

Flüssiglichtleiter zur ultrasensitiven indirekten Erfassung von ionisierender Strahlung

Kooperationsprojekt HZDR¹/VKTA²

¹S. Stalke, R. Steudtner; ²K. Grossmann

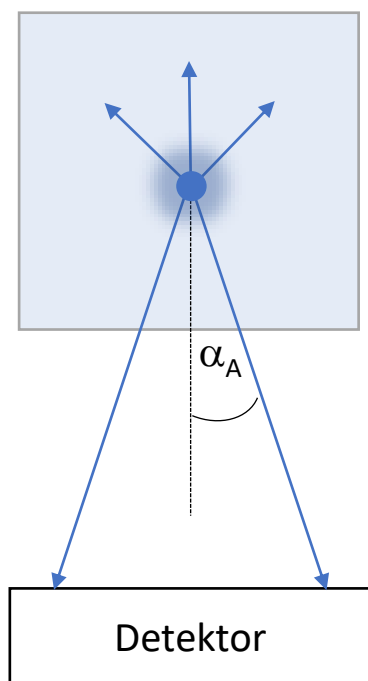
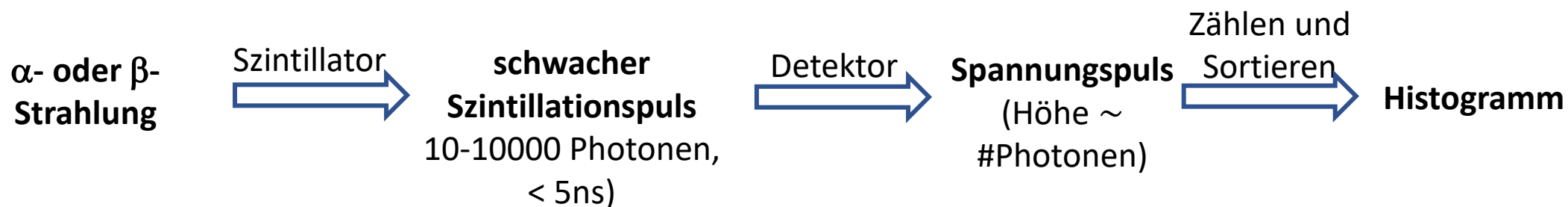
Funktionsprinzip der **Flüssiglichtleiter** – Signalverstärkung

kleine **Detektoren** – Siliziumphotomultiplier (SiPM)

Resultate – Laborprototyp und Messung von ionisierender Strahlung

Ausblick – weitere Evaluation des Laborprototyps und der Datenaufnahme

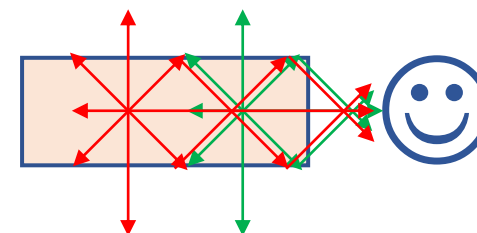
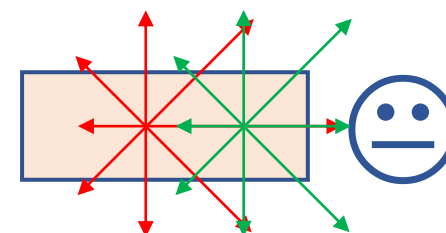
Flüssiglichtleiter zur Signalverstärkung



α_A definiert den Bereich der szintillierenden Punktquelle welcher direkt vom Detektor gesehen wird

Punktquellen emittieren in **4π Geometrie** -> Verwendung großer Detektoren und reflektierender Elemente um das LSC Vial

Mit zunehmendem Abstand der Punktquelle sinkt α_A



Flüssiglichtleiter zur Signalverstärkung

α_A sollte homogener sein und die emittierende Fläche des Vials sollte kleiner sein

