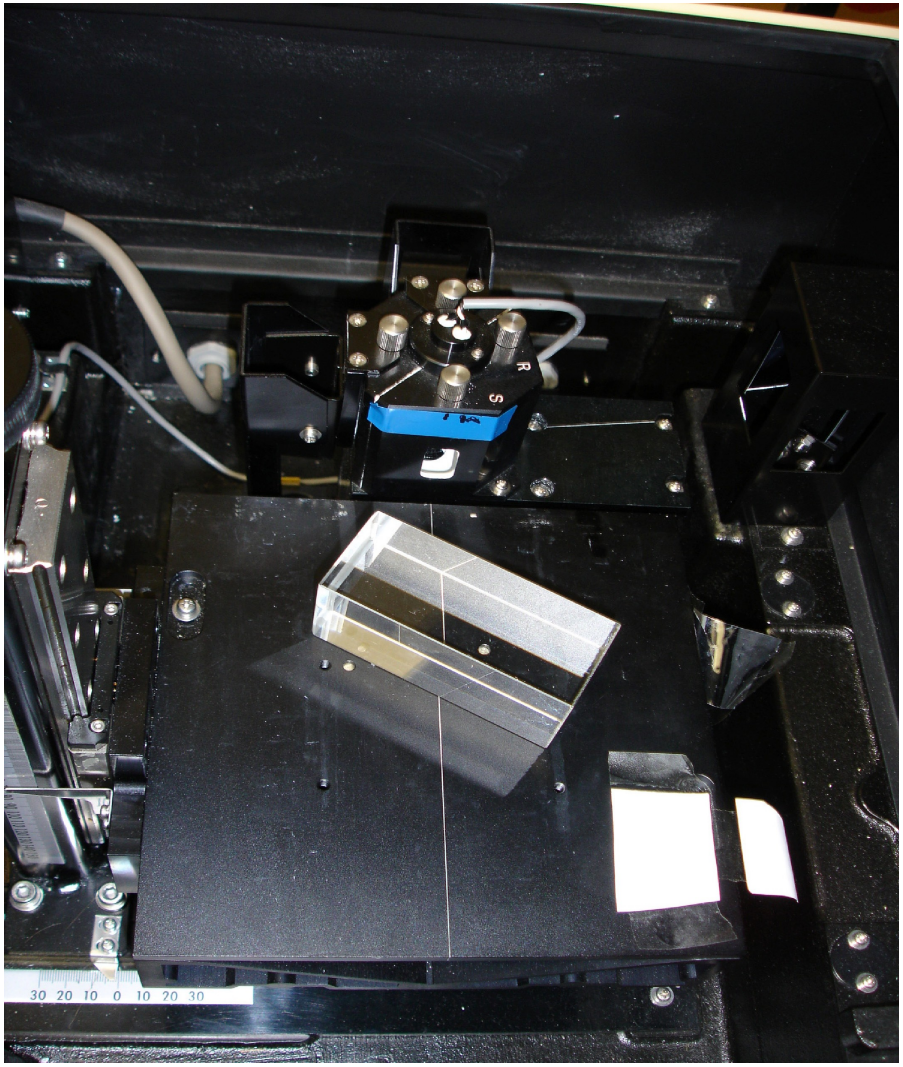
OLGA (SF5): 2 x 160
MAINZ (SF57): 2 x 286
GAM (TF1): 608
→ 1500 Kanäle





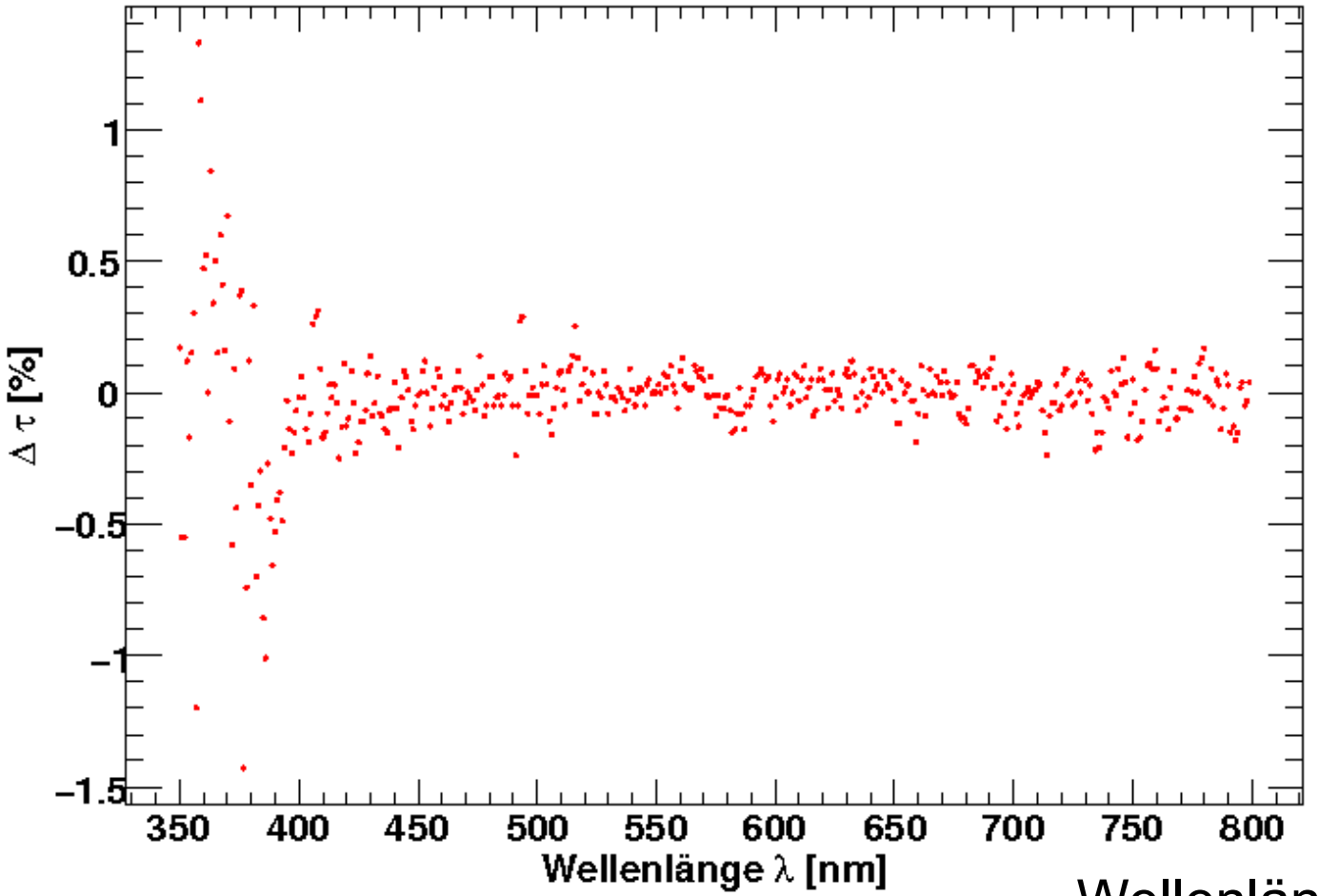
2-Strahl-Spektrophotometer





Gütekriterien der Messapparatur

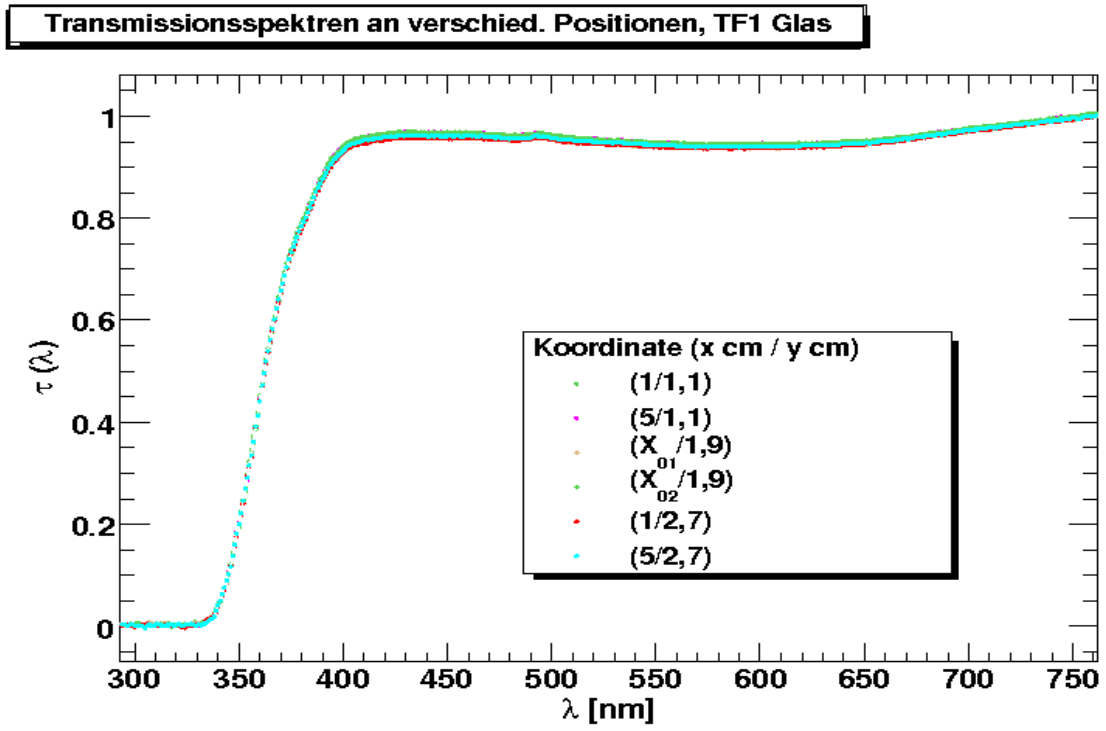
$\Delta \tau = \tau_a(\lambda_i) - \tau_b(\lambda_i)$

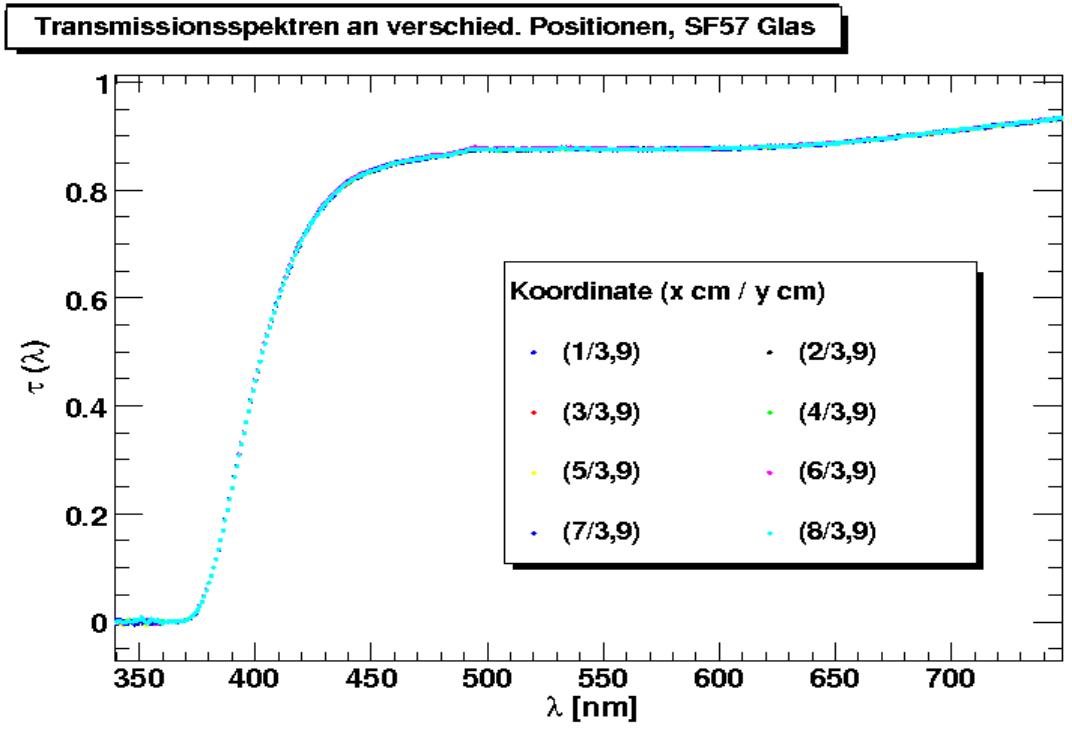


Wellenlängenreproduzierbarkeit:
$\Delta\lambda \pm 0{,}3$nm
Transmissionsreproduzierbarkeit:
±0,11%

Optische Homogenität

- Gläser wurden an verschiedenen Positionen spektroskopisch vermessen um gegebenenfalls innere nicht sichtbare Störstellen aufzuspüren → Referenzgraphen
  - Randscan, vorderer↔hinterer Modulbereich, X_{0i} etc.
- Homog. Lichtsammeleffizienz nur bei homog. Transmissionsgrad gegeben
  - Unterschiedl. Kriterien/ Verfahren z.B.:
- Simulationsrechnungen nach Zu & Ma (1992): Transmissionsgradient soll kleiner 5% sein
  - Kees/Büsching(1997) LEDA WA98: TF1-Glas 7%


Transmissionsspektren an verschied. Positionen, TF1 Glas
Koordinate (x cm / y cm)
(1/1,1)
(5/1,1)
(X01/1,9)
(X02/1,9)
(1/2,7)
(5/2,7)
τ (λ)
λ [nm]
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
300
350
400
450
500
550
600
650
700
750


Transmissionsspektren an verschied. Positionen, SF57 Glas
Koordinate (x cm / y cm)
(1/3,9)
(2/3,9)
(3/3,9)
(4/3,9)
(5/3,9)
(6/3,9)
(7/3,9)
(8/3,9)
τ (λ)
λ [nm]
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
350
400
450
500
550
600
650
700

