

Messungen an anorganischen szintillierenden Fasern

Tobias Triffterer

04. Juni 2010

- ▶ Szintillatoren
- ▶ Anorganische Fasern
- ▶ Messaufbauten
- ▶ Auswertungsverfahren
- ▶ Ergebnisse
- ▶ Schlussfolgerungen

- ▶ Dienen der Messung hochenergetischer Teilchen und Photonen
- ▶ Wandeln deren kinetische Energie in (sichtbares) Licht um
- ▶ Erzeugte Lichtmenge ist proportional zur dissipierten Energie
- ▶ Szintillationslicht wird durch Photodetektoren wie PMT, APD, VPT(T) in ein elektrisches Signal umgewandelt
- ▶ Digitalisierung durch ADCs

- ▶ Energieverlust schwerer Teilchen (d. h. $m \gg m_e$) wird durch Bethe-Bloch-Gleichung beschrieben:

$$\frac{-dE}{dx} = \frac{4\pi N_A r_e^2 m_e c^2}{A} z^2 \frac{Z}{A} \frac{1}{\beta^2} \left(\frac{1}{2} \ln \left(\frac{2 m_e c^2 \beta^2 \gamma^2 T_{max}}{I^2} - \beta^2 - \frac{\delta(\beta \gamma)}{2} \right) \right)$$

- ▶ Energieverlust hauptsächlich durch Stöße mit Hüllenelektronen, die zur Ionisation führen
- ▶ Stöße mit Kernen i. d. R. vernachlässigbar
- ▶ Bei hohen Energien zusätzlich Polarisierungseffekte

- ▶ Zwei Effekte verantwortlich
 - Ionisation durch WW mit Hüllenelektronen
 - Bremsstrahlung im E-Feld der Kerne
 - Bei Positronen noch Annihilation möglich
- ▶ Charakteristische Größe: Strahlungslänge

$$\frac{1}{X_0} = 4 \alpha r_e^2 \frac{N_A}{A} \left(Z^2 [L_{rad} - f(Z)] - Z L'_{rad} \right)$$

- ▶ Nach X_0 Abfall auf e^{-1} der Ausgangsenergie
- ▶ $f(Z)$ gegeben durch empirische Formel

- ▶ Verantwortliche Prozesse
 - Direkte Absorption (Photoel. Effekt)
 - Compton-Streuung
 - Rayleigh-Streuung
 - e^+e^- -Paarproduktion
- ▶ Bei Compton- und Rayleigh-Streuung gibt das Photon nur einen Teil seiner Energie ab.
- ▶ Paarproduktion nur bei Energien über 1,022 MeV und nur im Feld (schwerere) Kerne möglich (Energie- und Impulserhaltung).

- ▶ Szintillatoren werden nach ihrem Material in organische und anorganische Szintillatoren aufgeteilt
- ▶ Lichterzeugung durch unterschiedliche Mechanismen
- ▶ Unterschiedliche Formen und Einsatzgebiete

- ▶ Bestehen i. d. R. aus langkettigen Kohlenwasserstoffmolekülen
- ▶ Lichterzeugung neben Rekombination ionisierter Atome hauptsächlich durch angeregte Molekülschwingungen
- ▶ Nahezu jede Geometrie möglich
- ▶ Niedrige Kosten
- ▶ Geringe Lichtausbeute
- ▶ Geringe Eignung für hohe Energien

- ▶ Materialien mit hoher Kernladungszahl
- ▶ Dotierter Kristall
- ▶ Lichterzeugung durch Ionisation
- ▶ Schwach gebundenes Elektron-Loch-Paar rekombiniert an Dotierstelle
- ▶ Gute Lichtausbeute und hohes Bremsvermögen
- ▶ Oft hygroskopisch
- ▶ Lange Abklingzeiten
- ▶ Größe und Geometrie durch Stabilität begrenzt

- ▶ Anorganische Szintillatoren in einer Form, die vorher nur mit organischen Materialien realisierbar war.
- ▶ Material: Lutetiumaluminiumgarnet (LuAG), dotiert mit Cerium
- ▶ Natürliches Lutetium enthält radioaktives Isotop ^{176}Lu , Halbwertszeit $4 \cdot 10^{10}$ a
- ▶ Eigenaktivität der Faser: etwa 2,8 Bq
- ▶ Großer Nachteil: Fasern sind extrem empfindlich und zerbrechlich

Eigenschaften der Fasern

Länge	10 cm
Durchmesser	400 μm
Dichte	6,3 g/cm^3
Eff. Kernladungszahl	62,9
Strahlungslänge	1,41 cm
Lichtausbeute	20.000 Photonen/MeV
Emissionswellenlänge	535 nm
Abklingzeit	70 ns
Brechungsindex	1,842 bei $\lambda = 633 \text{ nm}$
Cerenkov-Grenzenergie für Elektronen	97 keV
Cerenkov-Grenzwinkel	57°
Totalreflexionswinkel	33°