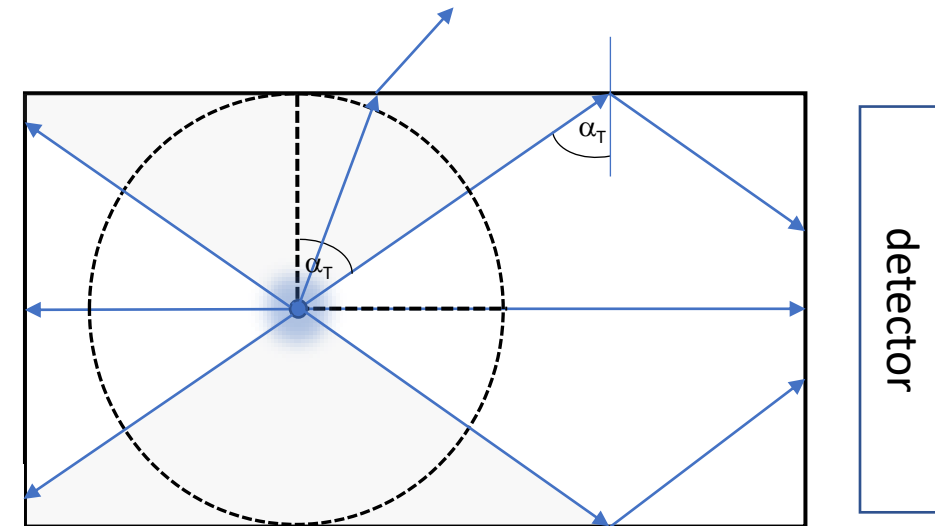
Szintillatoren haben einen hohen Brechungsindex (Ultima Gold, n ca. 1.6)

Zusammen mit FEP (fluoriertes ethylene-co-propylene, n ca. 1.34) wird ein effizienter **Flüssiglichtleiter** gebildet

Jeweils **20%** des gesamten Szintillationslichts werden durch Totalreflektion zu den beiden Enden des Vials geleitet

Szintillationslicht wird an jedem Ende des Vials mit π -**Geometrie** emittiert ($\pi/3$ mit opt. Kopplung)

Neue Formen für Vials, wie lange Kapillarschläuche sind möglich -> hohe relative Oberfläche und kleine Lichtaustrittsfläche



Silizium Photomultiplier (SiPM)



- Dimension: $3 \times 3 \text{ mm}^2$ -> Oberfläche kleiner als 0.1 cm^2 (PMTs: 8 cm^2)
- besteht aus 13620 Mikropixeln
- Jedes Mikropixel ist eine Silizium Geiger-Müller Avalanche Photodiode (**Si-GM-APD**) auch bekannt als Silizium Single Photon Avalanche Diode (Si-SPAD)

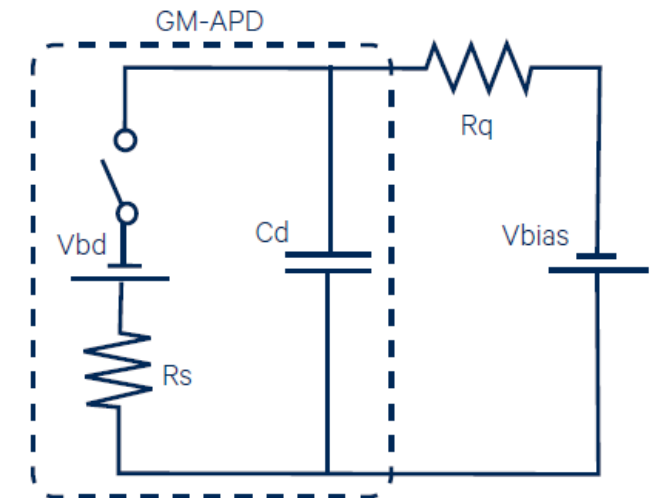
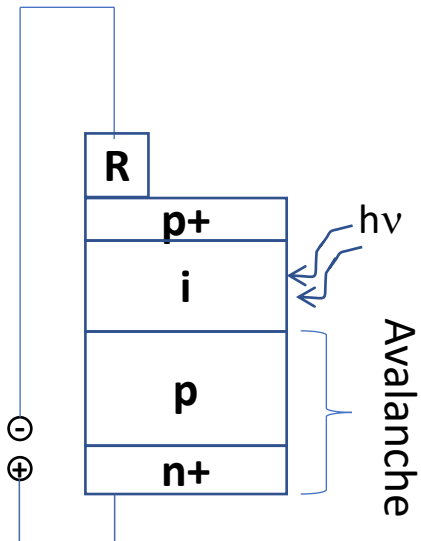
Die **Si-GM-APD** wird oberhalb der Durchbruchspannung betrieben