Ergebnisse

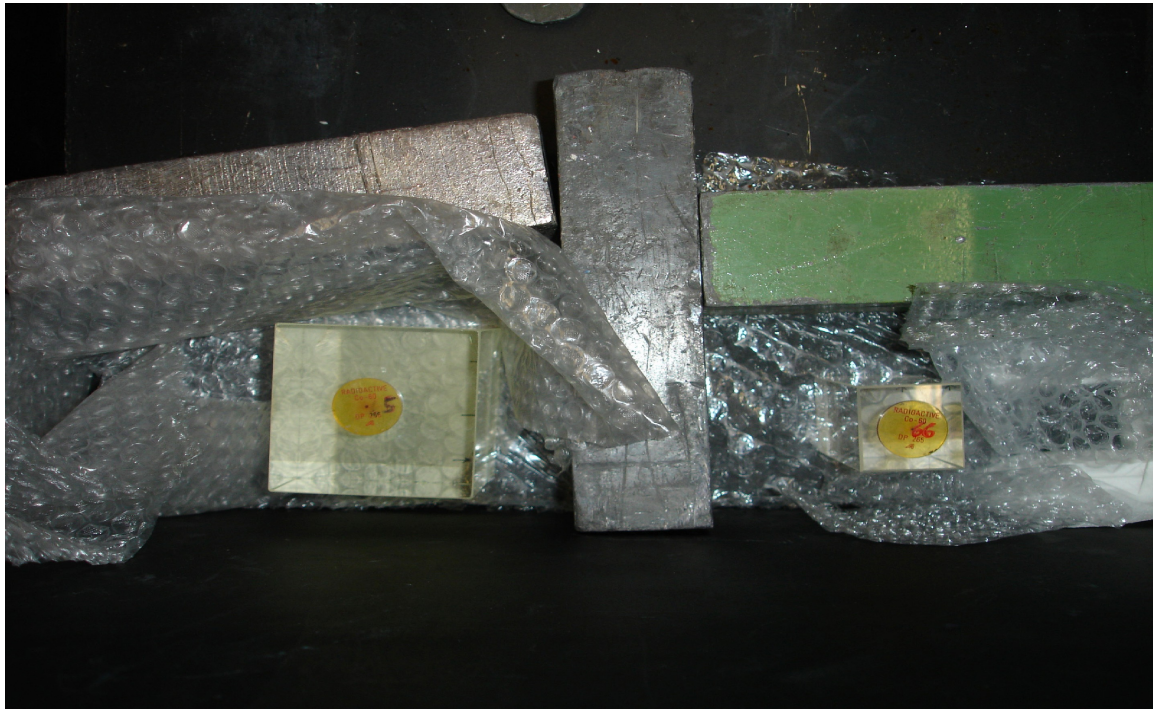
- GAM: max. 3,7% MAINZ: max. 4,2%
- Schlechteres Transmissionsverhalten ist Volumeneffekt, da keine signifikanten Unterschiede aufzufinden waren.
  - Leicht gelbliche Verfärbung (MAINZ)
    - Keine Absorptionsbanden

^{60}Co-Quelle

- Aktivität A = $6{,}59 \cdot 10^5$ Bq, β^- Zerfall
- Extinktionszeit t = 216 h
- γ-Strahlungskonstante = $2{,}5 \cdot 10^{-18}$ (C m²/kg Bq s)
- Nutzstrahlung γ: 1,333MeV ; 1,117MeV

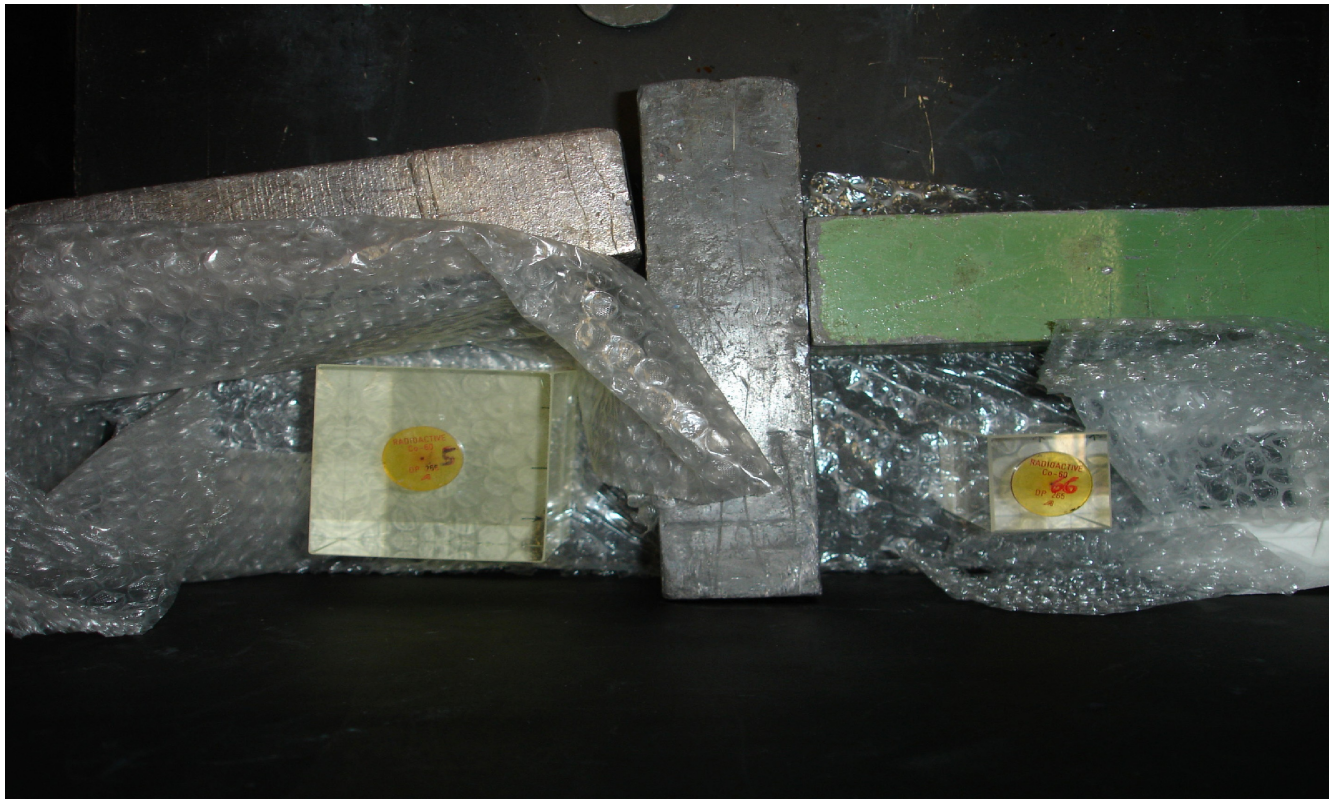
- $D = \Gamma_\gamma * A/r^2 * t$

→ 50 Gy

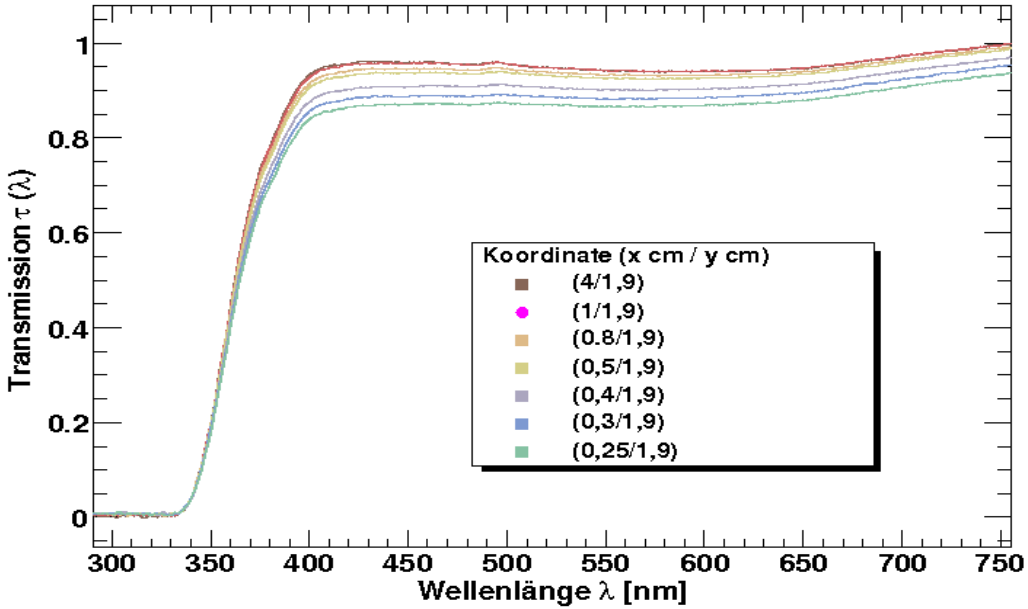


^{60}Co-Quelle

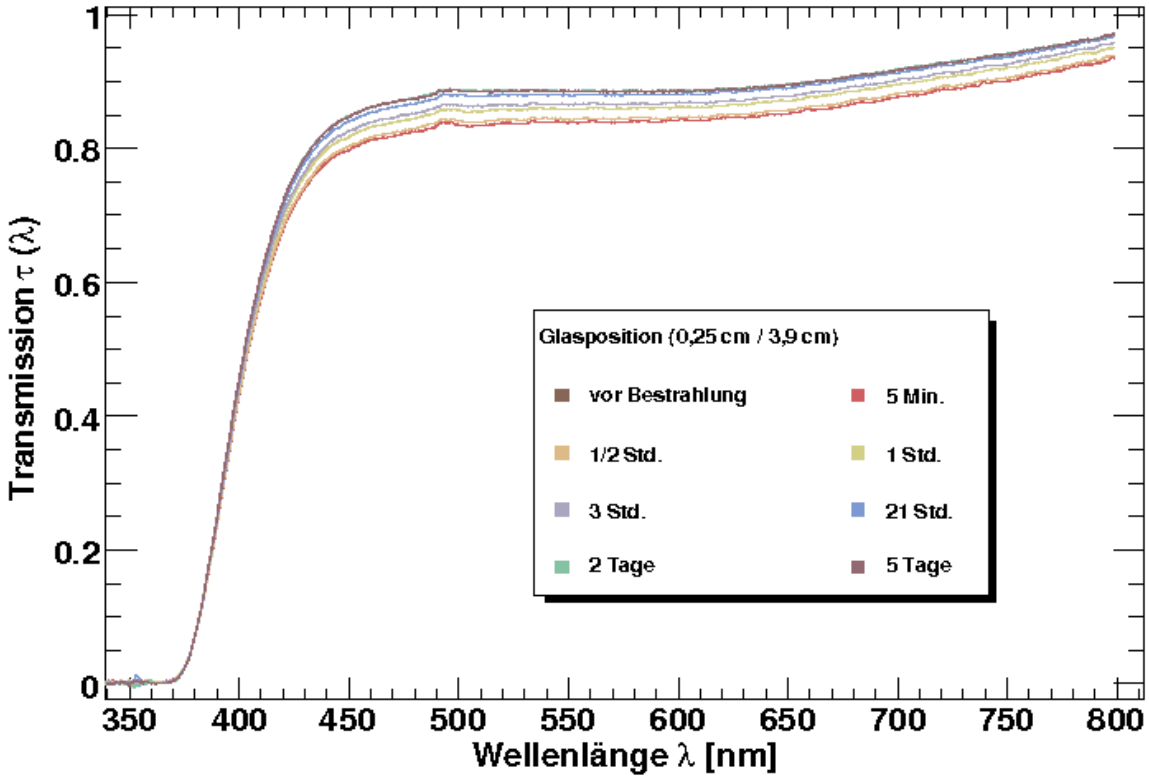
- Aktivität A = $6{,}59 \cdot 10^5$ Bq
- D = 50 Gy