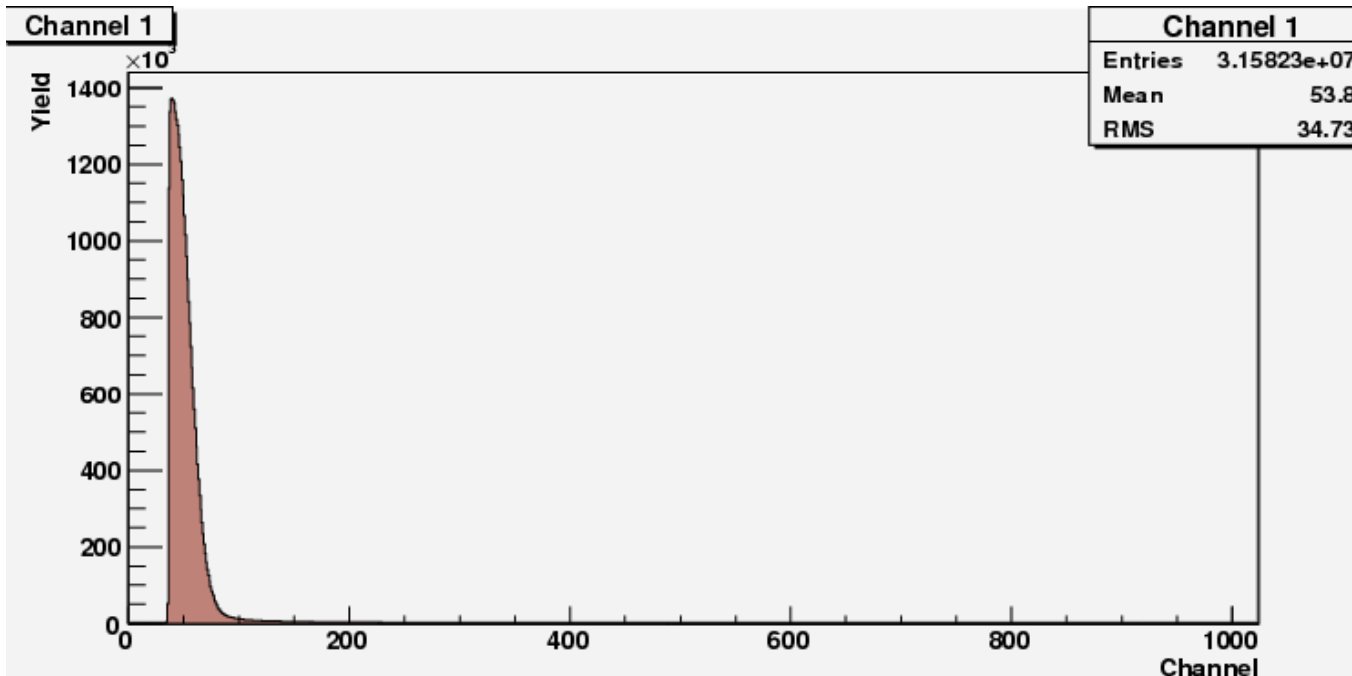
Quelle: Fibercryst (Hersteller)

Messaufbau (1)

- ▶ Faser in V-Profil aus Holz gelagert
- ▶ Mit optischem Gel an PMT gekoppelt
- ▶ Signal über Linearverstärker auf einen ADC gegeben und im Computer aufgenommen
- ▶ Quelle auf das V-Profil gelegt
- ▶ Gesamter Messaufbau in einer lichtdichten Kiste untergebracht
- ▶ Anfangs wurde noch ein Vorverstärker verwendet

Ergebnisse (1)

- ▶ Keinerlei Szintillatorspektrum erkennbar
- ▶ Starke Rauschüberlagerung
- ▶ Alle Histogramme zeigen exponentiellen Abfall
- ▶ Keine Auswertung möglich