Der Widerstand (**R** ca. $100 \text{ k}\Omega$) quencht den Avalanche Prozess

Verstärkung während des Avalanche Prozesses: bis zu 10^6

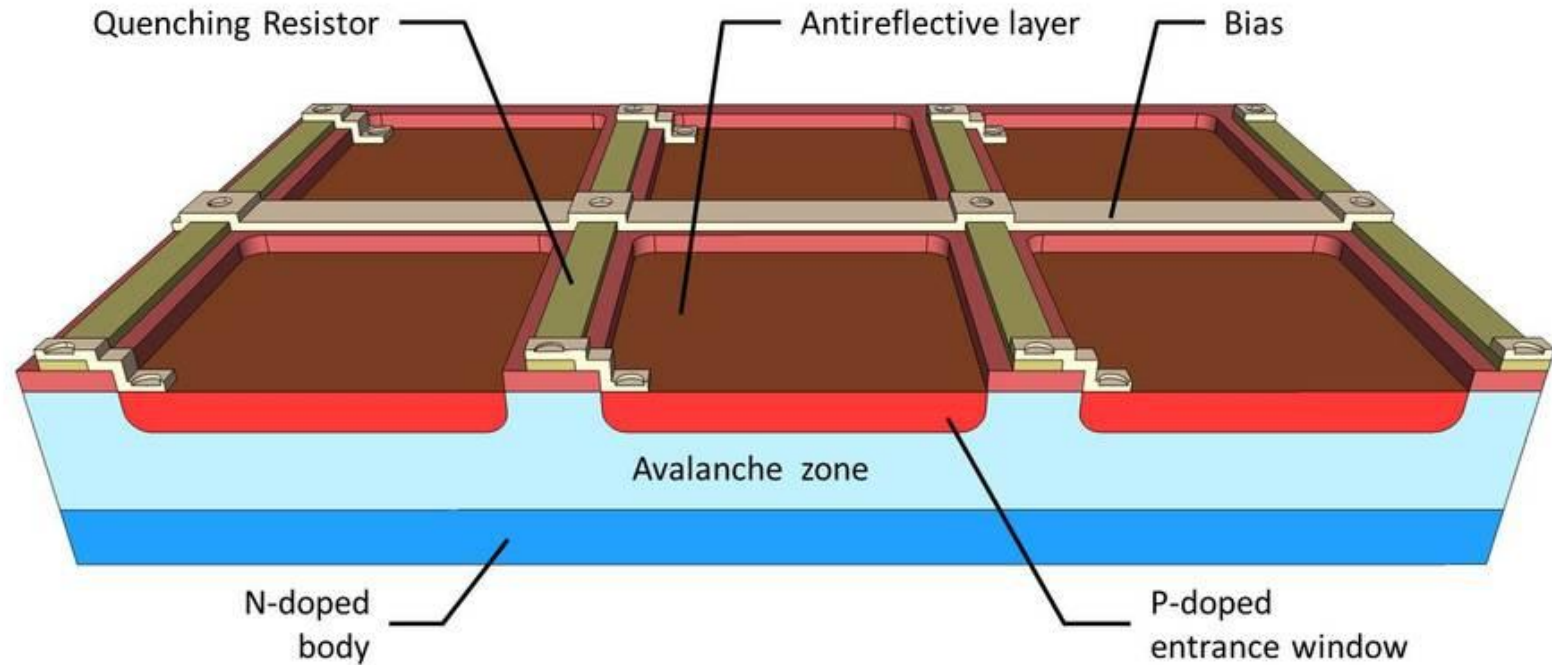
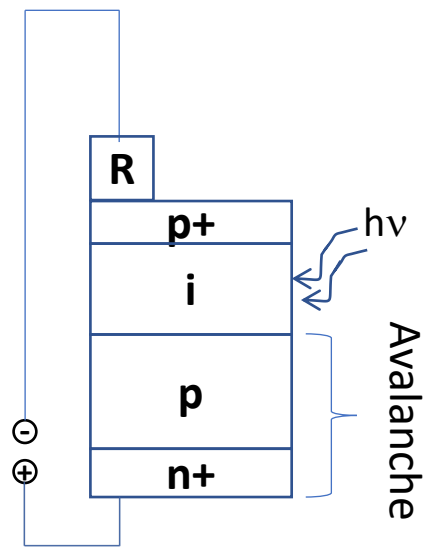
Dunkelstrom aber bereits 10^4 mal höher als bei normalen Avalanche Dioden