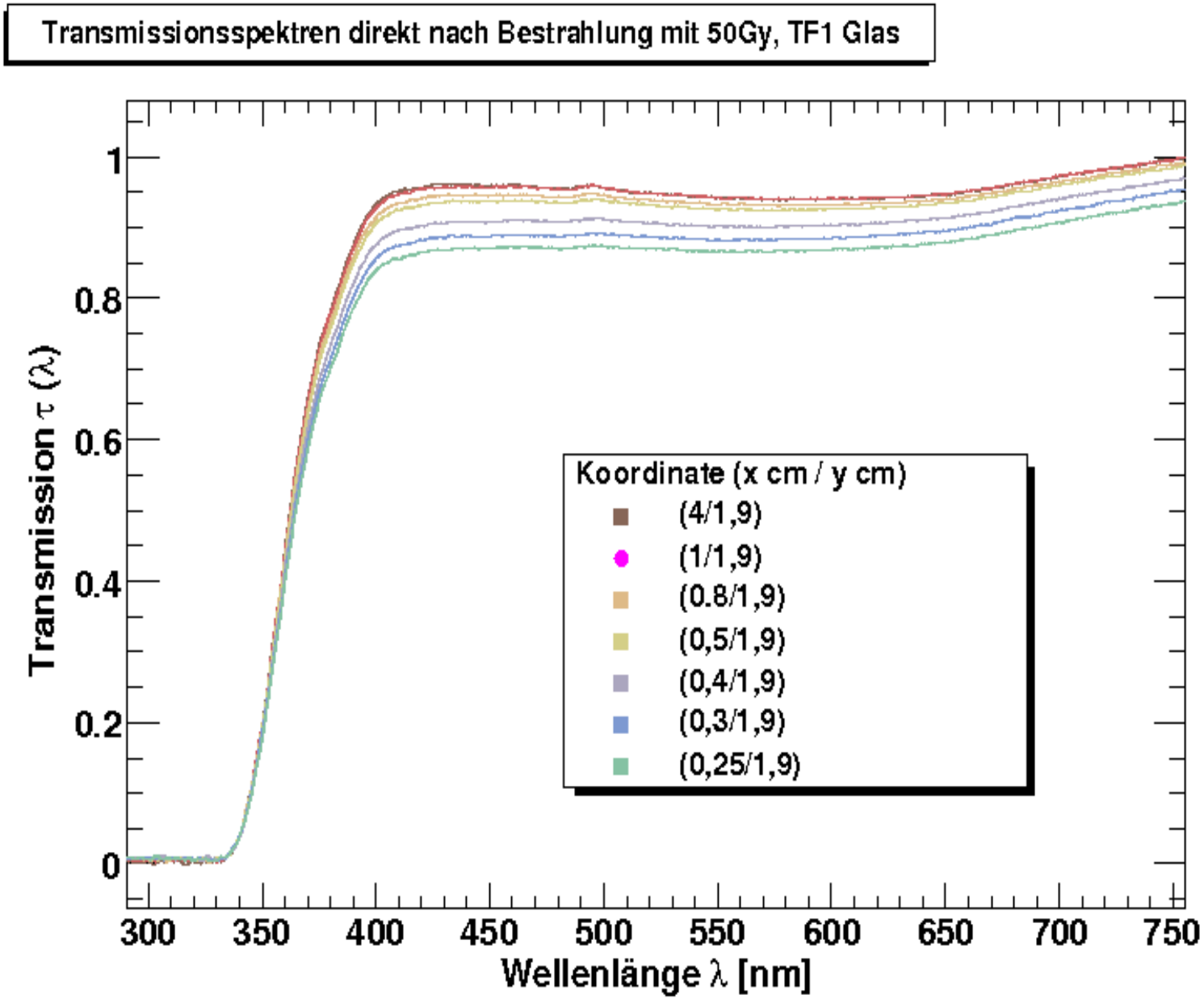


Transmissionsspektren direkt nach Bestrahlung mit 50Gy, TF1 Glas

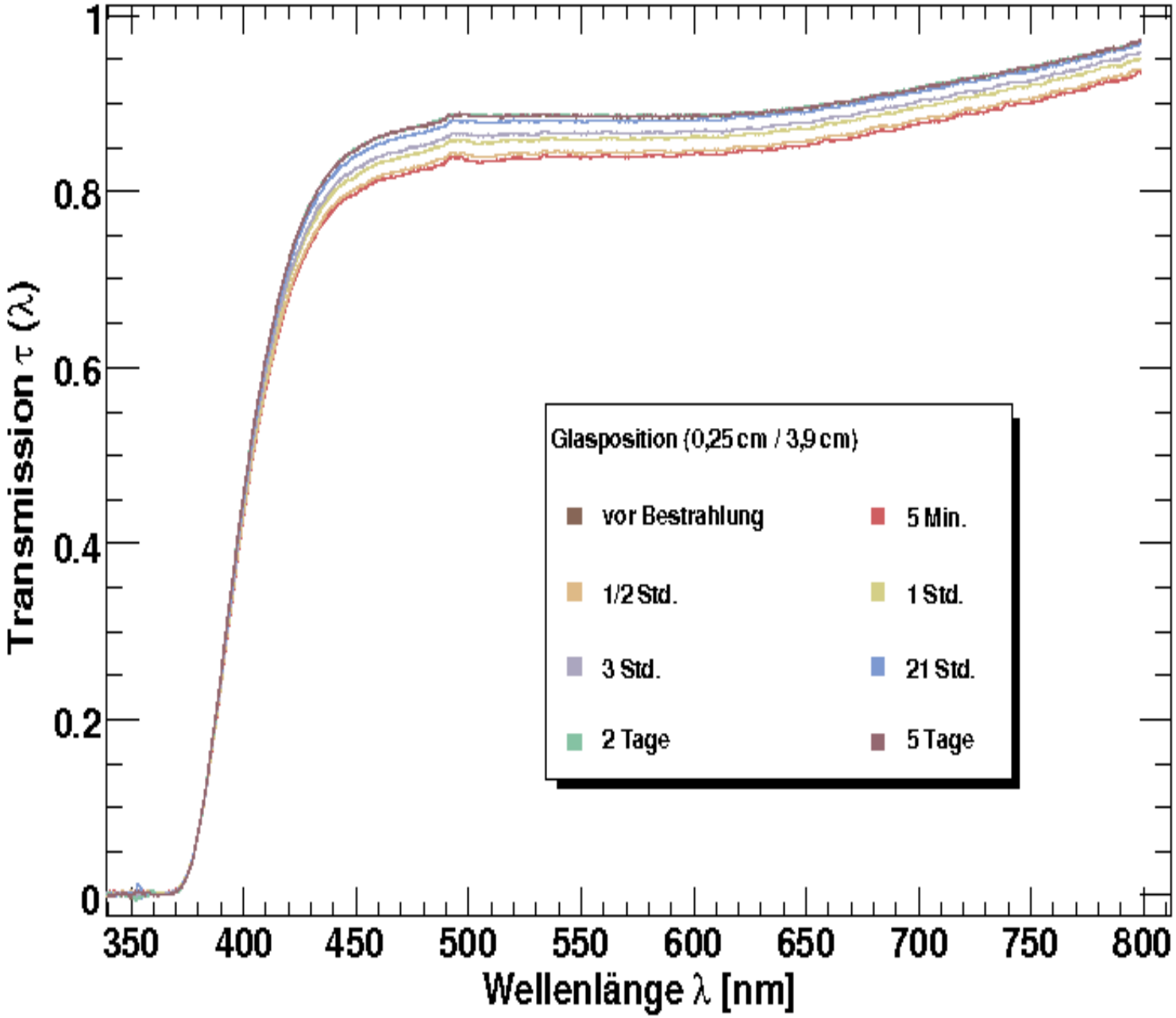


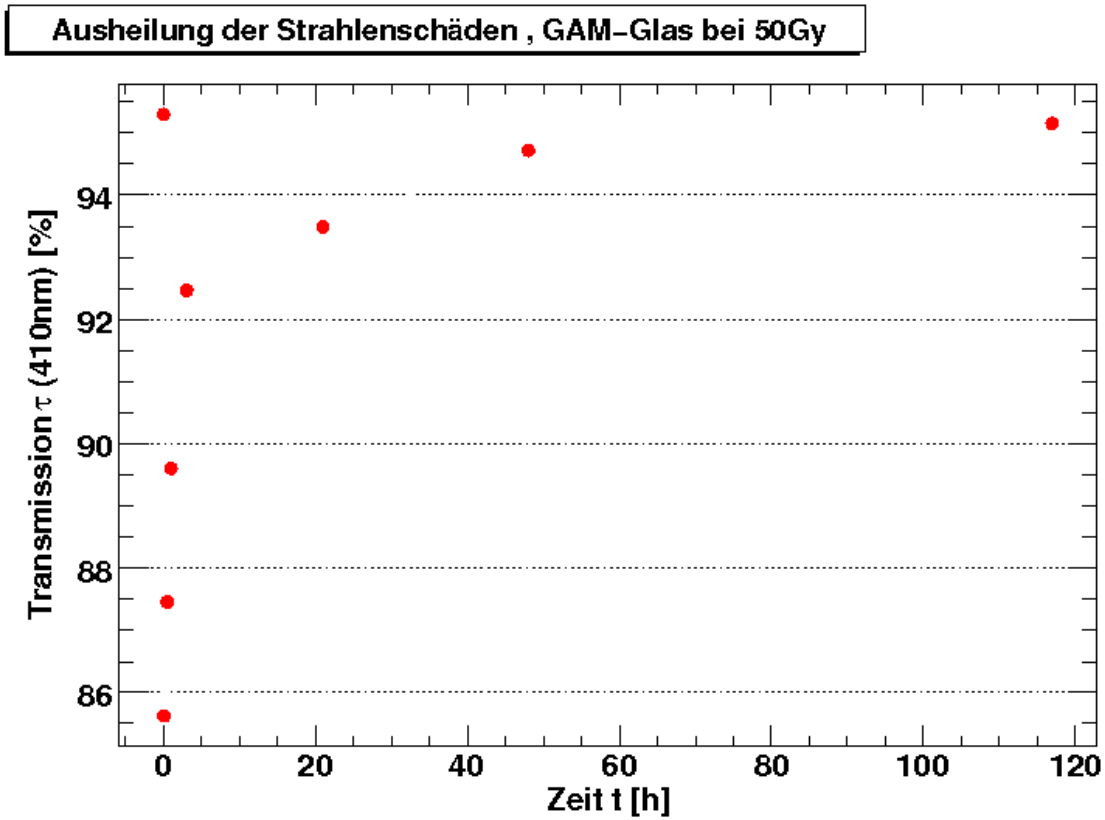
Transmissionsspektren nach verschiedenen Zeitabständen seit Ende der Bestrahlung mit 50Gy, SF57 Glas

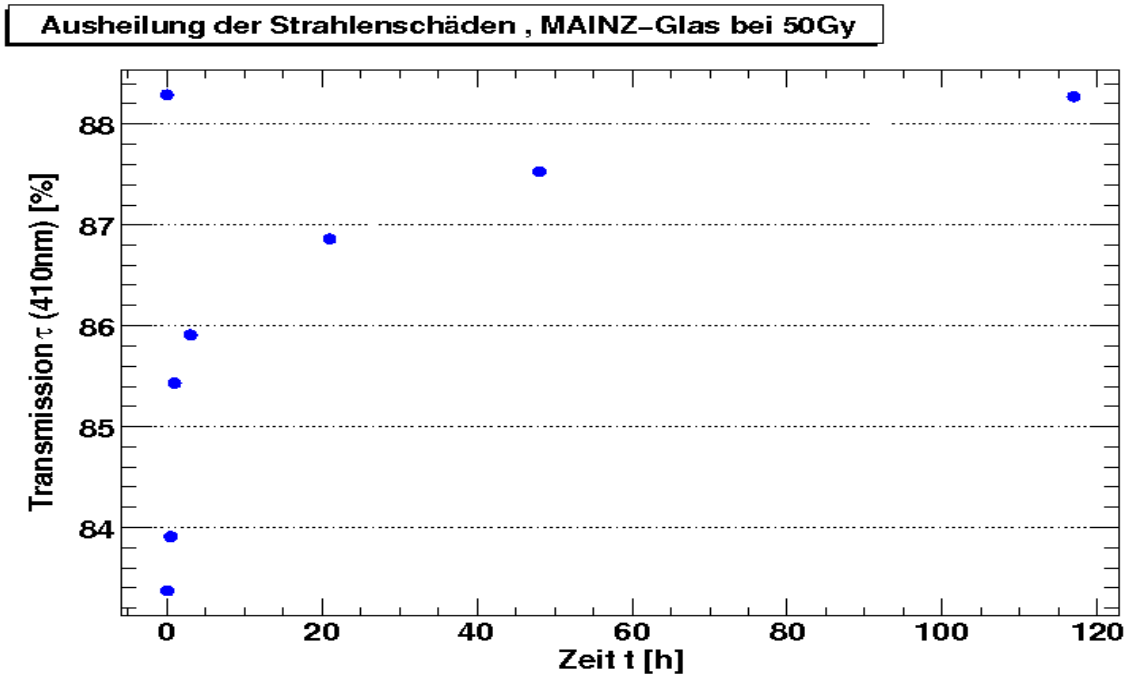



Transmissionsspektren direkt nach Bestrahlung mit 50Gy, TF1 Glas
Transmission τ (λ)
Wellenlänge λ [nm]
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
300
350
400
450
500
550
600
650
700
750
Koordinate (x cm / y cm)
(4/1,9)
(1/1,9)
(0.8/1,9)
(0,5/1,9)
(0,4/1,9)
(0,3/1,9)
(0,25/1,9)

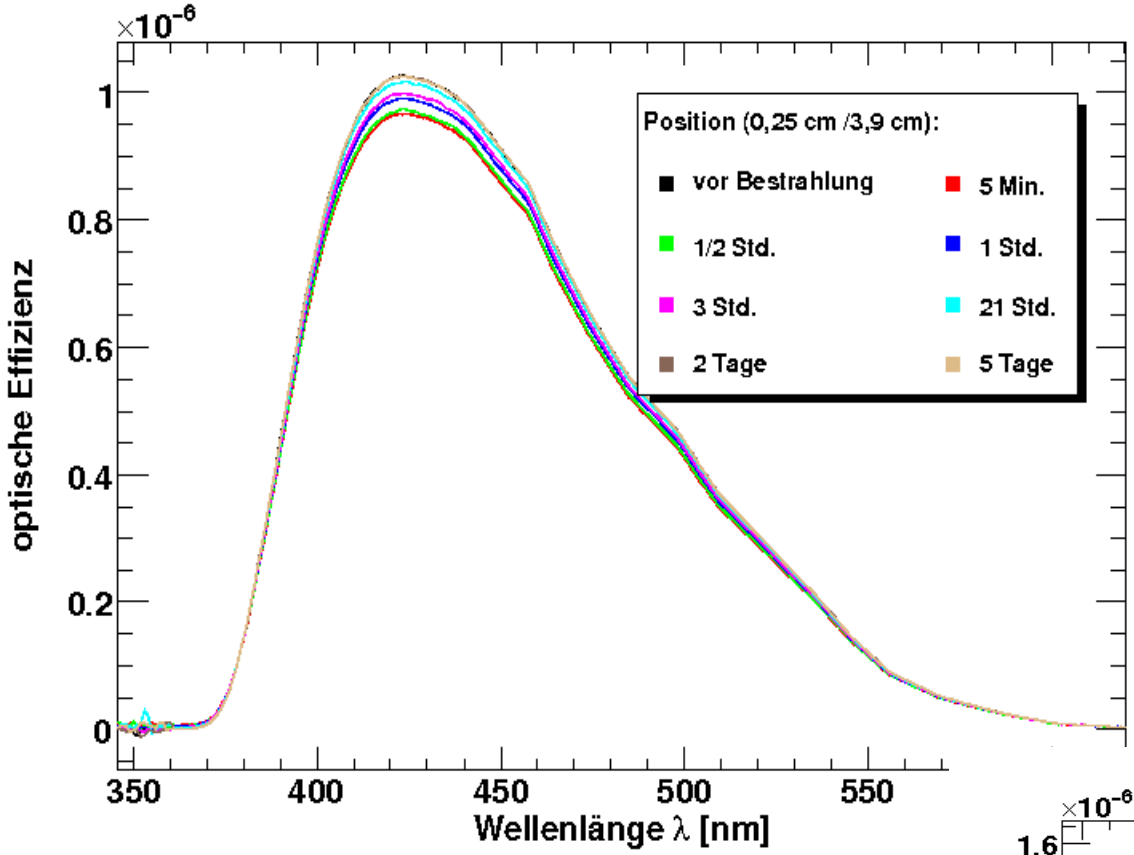
Transmissionsspektren nach verschiedenen Zeitabständen seit Ende der Bestrahlung mit 50Gy, SF57 Glas