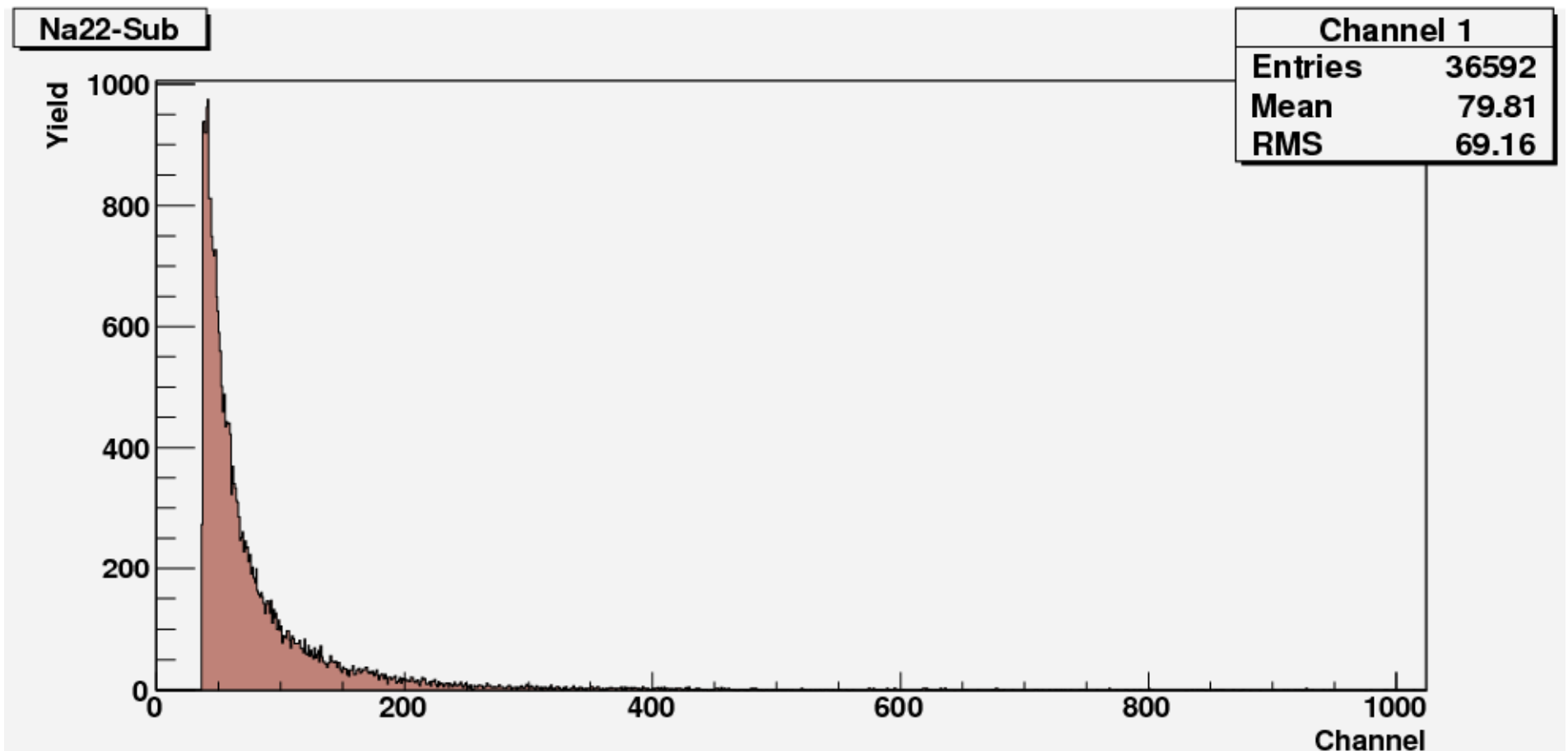


Messaufbau (2)

- ▶ Umrüstung auf Koinzidenzmessung
- ▶ 2. PMT mit NaI-Szintillator
- ▶ Dessen Signal verstärkt und in Gate-Signal für den ADC transformiert
- ▶ Delay zur Angleichung beider Signale
- ▶ Datenaufnahme nur, wenn beide Szintillatoren gleichzeitig getroffen werden
- ▶ 2 Messungen: Richtiges und falsches Delay, um Rauschen zu messen und abziehen zu können

Ergebnisse (2)