Alle Mikropixel sind parallel geschaltet -> Addition der Ströme

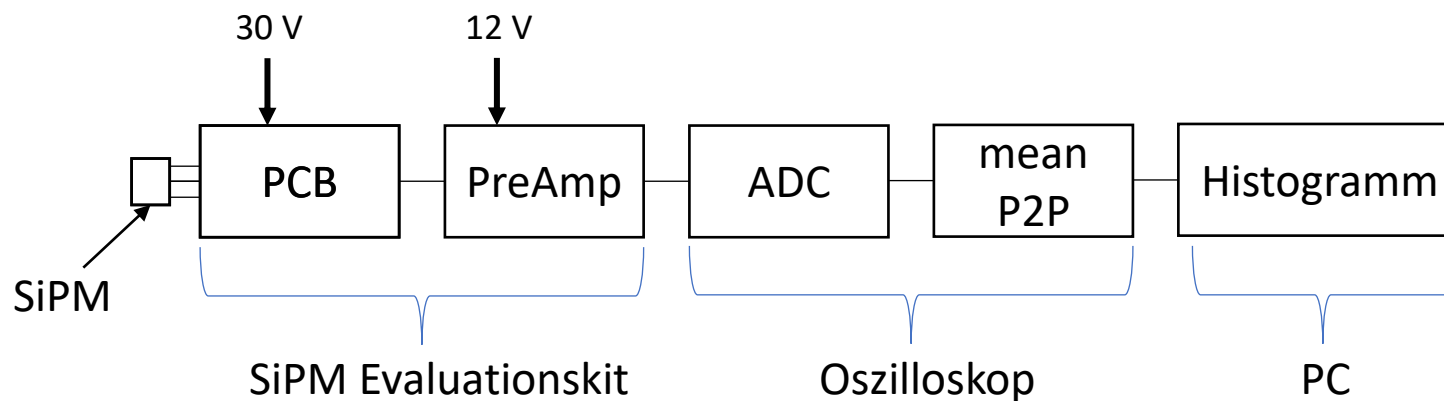
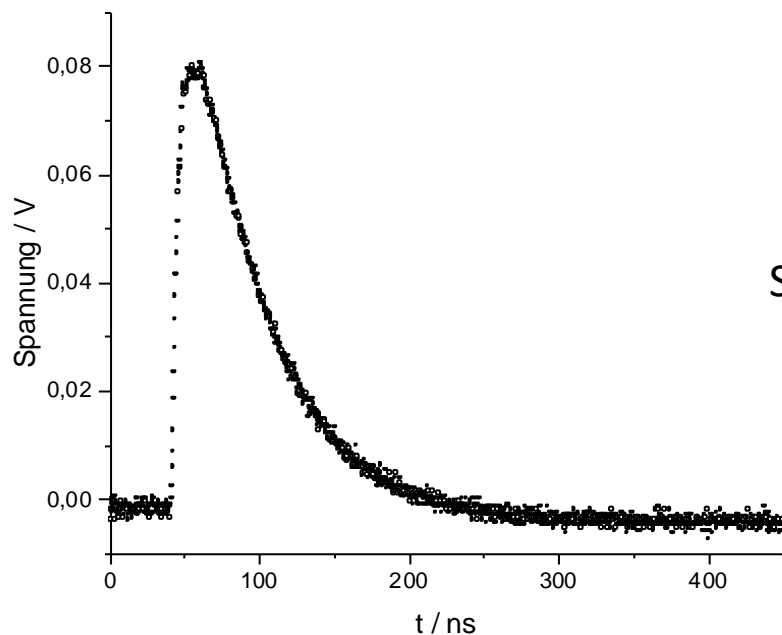


Silizium Photomultiplier (SiPM)

- Herstellung der $3 \times 3 \text{ mm}^2$ Chips durch Komplementäre Metalloxid Halbleiter (CMOS) Technologie
- Dimension eines Pixels: $25 \times 25 \mu\text{m}^2$
- Dicke der Schichten: unter $1 \mu\text{m}$ (Fenster), bis einige μm für die Avalanche- und die Absorptionszone



Signalverarbeitung



Digitalisierung erfolgt über Oszilloskop

Horizontale Auflösung: 2.5 GHz (alle 400 ps)