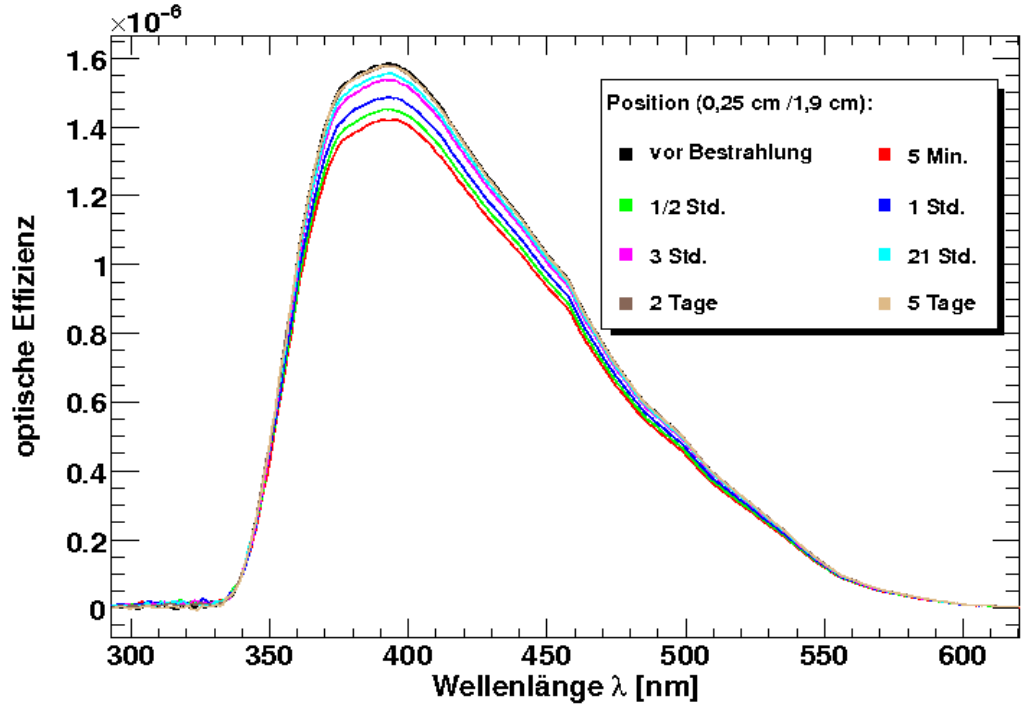

Ausheilung der Strahlenschäden , GAM–Glas bei 50Gy
Transmission τ (410nm) [%]
94
92
90
88
86
0
20
40
60
80
100
120
Zeit t [h]

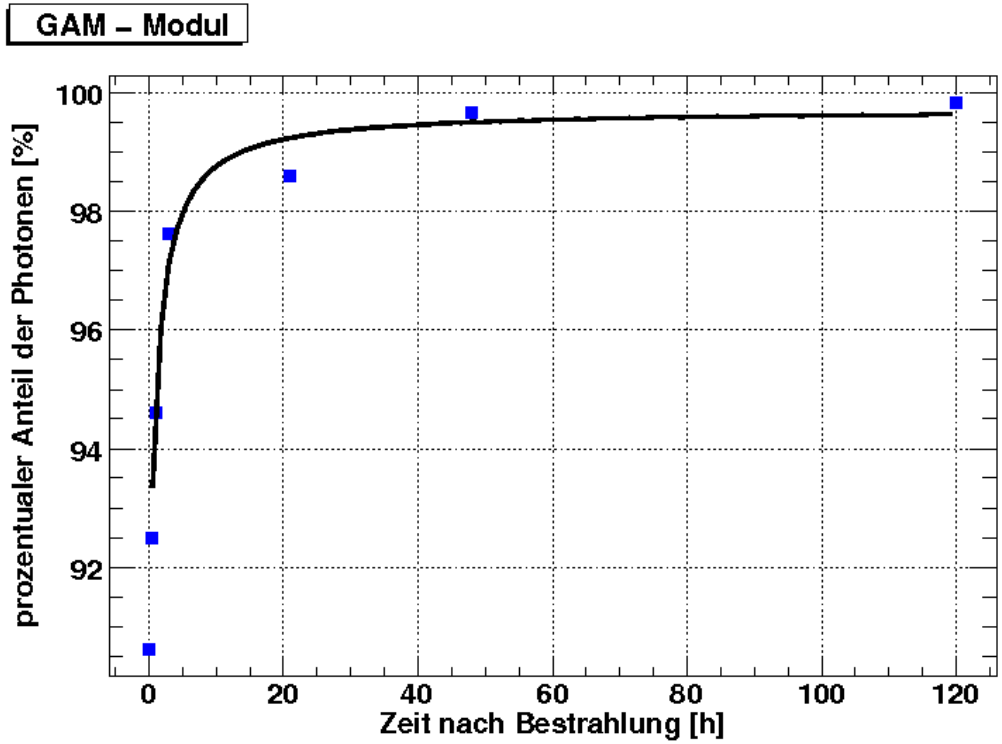

Ausheilung der Strahlenschäden , MAINZ–Glas bei 50Gy
Transmission τ (410nm) [%]
88
87
86
85
84
0
20
40
60
80
100
120
Zeit t [h]

Optische Effizienz



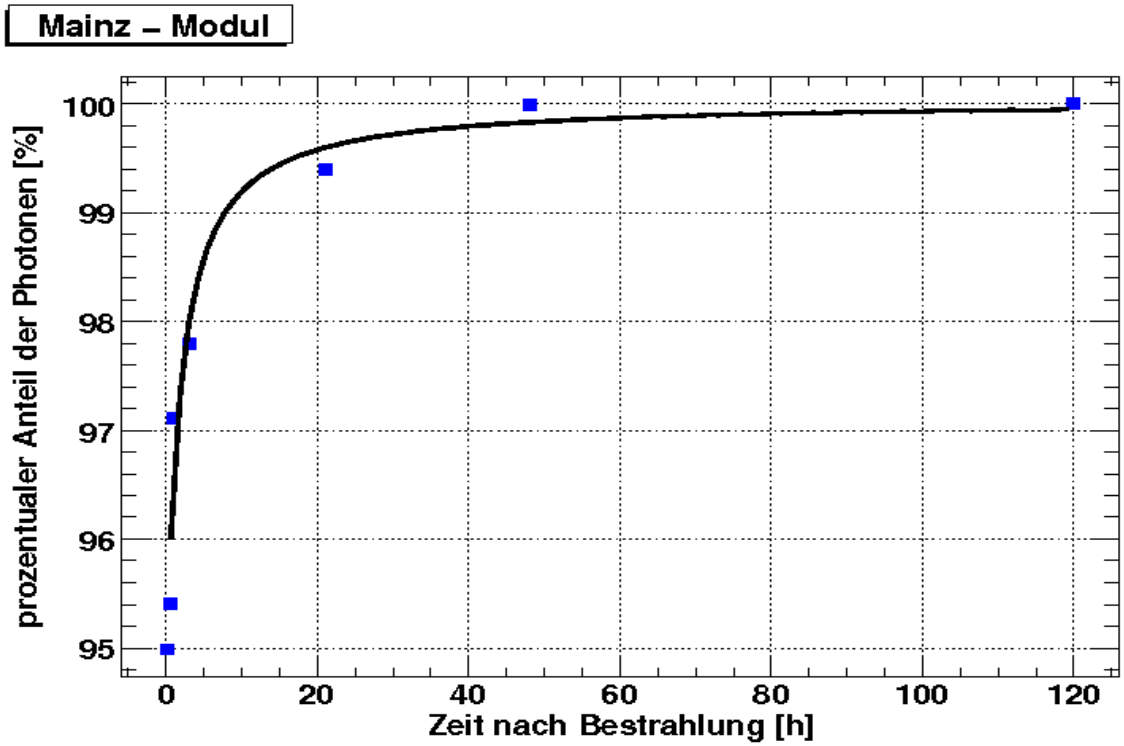
$$OE = \int \tau(\lambda) \cdot 1/\lambda^2 \cdot QE(\lambda)\ d\lambda$$





Fit - Funktion

- Theorie der Ausheilung nach Woody:
  Verlauf ähnelt einer Sättigungsfunktion
  - Hyperbelfit :
    $f(t) = (a * t - c) / (b * t - c)$



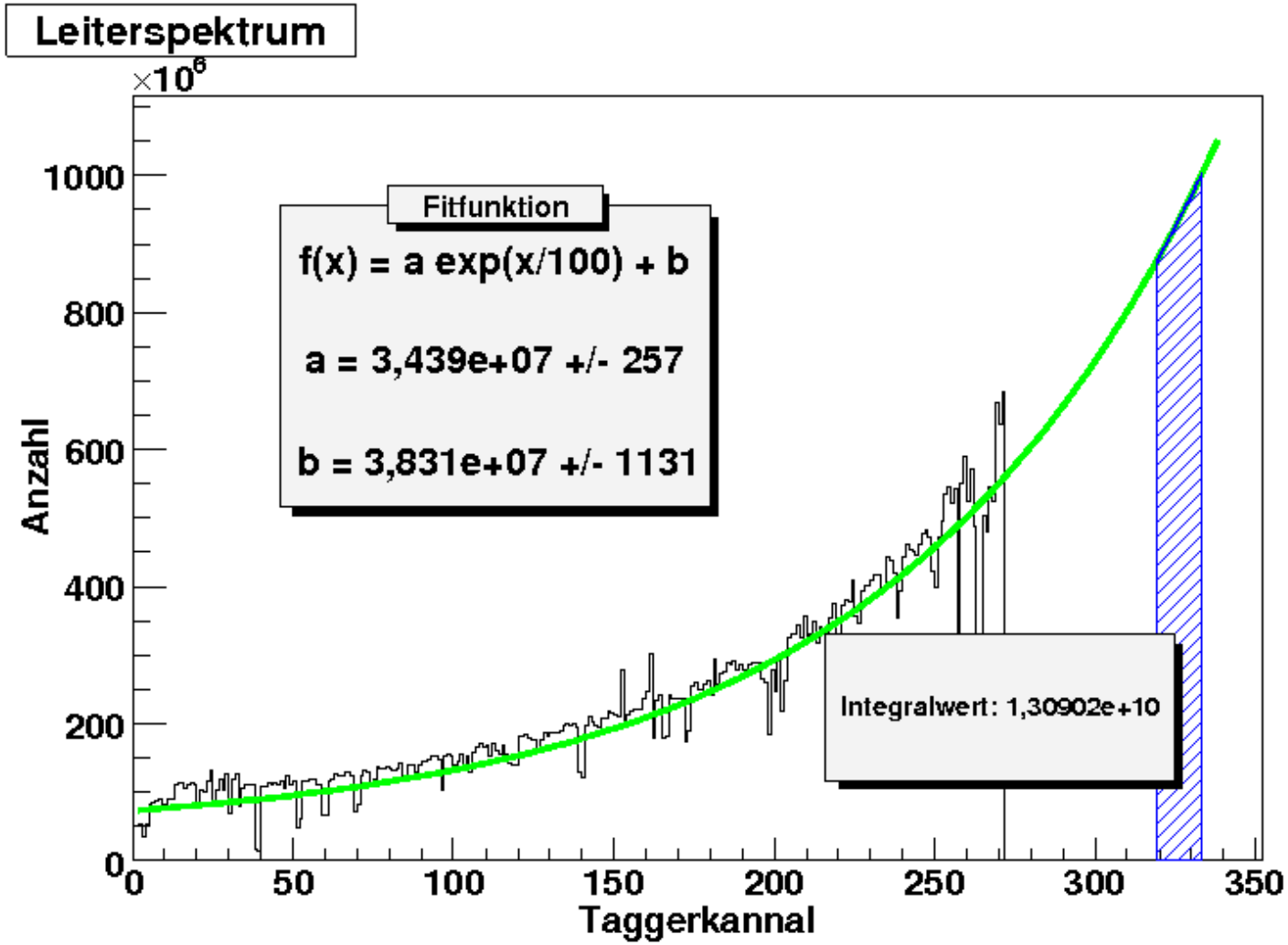
Ergebnisse

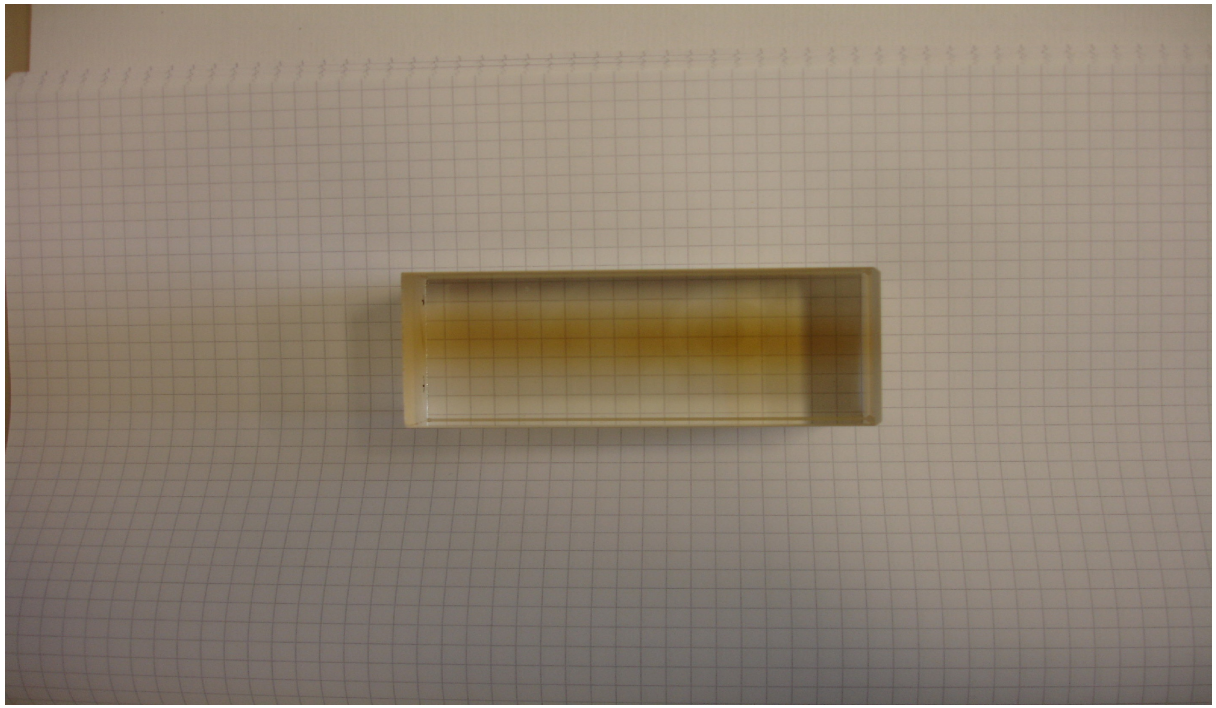
- Strahlenschäden nur in den ersten mm-Bereich
- Dort: homogener Transmissions-Rückgang
- GAM: max. 10,16% MAINZ: max. 5,57%
- Keine Absorptionsbanden
- Ausheilung bei beiden Gläsern innerhalb 5 Tagen.
  - Homog. Rückführung