- ▶ Spektren jetzt brauchbarer
- ▶ Aber immer noch kein Szintillatorspektrum



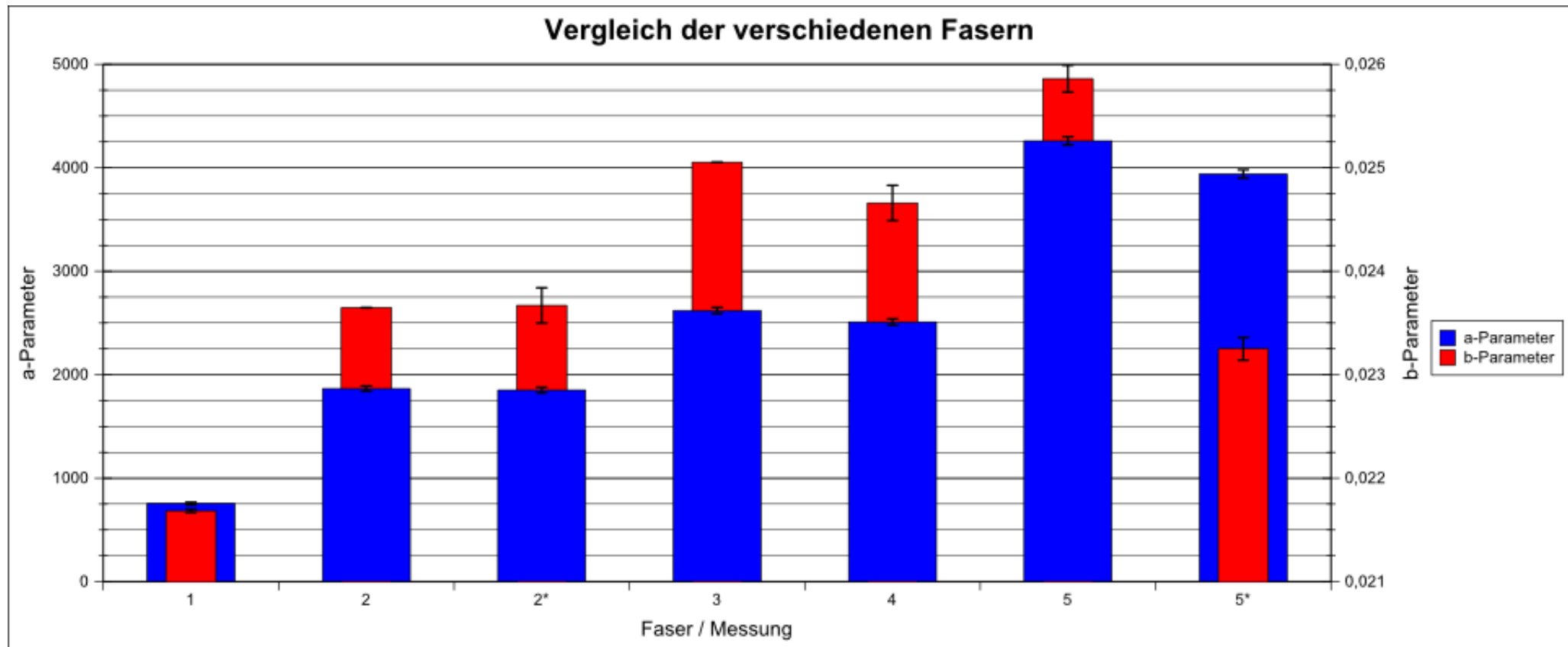
- ▶ Exponentialfunktion angefitet

$$c(k) = a \exp(-bk)$$

- ▶ Systematischer Vergleich der Parameter a und b
- ▶ Vergleich der Quellen, Quellenpositionen, Fasern und Umgebungstemperaturen

- ▶ Zwei Messungen zum Vergleich der Fasern wurden wiederholt, um die Reproduzierbarkeit zu überprüfen
- ▶ Bei Faser 2 wurde die Messung ohne Veränderungen am Messaufbau wiederholt
- ▶ Bei Faser 5 wurde die Faser entnommen und wieder neu eingesetzt, um Schwankungen in der Kopplung der Faser an den PMT festzustellen.