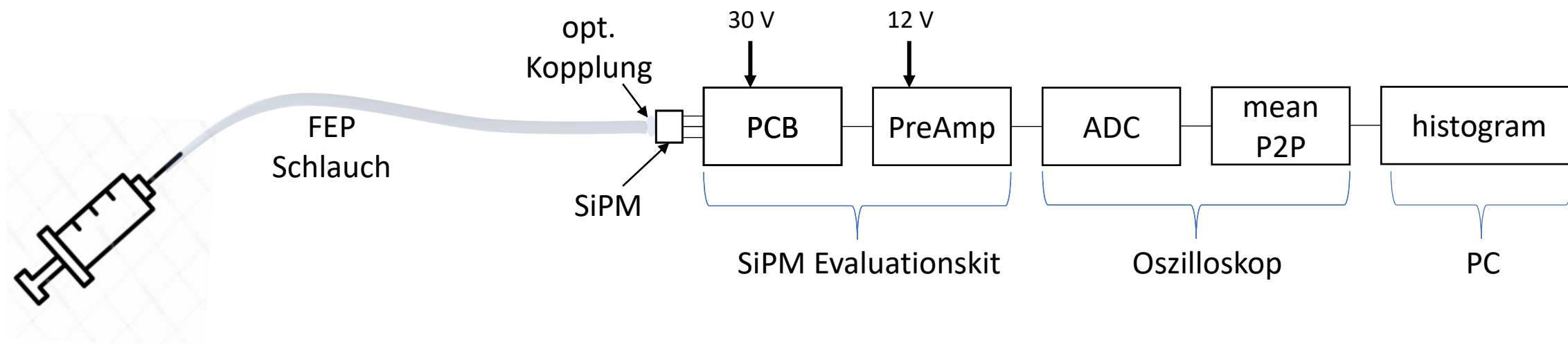
Vertikale Auflösung: 8 bit (1.6 mV bei 0.4 V max)
10 bit (0.5 mV bei 0.5 V max)

Digitalisierte Daten können zum PC übertragen werden

Strompuls aus dem Avalanche
Prozess wird in
Spannungspuls umgewandelt

Spannungspuls wird durch
PreAmp verstärkt (Gain: 12)

Resultate – Erster Laborprototyp



FEP Schlauch: 15 cm Länge, 1.6 mm Durchmesser, 0.3 mL Szintillationsvolumen (**Ultima Gold**)

Szintillationspulse werden durch **Totalreflektion** zu den Enden des Schlauchs geleitet

Die Detektionsseite ist optisch an den SiPM angekoppelt

Durch die kleine Fläche am Schlauchende und die reduzierte Emissionsgeometrie kann der kleine SiPM direkt an den Szintillator gekoppelt werden (0.1 cm² Oberfläche die in π -Geometrie emittieren)