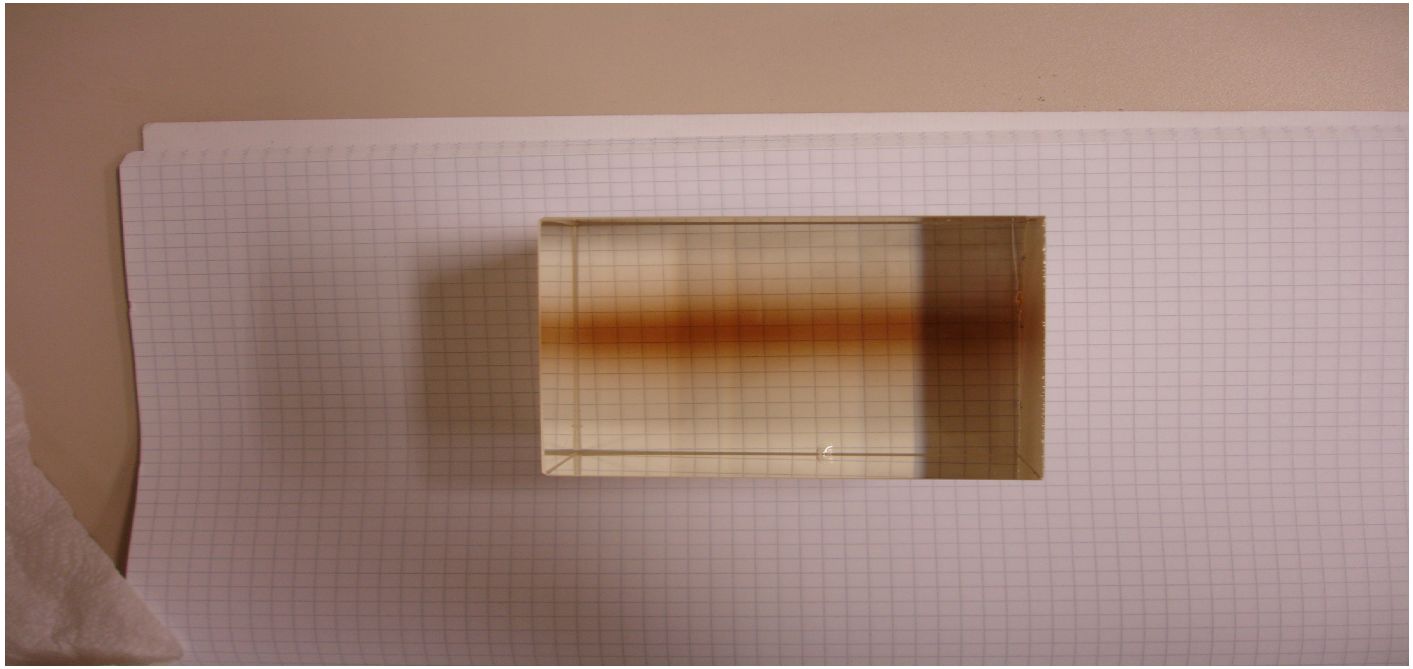
MAMI - Bestrahlung

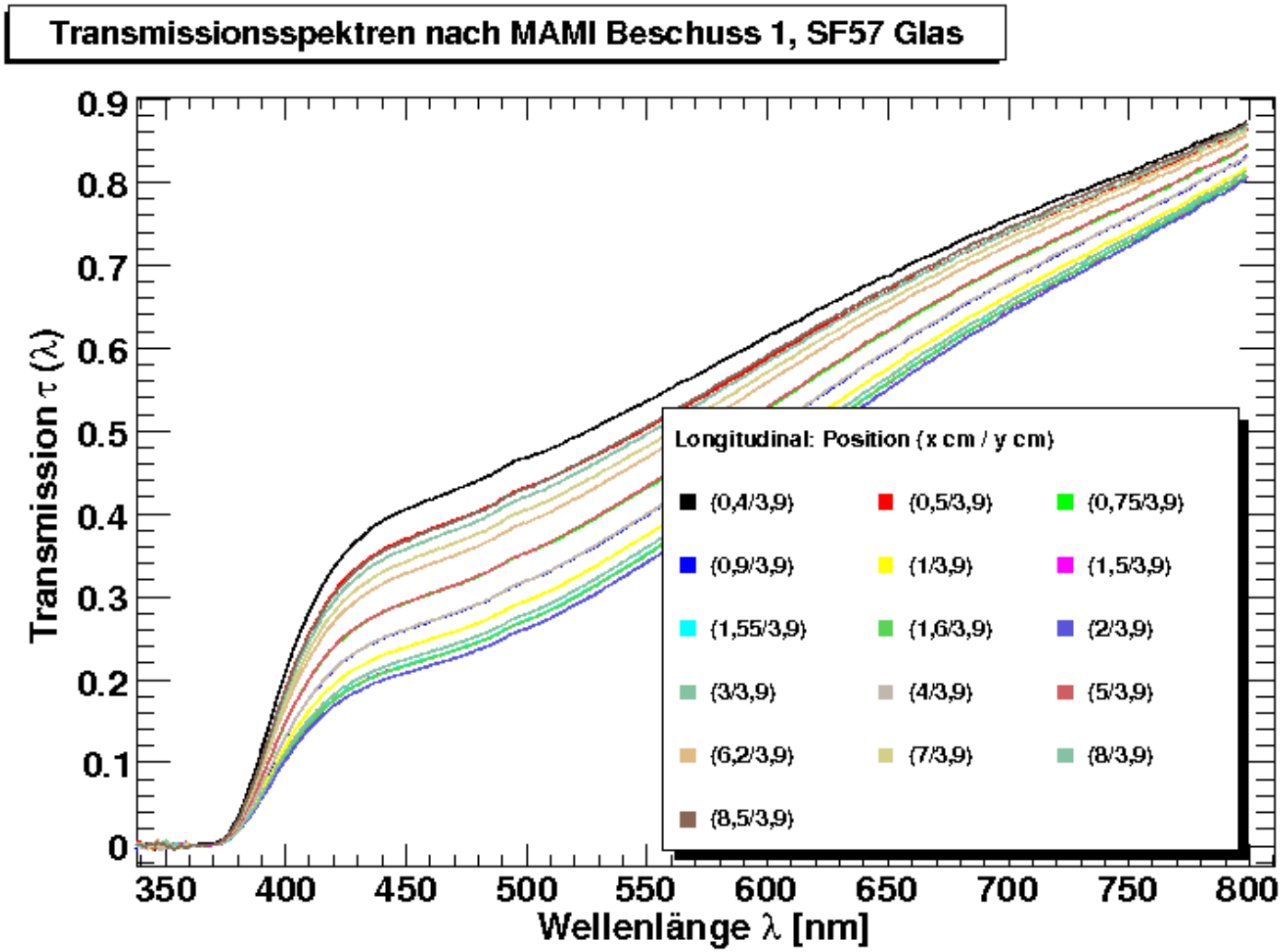
- Zur vollständigen Beschreibung der Strahlenresistenz:
- Erlangung hoher Strahlenschäden durch hochenergetische e^-
  - (elektromagn. Schauer, Bremsstrahlung & Paarerzeugung)
- A2 Halle, Gläser 5 cm hinter dem Tagger, Taggerkanäle: 319-333
- In diesem Bereich: E = 1329,89 MeV
- Bestrahlzeit: t = 45 Stunden
  - D_{GAM} = 200 kGy D_{MAINZ} = 165 kGy

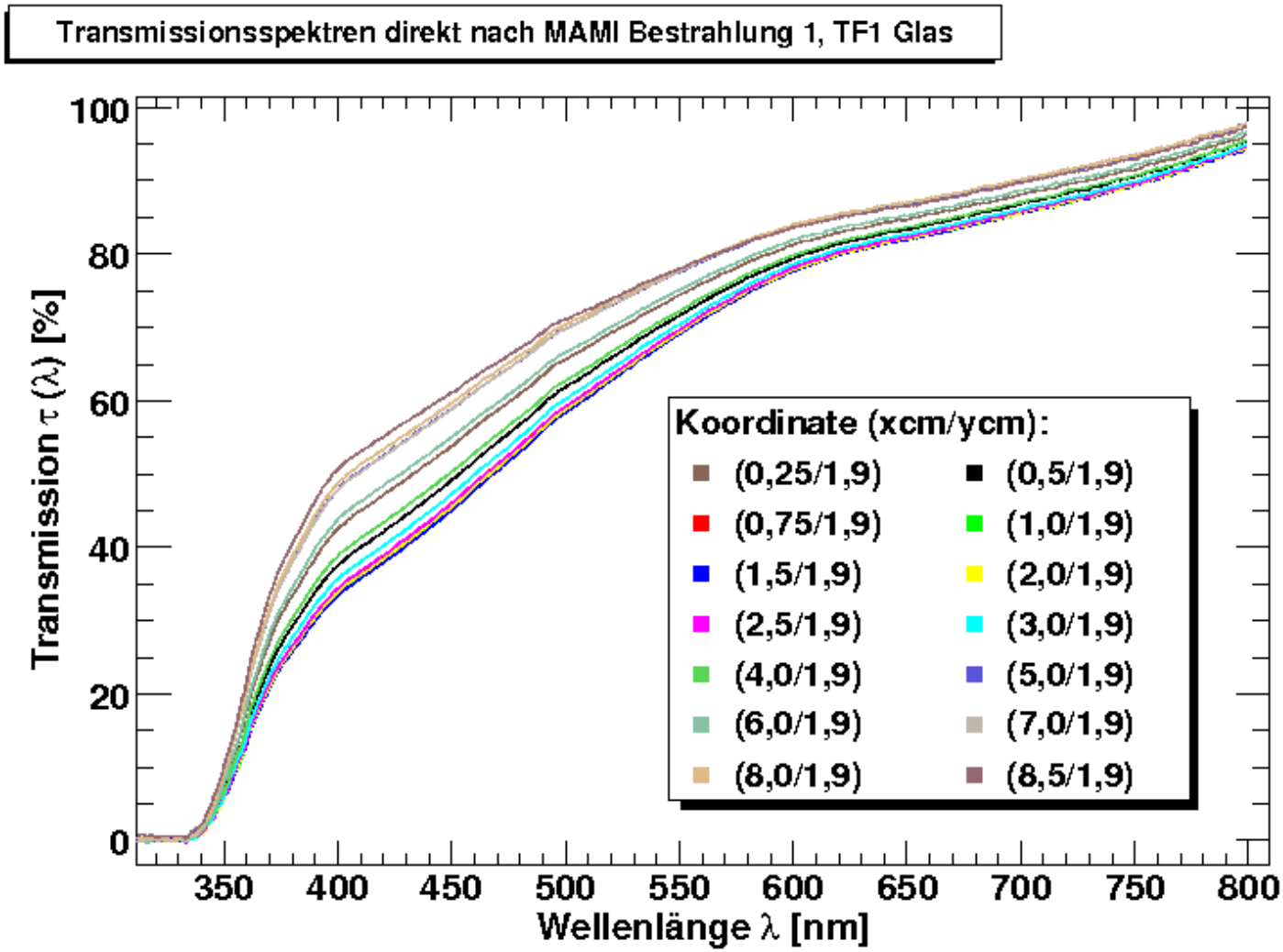
Mainz-Glasgow-Tagger


Leiterspektrum
×10^6
1000
800
600
400
200
0
Anzahl
0
50
100
150
200
250
300
350
Taggerkannal
Fitfunktion
f(x) = a exp(x/100) + b
a = 3,439e+07 +/- 257
b = 3,831e+07 +/- 1131
Integralwert: 1,30902e+10






Transmissionsspektren nach MAMI Beschuss 1, SF57 Glas
Transmission τ (λ)
Wellenlänge λ [nm]
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
350
400
450
500
550
600
650
700
750
800
Longitudinal: Position (x cm / y cm)
(0,4/3,9)
(0,5/3,9)
(0,75/3,9)
(0,9/3,9)
(1/3,9)
(1,5/3,9)
(1,55/3,9)
(1,6/3,9)
(2/3,9)
(3/3,9)
(4/3,9)
(5/3,9)
(6,2/3,9)
(7/3,9)
(8/3,9)
(8,5/3,9)