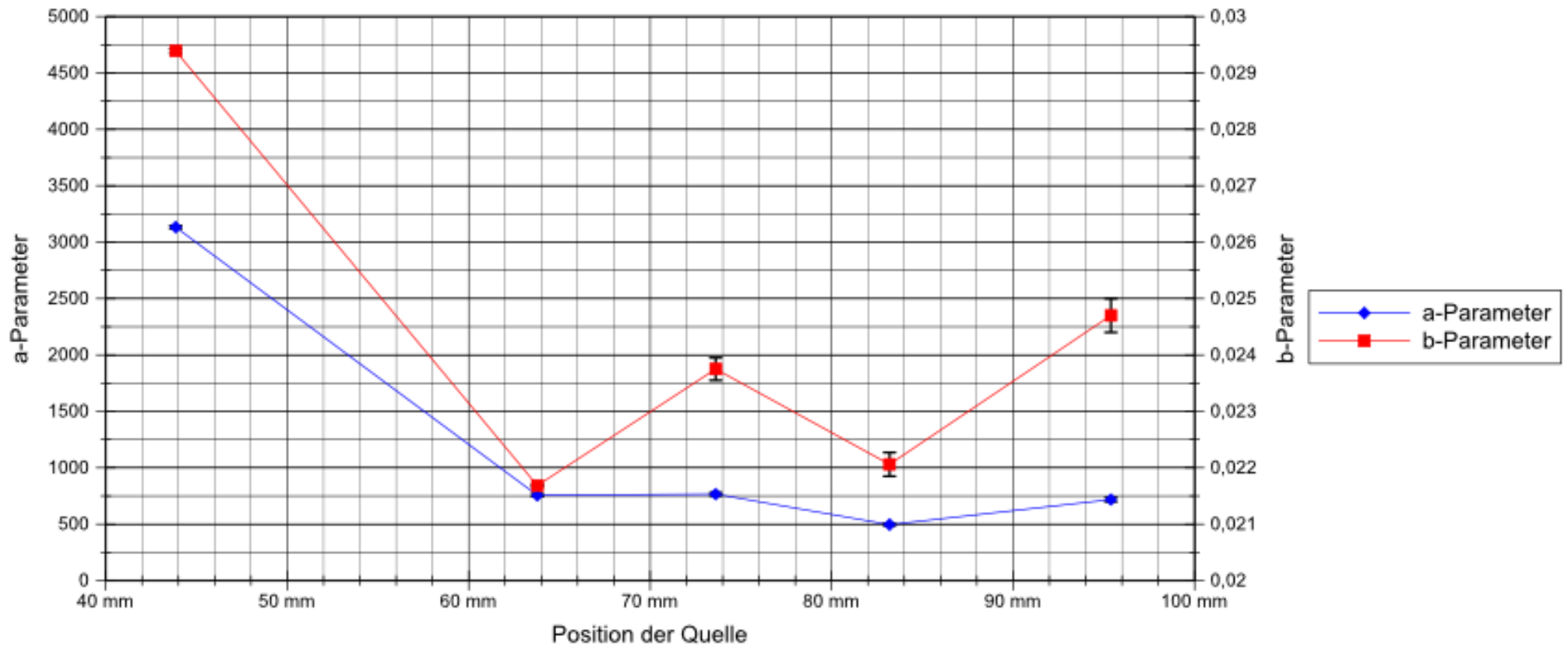
Ergebnisse: Faservergleich



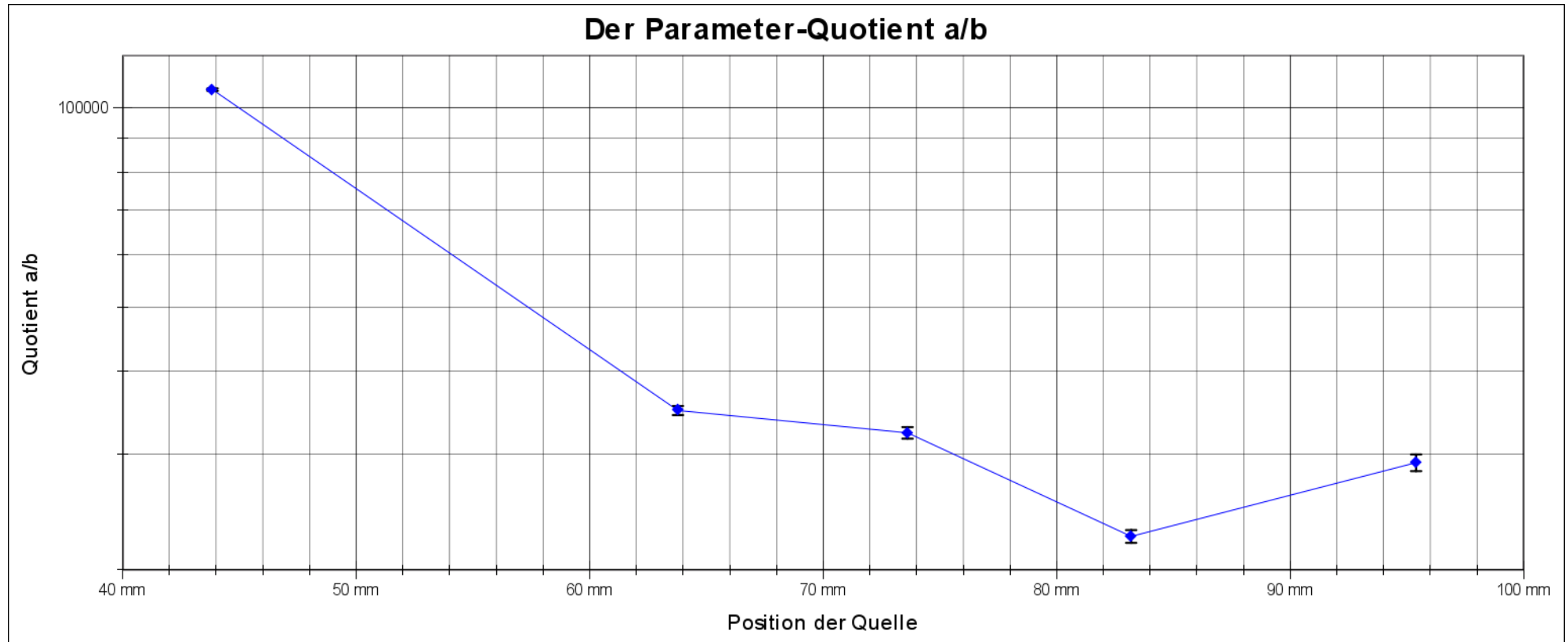
- ▶ Allgemein deutliche Unterschiede zwischen den Fasern erkennbar
- ▶ Die beiden Messungen an Faser 2 zeigen keine signifikanten Unterschied
- ▶ d. h. Messprozess ist reproduzierbar
- ▶ Die beiden Messungen an Faser 5 zeigen deutliche Unterschiede
- ▶ d. h. Ankopplung der Faser ist systematische Fehlerquelle (etwa $\pm 15\%$)