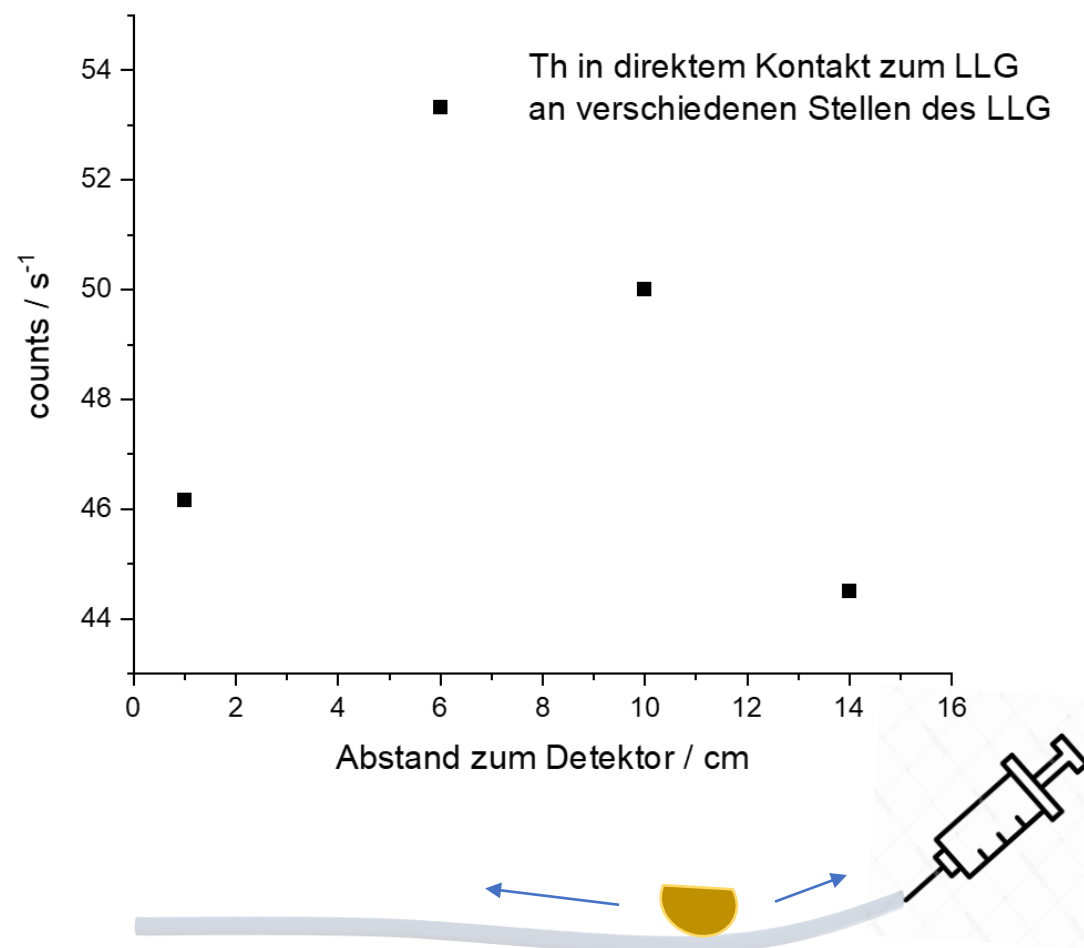
Resultate – Lichtleitungseigenschaften

^{232}Th Halbkugel (1 cm Durchmesser) wurde an verschiedenen Stellen des FEP Schlauchs positioniert und die Zählrate gemessen

Dunkelpulse vom SiPM (ca. 10 mV) wurden durch die 30 mV Triggerschwelle des Oszilloskops komplett ausgeschlossen

Wg. radialem Strahlungsfeld der Th Halbkugel, Zählrate in der Mitte des FEP Schlauchs maximal

Zählrate in 14 cm Abstand zum SiPM nur leicht unter der Zählrate direkt neben dem SiPM -> Schlauch kann noch verlängert werden



Resultate – Anwendung als Strahlungsmessgerät

Die Zählrate für die 1 cm Thorium Halbkugel wurde in verschiedenen Abständen gemessen und mit der Zählrate eines kommerziell erhältlichen Messgerätes (Berthold LB 124) verglichen