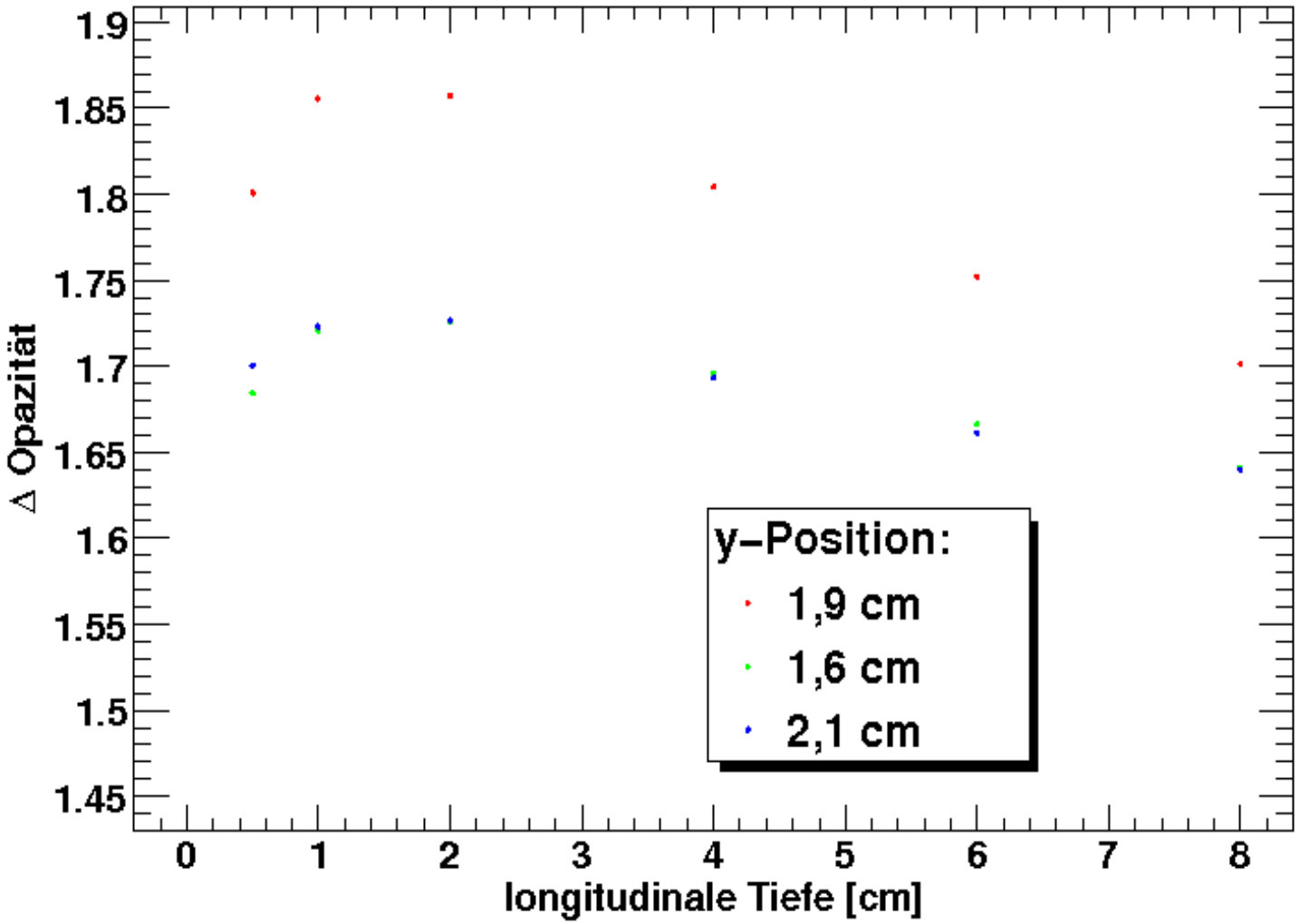

Transmissionsspektren direkt nach MAMI Bestrahlung 1, TF1 Glas
Transmission τ (λ) [%]
Wellenlänge λ [nm]
0
20
40
60
80
100
350
400
450
500
550
600
650
700
750
800
Koordinate (xcm/ycm):
(0,25/1,9)
(0,5/1,9)
(0,75/1,9)
(1,0/1,9)
(1,5/1,9)
(2,0/1,9)
(2,5/1,9)
(3,0/1,9)
(4,0/1,9)
(5,0/1,9)
(6,0/1,9)
(7,0/1,9)
(8,0/1,9)
(8,5/1,9)

Opazität

- Einen besseren Überblick der Strahlenschäden in gewissen longitudinalen Tiefen liefert die Opazität
- $O(\lambda)$ ist der mittl. Absorptionskoeff. $\langle k \rangle$ im relevanten Spektralbereich (250 nm – 800 nm)
- Somit: aus einer Transmissionskurve kann so die Stärke der Schäden durch Bildung von:

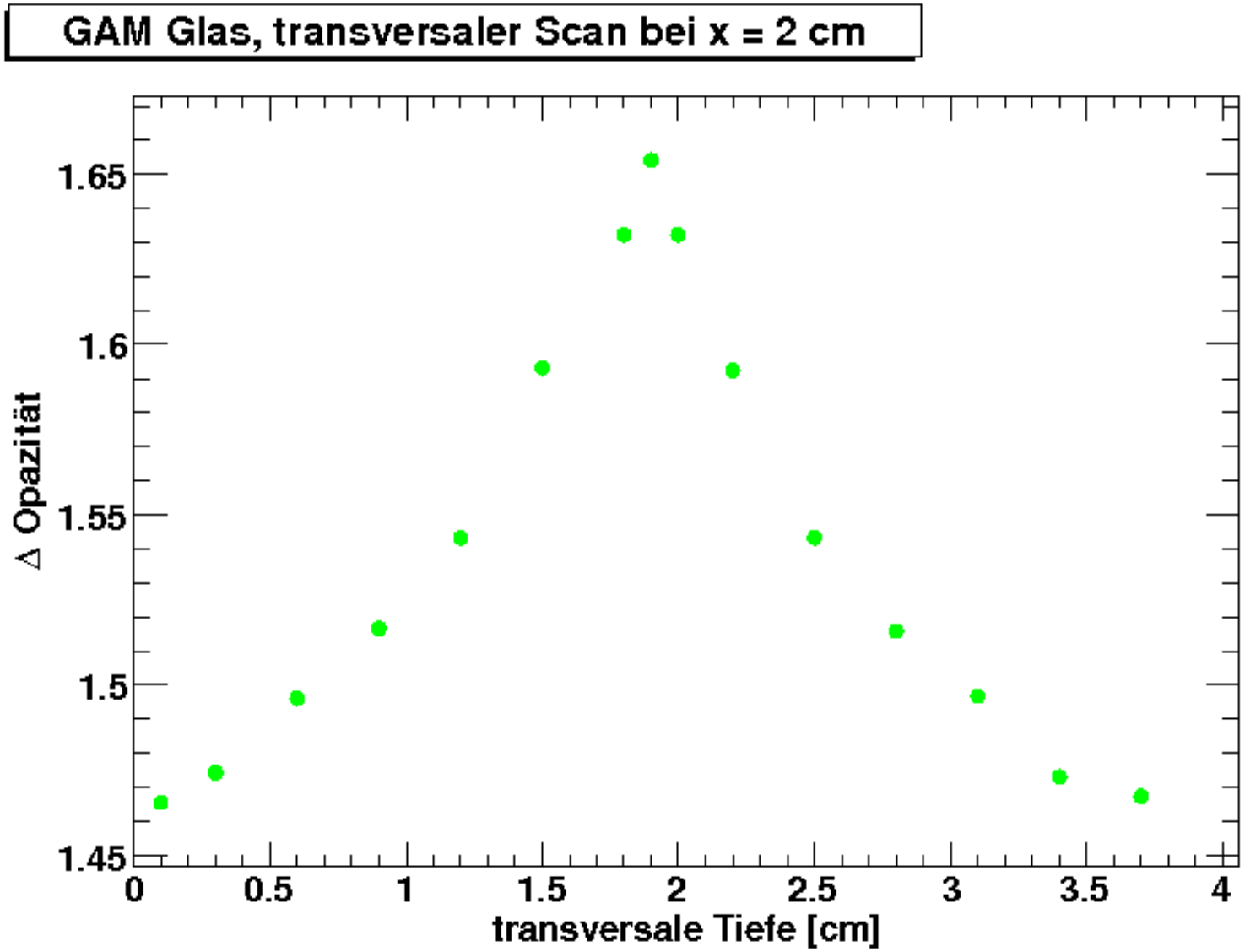
$$\Delta O = \Delta k = \langle k_{irr} \rangle - \langle k_0 \rangle \quad \text{induzierte Opazität}$$

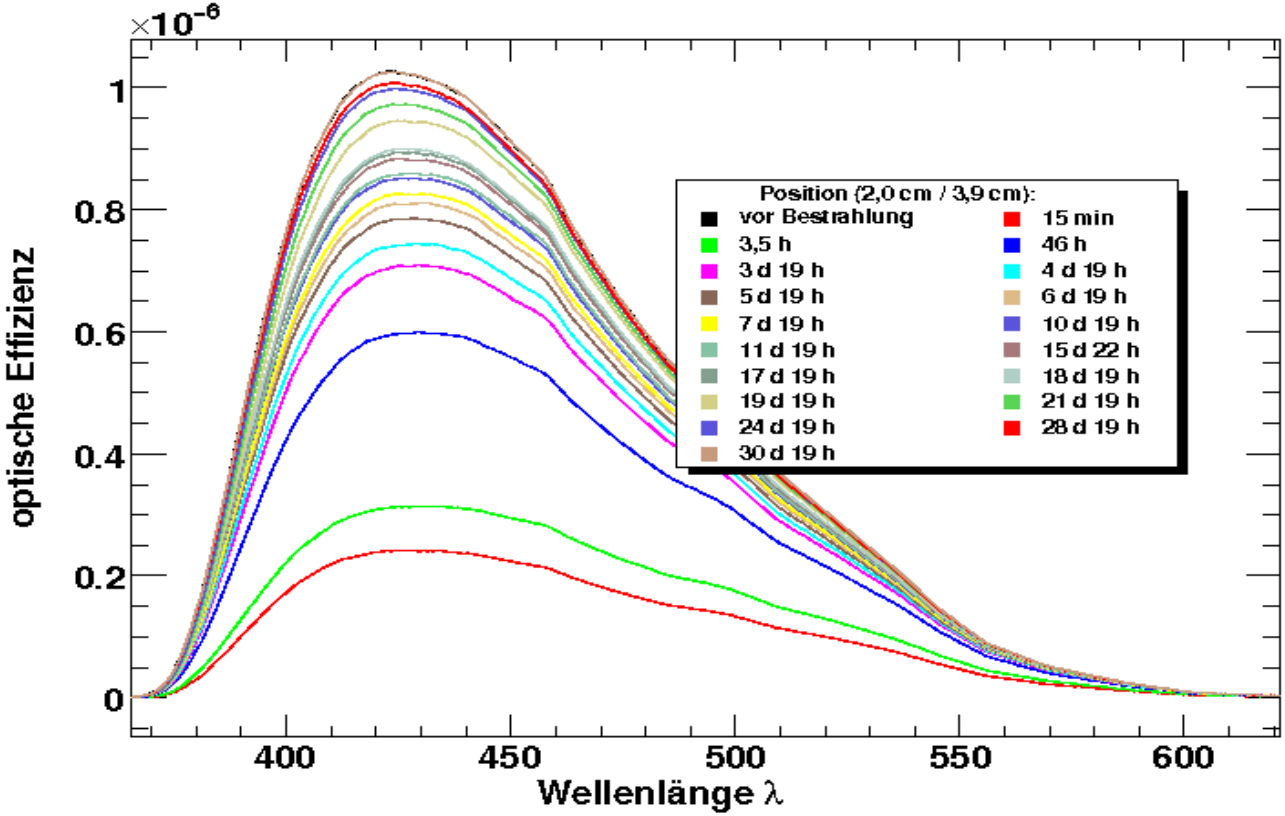
ersichtlich werden.

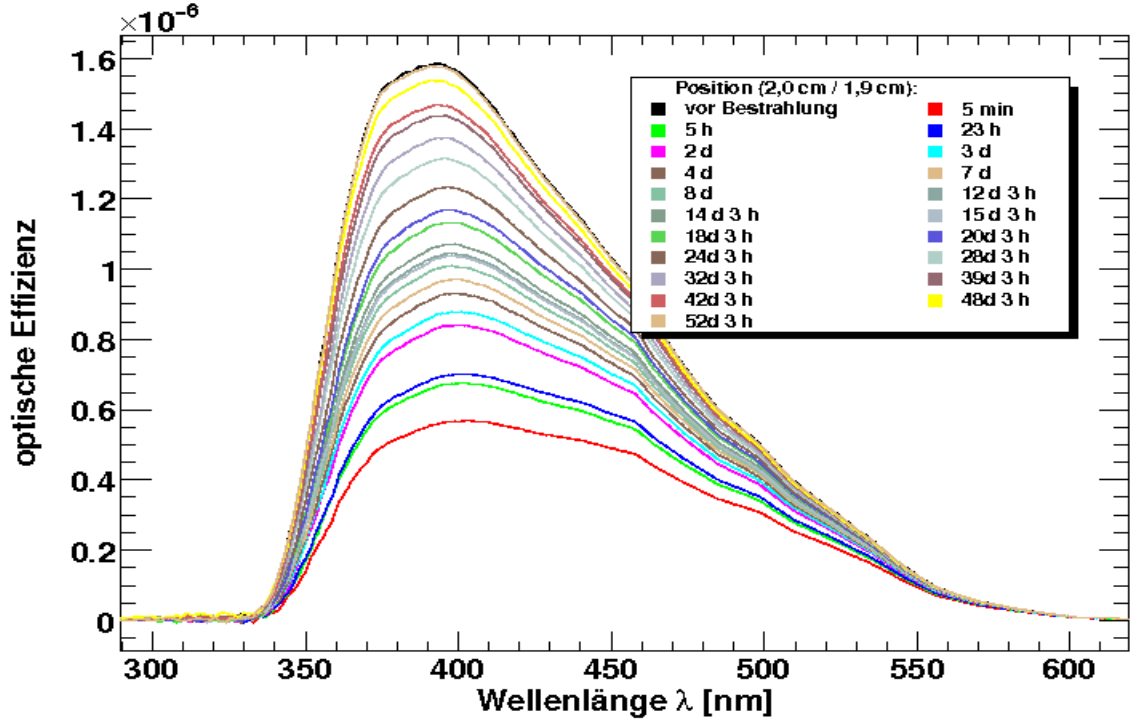


Schauermaximum x ≈ 2 cm

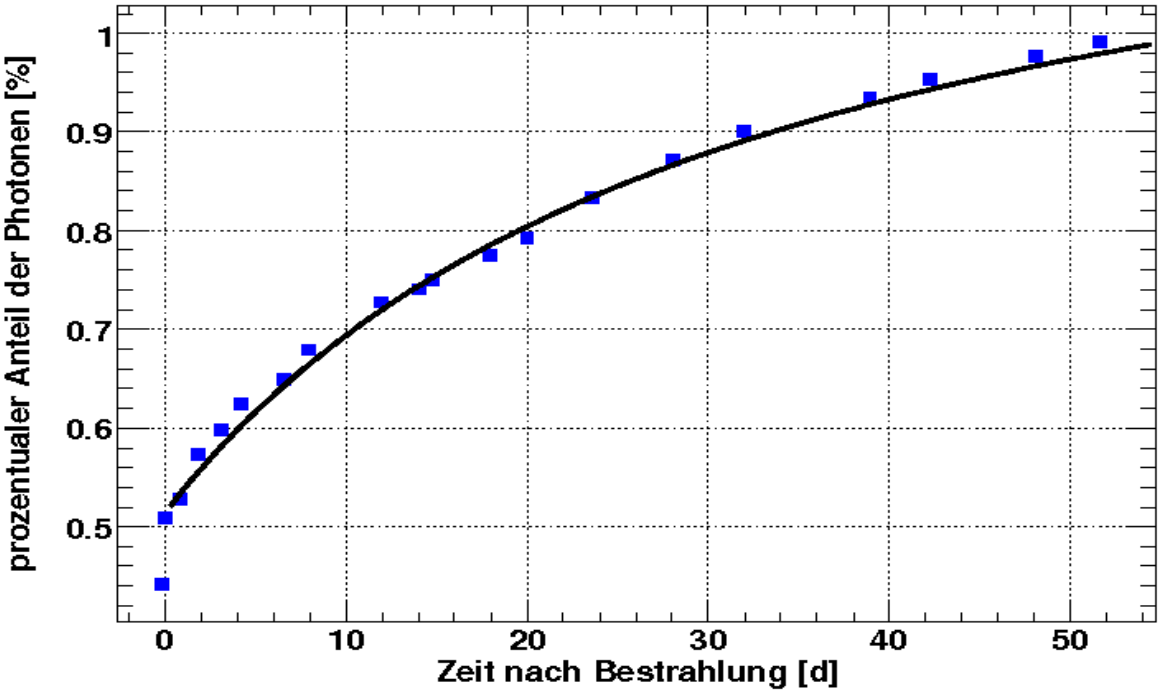
Graphen rechtfertigen
Untersuchungen in der Höhe :
y = 1,9 cm bzw. y = 3,9 cm