Ergebnisse: Positionsvergleich

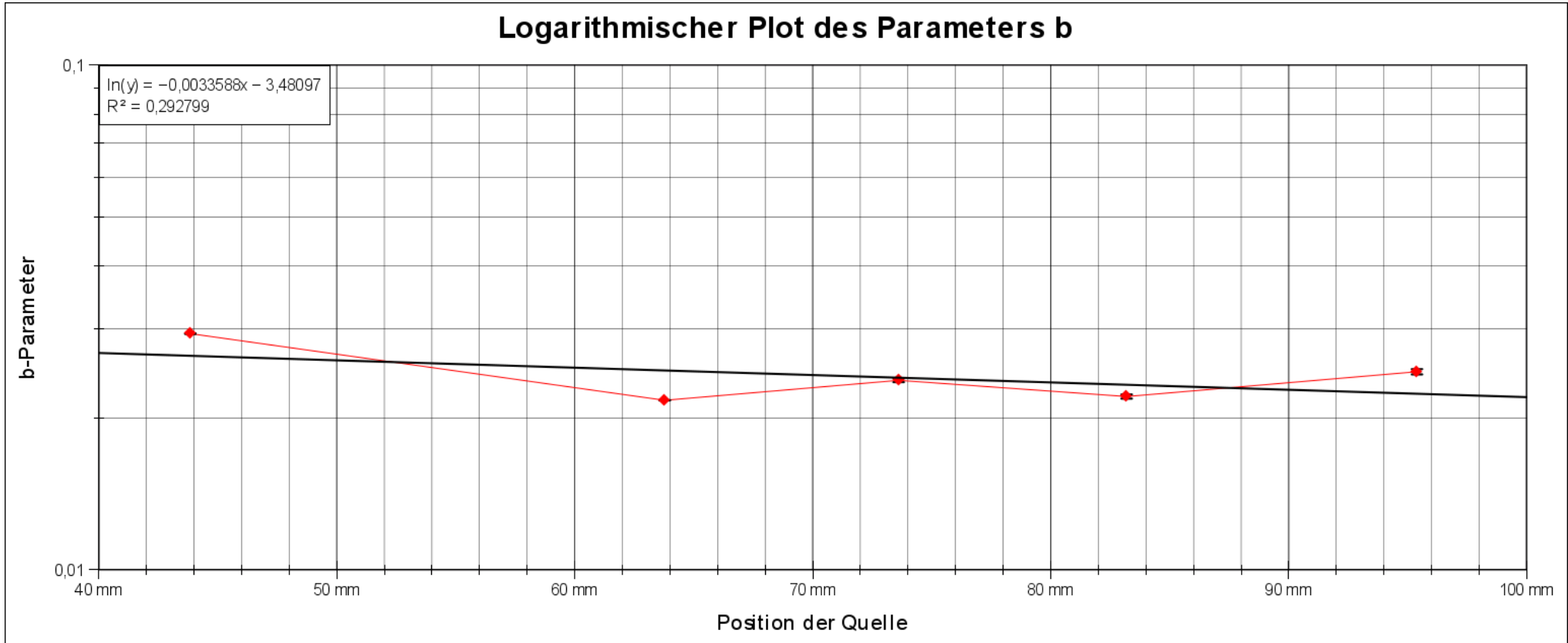
Vergleich der verschiedenen Quellen-Positionen