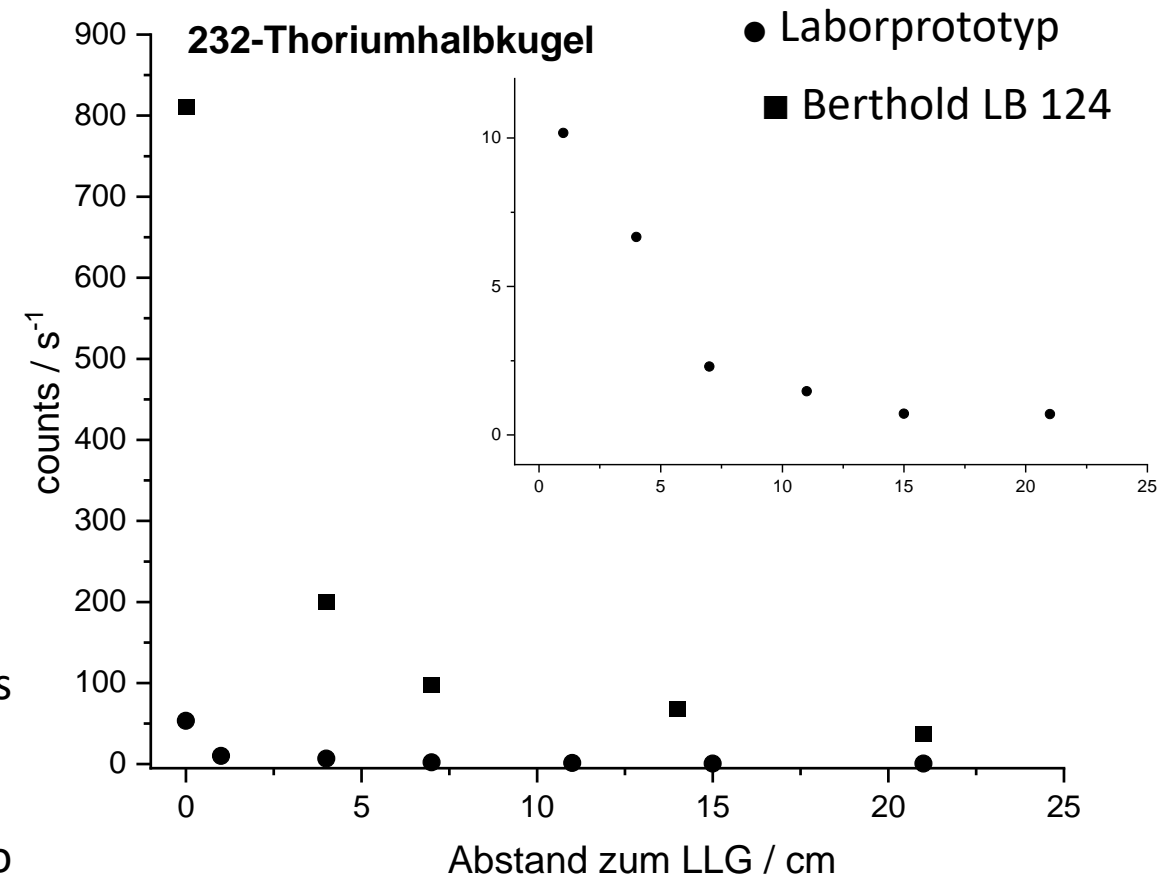


	Laborprototyp	LB 124
Szintillations oberfläche	8 cm ²	290 cm ²
Detektorfläche	0.1 cm ²	290 cm ²

Für größere Entfernungen ist die Zählrate des Laborprototyps noch um einen Faktor 100 kleiner als die des LB 124

Je näher die Th Halbkugel an die Geräte gebracht wird desto geringer wird der Unterschied (in 4 cm Abstand beträgt der Faktor etwa 40)

Bei direktem Kontakt ist der Faktor nur noch etwa 15



Resultate – Anwendung als Strahlungsmessgerät

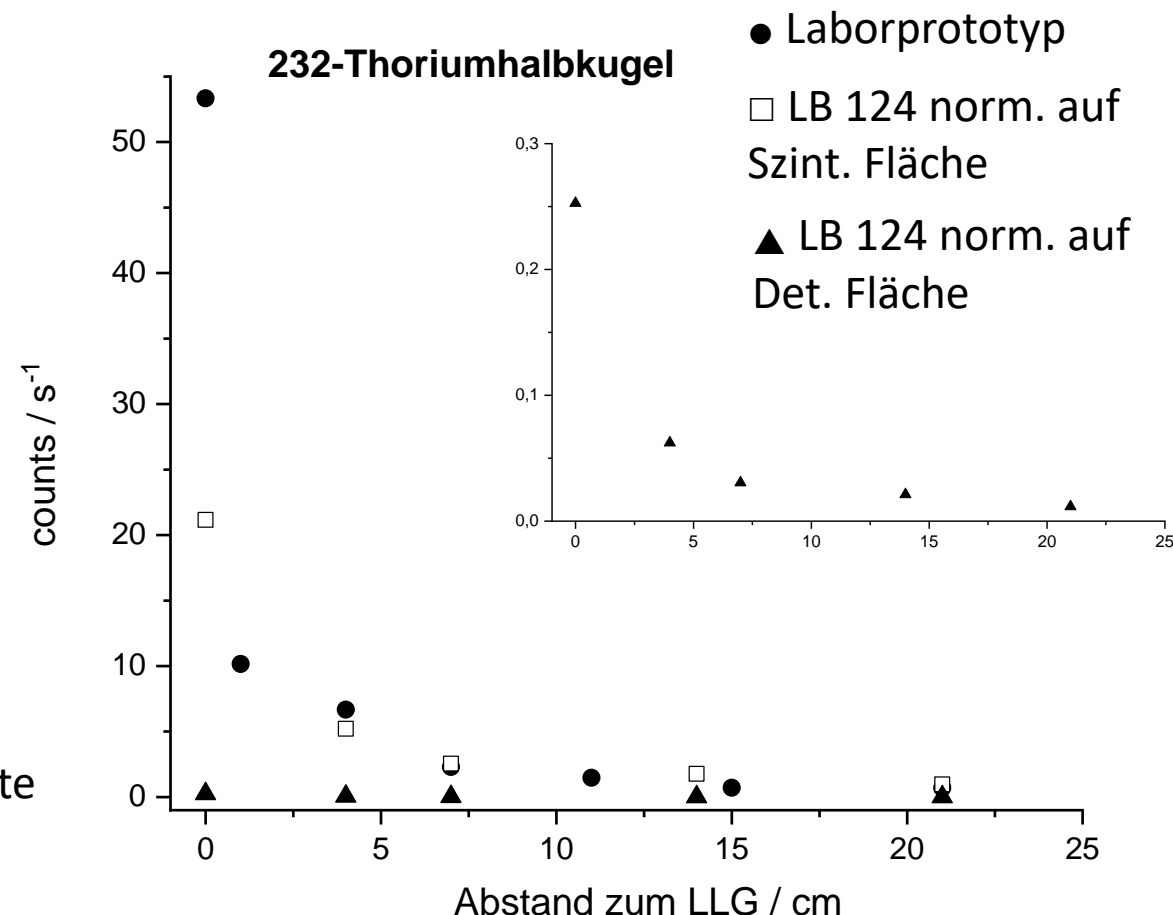
Die Zählrate für die 1 cm Thorium Halbkugel wurde in verschiedenen Abständen gemessen und mit der Zählrate eines kommerziell erhältlichen Messgerätes (Berthold LB 124) verglichen