GAM Glas, transversaler Scan bei x = 2 cm
Δ Opazität
1.65
1.6
1.55
1.5
1.45
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
transversale Tiefe [cm]

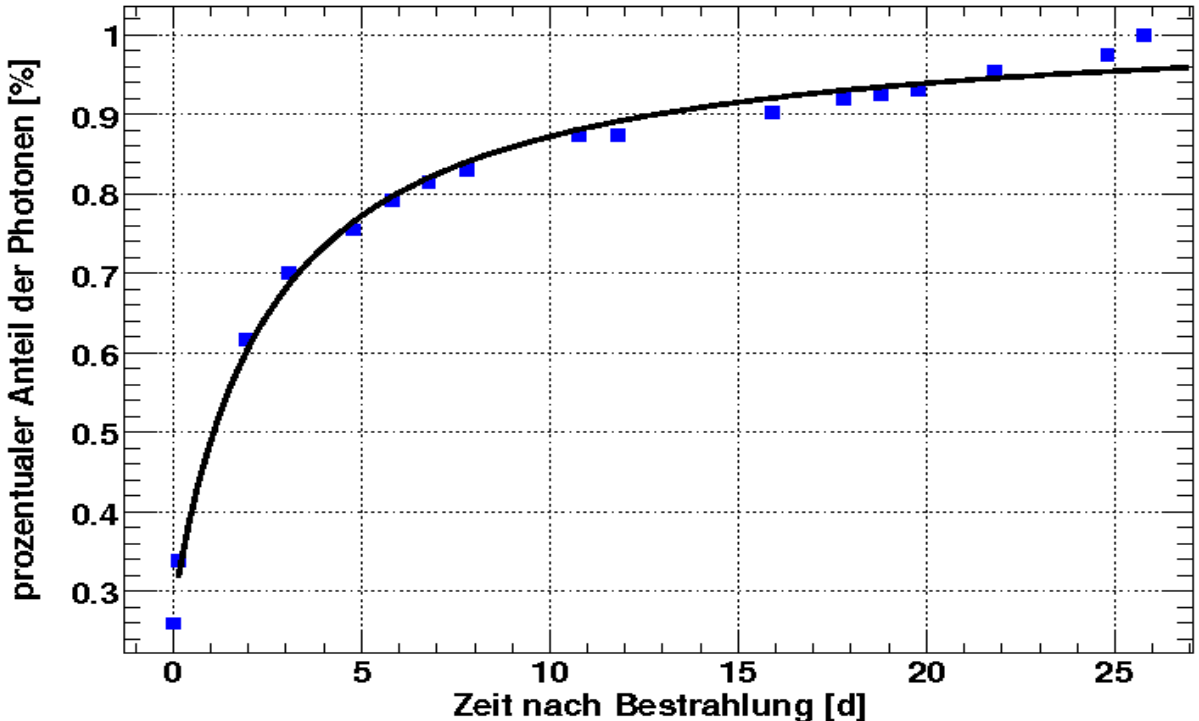

×10⁻⁶
optische Effizienz
Wellenlänge λ
Position (2,0 cm / 3,9 cm):
vor Bestrahlung
3,5 h
3 d 19 h
5 d 19 h
7 d 19 h
11 d 19 h
17 d 19 h
19 d 19 h
24 d 19 h
30 d 19 h
15 min
46 h
4 d 19 h
6 d 19 h
10 d 19 h
15 d 22 h
18 d 19 h
21 d 19 h
28 d 19 h


×10⁻⁶
optische Effizienz
Wellenlänge λ [nm]
Position (2,0 cm / 1,9 cm):
vor Bestrahlung
5 h
2 d
4 d
8 d
14 d 3 h
18d 3 h
24d 3 h
32d 3 h
42d 3 h
52d 3 h
5 min
23 h
3 d
7 d
12 d 3 h
15 d 3 h
20d 3 h
28d 3 h
39d 3 h
48d 3 h

GAM – Modul



Mainz – Modul



Ergebnisse

Direkt nach Bestrahlung:

GAM: 43,19% Č-Photonen MAINZ: 25,94% Č-Photonen

zeitl. Ausheilen:

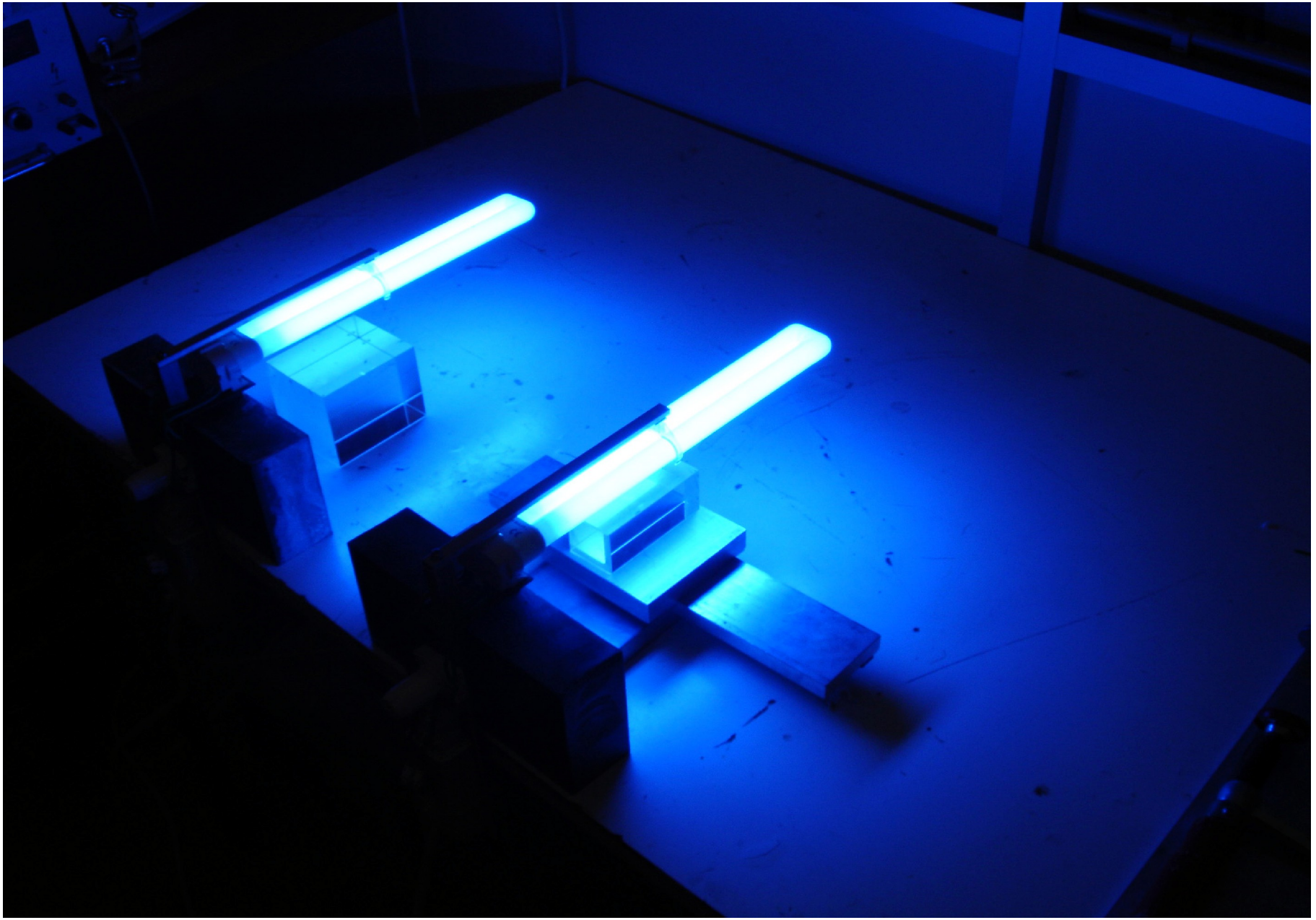
52 d 28 d

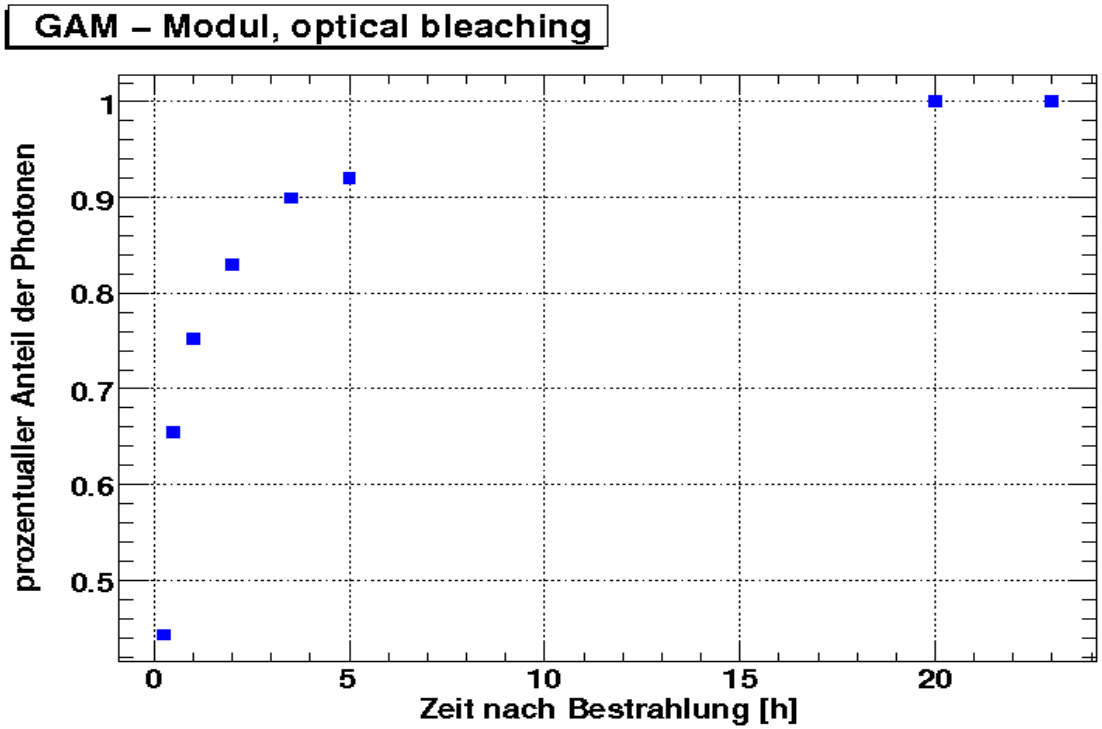
- GAM strahlenresistenter
- MAINZ jedoch deutlich schnellere Ausheilung (Dichte, Pb-Gehalt)

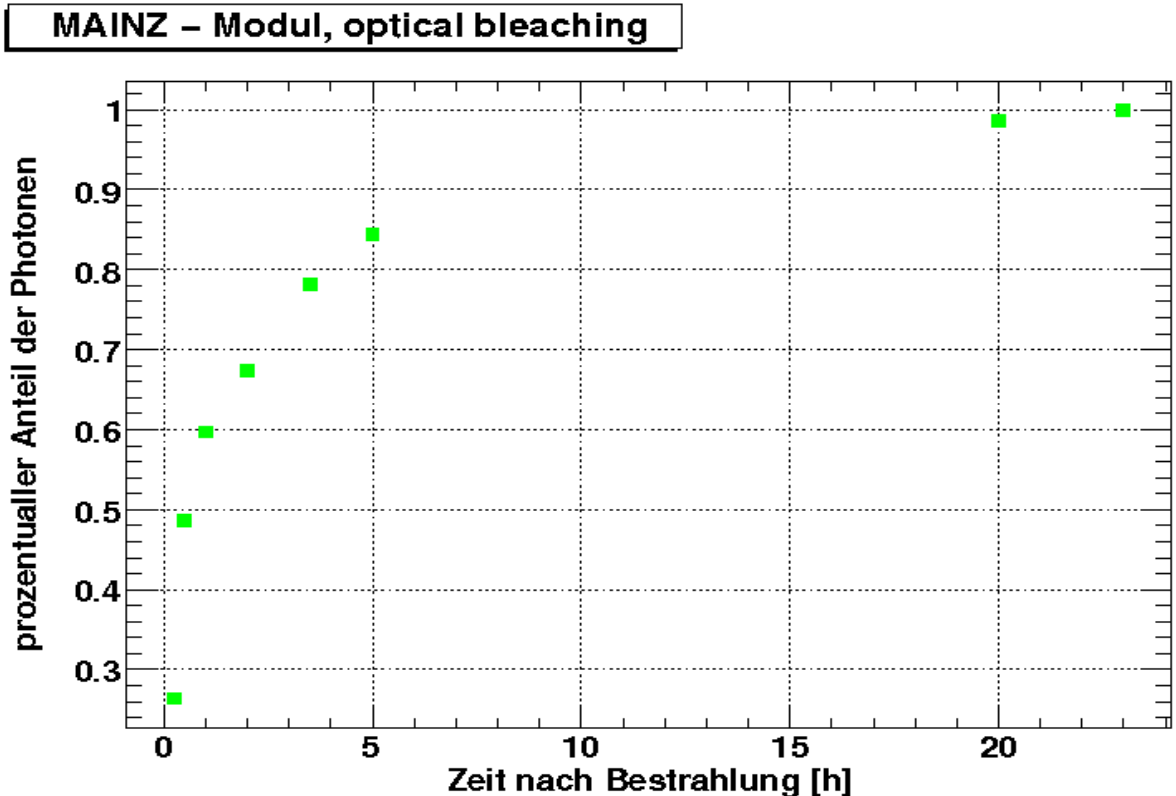
„optical bleaching“

- Auflösung der Farbzentren kann deutlich beschleunigt werden:
  - Ausheizen T ≈ 400 °C (S. Kuptsov 1995)
  - Opt. Bleaching (C. Woody 1990-1993)
- A4-Gruppe: Kompakt-Leutstoffröhren, blauer Spektralbereich (P. Achenbach 2001)

Ausheilung unter solchen Lampen schon nach einigen Stunden möglich!