Ergebnisse: Positionsvergleich



Ergebnisse: Positionsvergleich

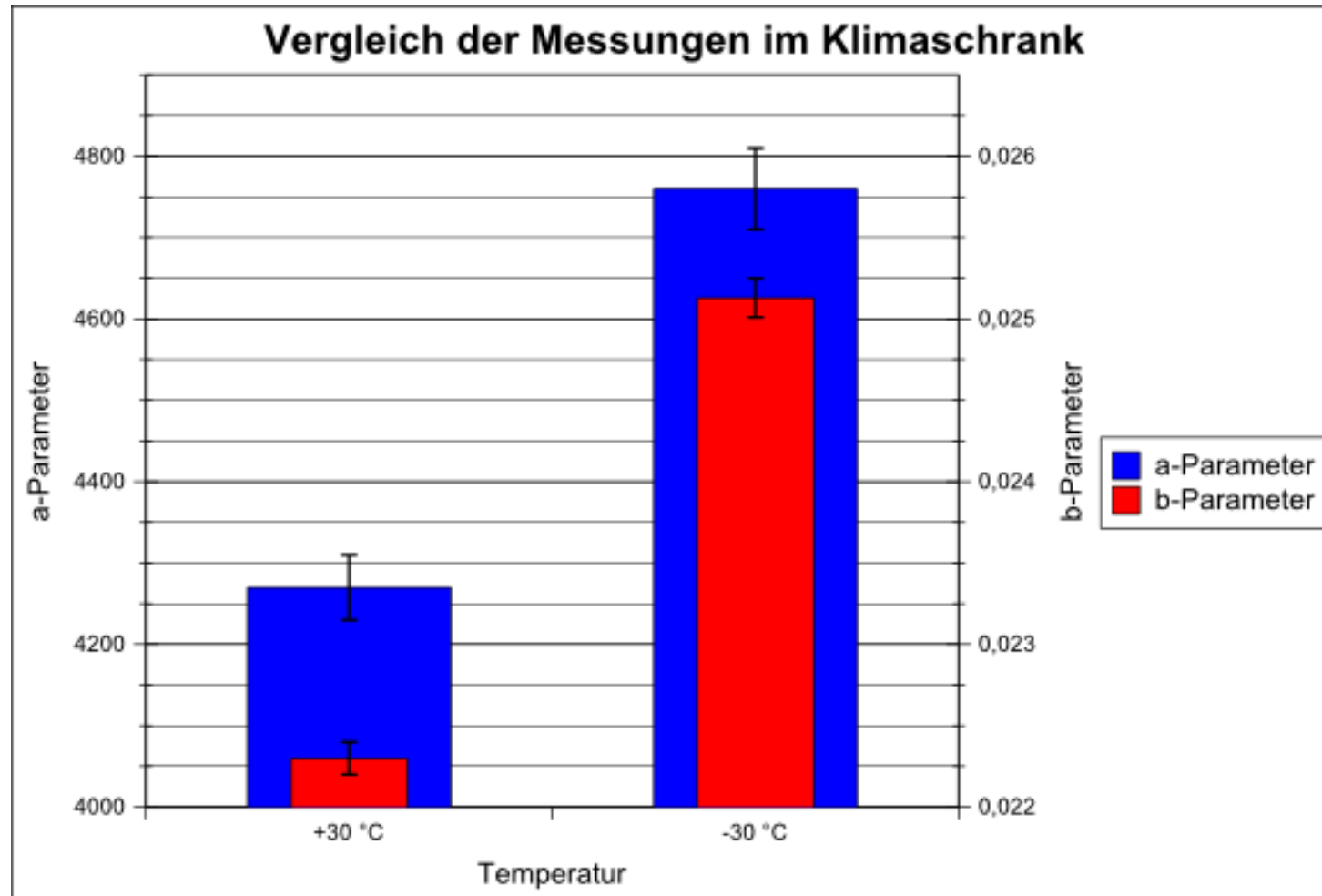


- ▶ Die Diagramme zeigen einen schwankenden Verlauf
- ▶ Messaufbau musste zur Positionsmessung teilw. auseinander gebaut werden, daher systematische Fehler durch Kopplung
- ▶ Mögliche weitere Fehlerquellen liegen in ungleichmäßiger Kristallstruktur der Faser
- ▶ Durchschnittlicher Absorptionskoeffizient:

$$a = 3,36 \frac{1}{m}$$

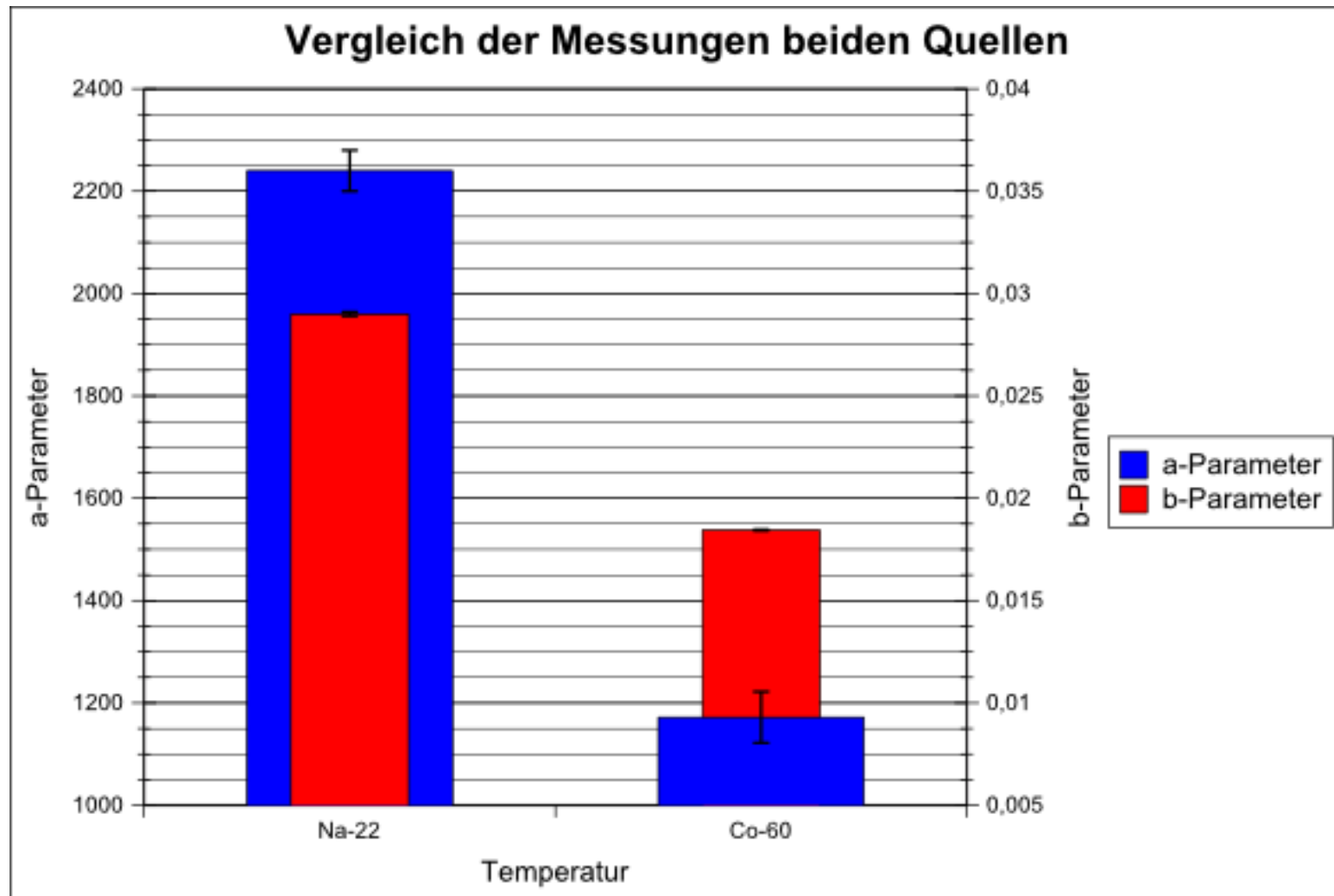
$$I(x) = I_0 \exp(-a x)$$

Ergebnisse: Temperaturvergleich



- ▶ Der Messaufbau wurde zwischen den Messungen nicht verändert
- ▶ Die Messungen zeigen eine deutliche Steigerung der Lichtausbeute bei fallender Temperatur
- ▶ Andere Szintillatoren (z. B. PbWO_4) verhalten sich ähnlich
- ▶ Ursache sind wahrscheinlich geringere Gitterschwankungen etc.

Ergebnisse: Quellenvergleich



- ▶ Messung enthält wieder Kopplungsfehler
- ▶ Unterschied zwischen den Quellen deutlich sichtbar
- ▶ Energieunterschied im Primärzerfall ca. Faktor 2
- ▶ Dieser Unterschied kann in den Messergebnissen grob nachvollzogen werden.

- ▶ Fasern dissipieren zu wenig Energie, um ein normales Szintillatorspektrum zu erzeugen
- ▶ Hauptursache: Geringe Größe
- ▶ Teilchen durchfliegen i. d. R. weniger als 1mm Material
- ▶ Geringe Wechselwirkungswahrscheinlichkeit
- ▶ Geringe stopping power

- ▶ Fasern für die Verwendung in Kalorimetern ungeeignet
- ▶ Einsatz in Situationen, wo geringer Energieeintrag gewünscht ist
- ▶ Beispiel: Gitter aus Fasern zur orts aufgelösten Detektion von Teilchenbahnen
- ▶ Möglicherweise bessere Ergebnisse als herkömmliche Methoden durch die Vorteile anorganischer Szintillatoren

The End

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