GAM – Modul, optical bleaching
prozentualler Anteil der Photonen
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0
5
10
15
20
Zeit nach Bestrahlung [h]


MAINZ – Modul, optical bleaching
prozentualler Anteil der Photonen
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0
5
10
15
20
Zeit nach Bestrahlung [h]

Ergebnisse

- Ausheilung nach einer Beleuchtungszeit von t = 26 Stunden

- Vergleich der beiden Verfahren:
  - MAINZ (3,5h) RT: 33,37% OB: 72,21%
  - GAM (5h) RT: 51,75% OB: 92,10%

Energiedosis im Spektrometer

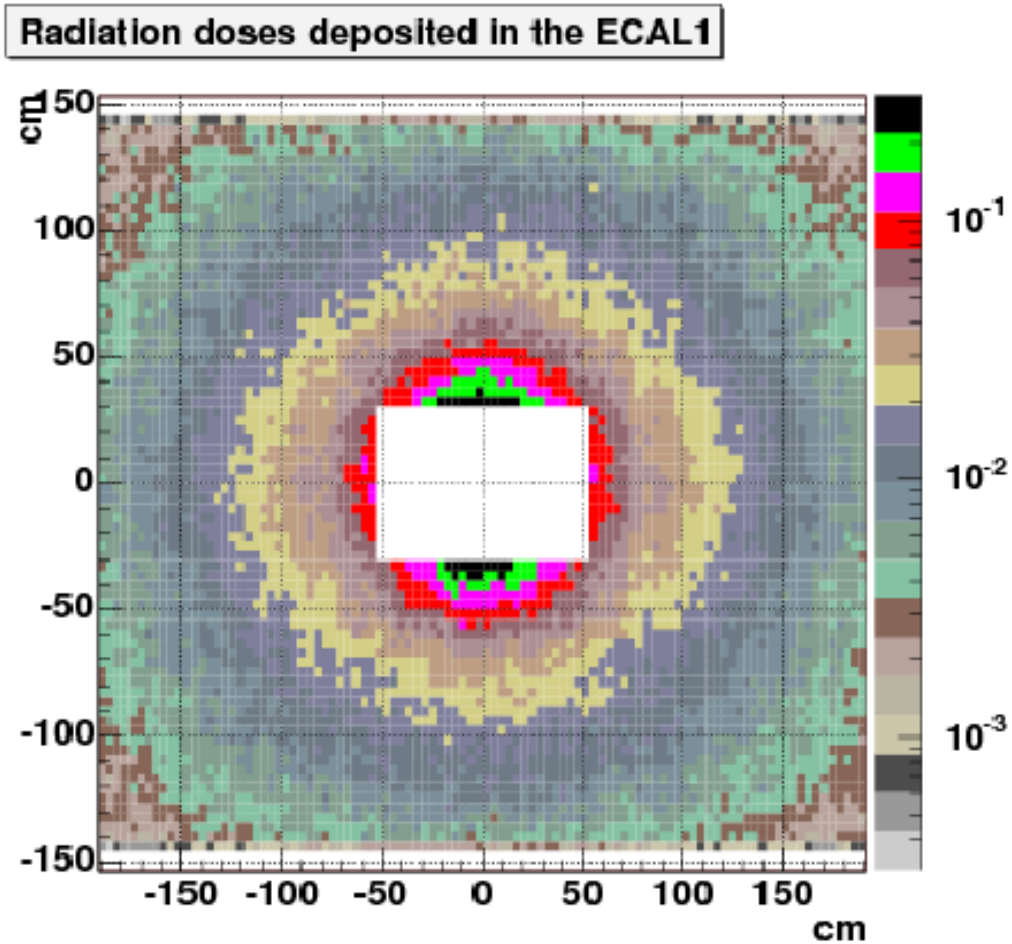
- Um eine akzeptable Auflösung sicherzustellen:
  Energiedosis muss kleiner als 3-5 Gy für 100 Tage Betriebszeit sein $\rightarrow$ $(0{,}13\text{-}0{,}21)*10^{-2}$ Gy/h [JAER-Institut 1993]

- COMPASS: max. Intensität eines 190 GeV positiven Hadronen-Strahls 10^8 Teilchen/Spill

- Diese Tatsache kann dazu führen, dass die deponierte Energiedosis in den ECALs das akzeptable Limit der Bleigläser überschreitet.

Simulation

- Monte-Carlo-Simulation (COMGEANT)
  - 2006, IHEP Protvino
- 190 GeV negativer Pionenstrahl mit $5*10^8$ Teilchen/Spill, 350 d
- ECAL1; 14 m hinter Target



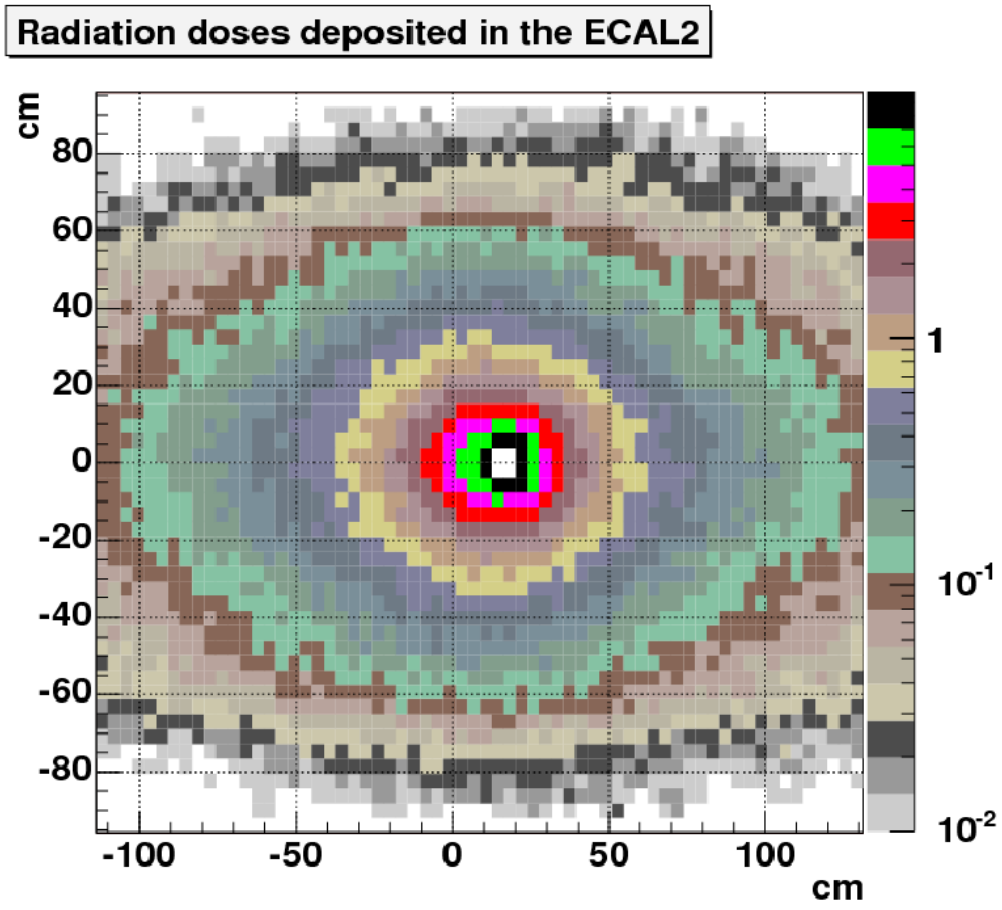
- Einheit [rad/h] 1
  Gy = 100 rad

- Spitzenwerte:
  D = 0,1*3*24*100 = 720 rad

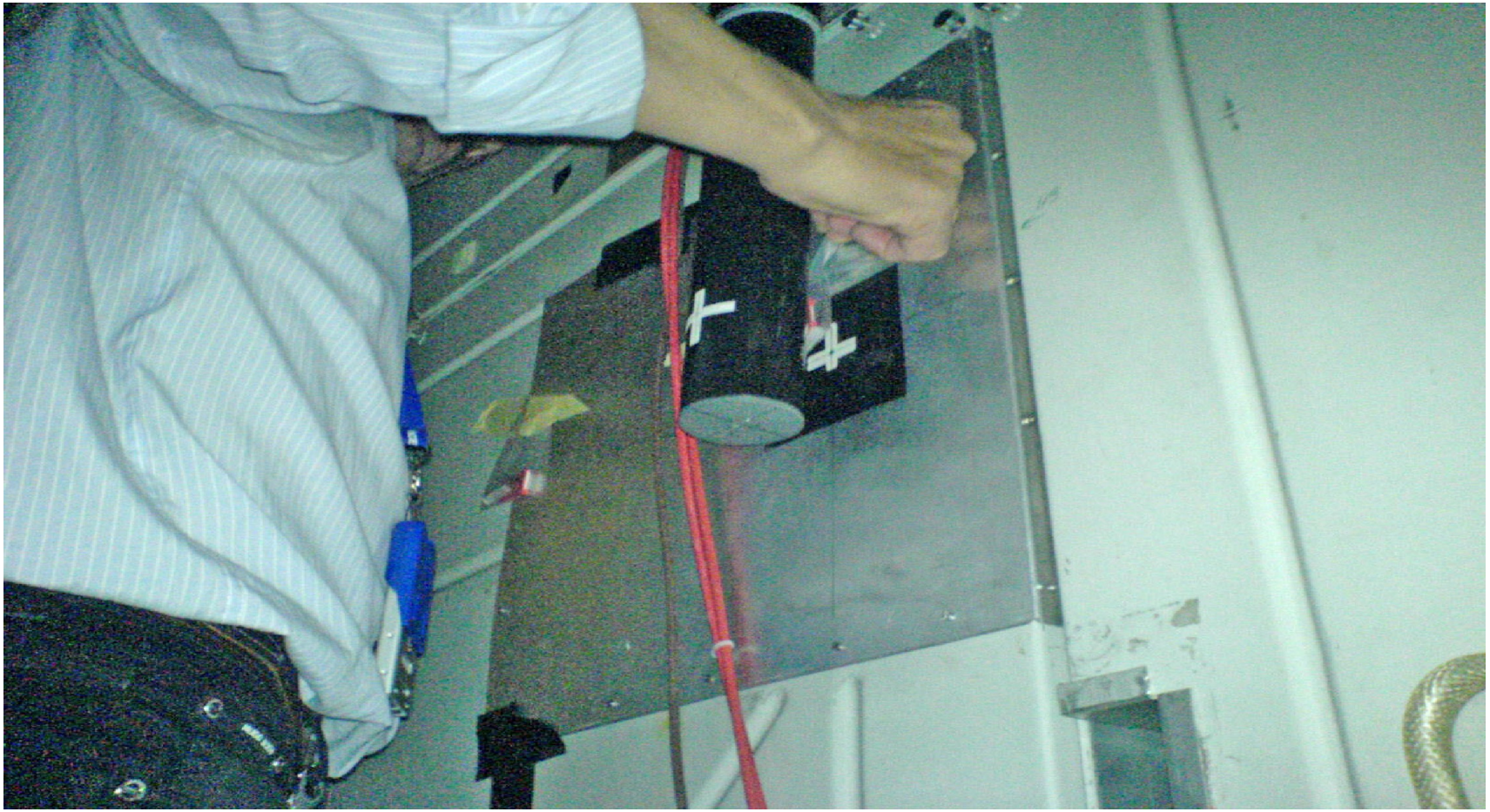
  7,2 Gy > 3-5 Gy

- Ab roten Bereich: ungefährlich für Gläser!

- Simulation fordert, dass die innersten GAM-Module durch strahlenhärtere TF101-Gläser ersetzt werden müssen!


Radiation doses deposited in the ECAL2
cm
80
60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
-50
0
50
100
cm
1
10^{-1}
10^{-2}

Dosimeter



Thermolumineszenzdosimeter

- 2 unterschiedliche „Knopfdosimeter“ wurden am Ende der Strahlzeit 2008 für 5 Tage an bestimmten Hotspots auf den Oberflächen der ECALs fixiert

- Hohe Strahlenempfindlichkeit, dynam. Messbereich: 10^{-6}-10^{3} Gy
- Dosimetertyp-N enthält natürl. Lithium, bildet das Verhältnis der beiden Nuklide ^{6}Li & ^{7}Li in der Isotropenmischung der Erde ab (7,4% ^{6}Li und 92,6% ^{7}Li)
  - ^{6}Li hat einen recht hohen WQ für ^{6}Li(n,α)^{3}He
    - Sensitiv auf thermische Neutronen

- Dosimetertyp-7 enthält lediglich ^{7}Li-Nuklid

Ergebnisse

5 Tage Strahlzeit

Typ-Nr.	x [cm]	y [cm]	Dose-7 [mGy]	Dose-N [mGy]
#3	0	-5	10,8	9,6
#4	0	3	12,4	11,6
#5	-3	0	7,5	7,2
#6	-43	0	3,7	4

Vergleich für 150 d Strahlzeit

Typ-Nr.	Dose-7 [Gy]	Dose-N [Gy]	Simulation [Gy]
#3	0,322	0,288	10,8
#4	0,372	0,348	10,8
#5	0,225	0,216	3,6
#6	0,111	0,120	1,3

- Deutl. Abweichungen zwischen Simulation & Dosimeter!!!
  Beachte: COMPASS: $2{,}5*10^7$ Hadronen/Spill (R. Geyer)
- Kalkulation auf 100 d: erreichten Energiedosen liegen deutl. Unterhalb des zugelassenen Limits
  - Spitzenwert (Typ Nr.#4 Dose-7) 0,248 Gy
    - Etwa eine Größenordnung kleiner als erlaubte 3-5 Gy