	Laborprototyp	LB 124
Szintillations oberfläche	8 cm ²	290 cm ²
Detektorfläche	0.1 cm ²	290 cm ²

Bei Normierung auf die *Szintillationsfläche* sind beide Geräte bereits vergleichbar

Bei Normierung auf die *Detektorfläche* ist die Zählrate des Laborprototyps bereits wesentlich besser



Resultate – Anwendung als Strahlungsmessgerät

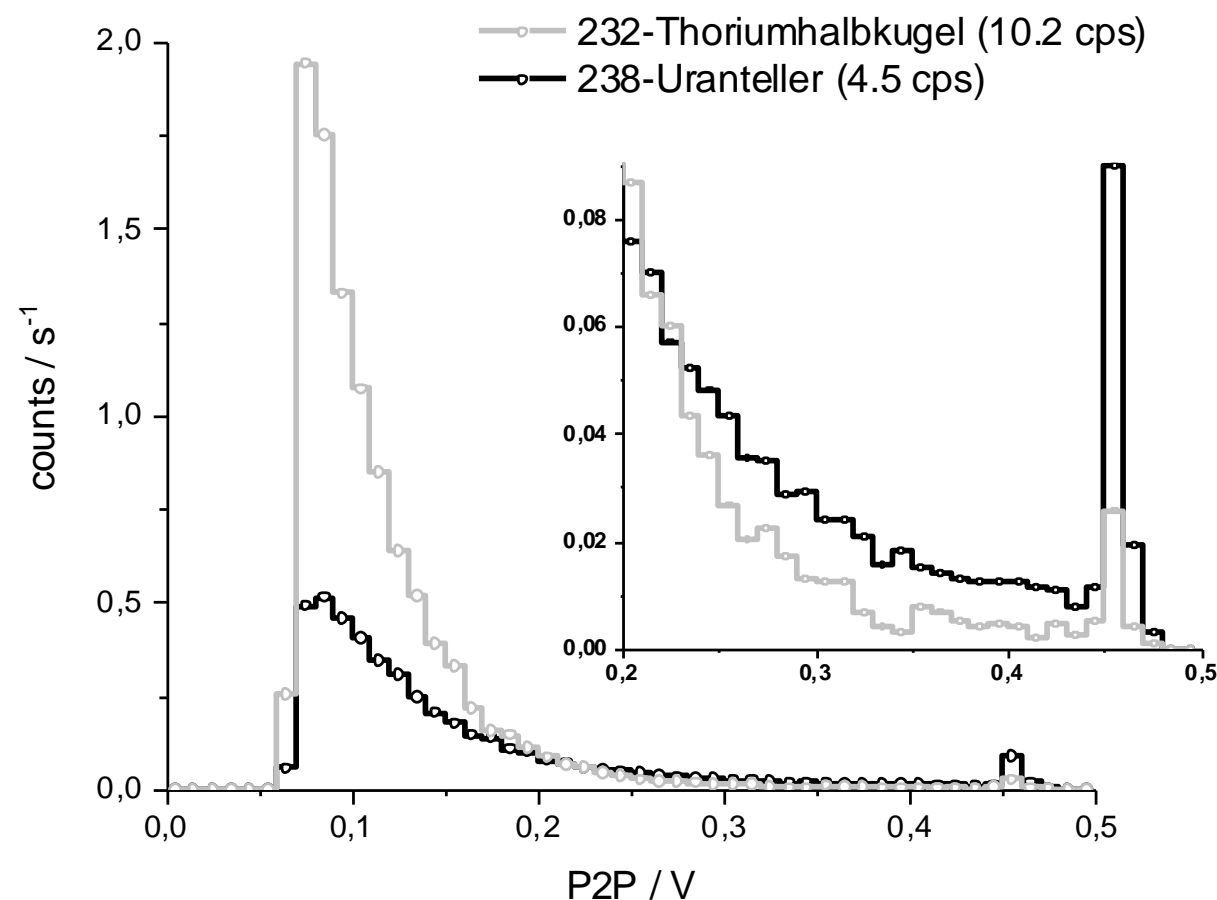
Zählrate und Pulsverteilungsspektrum wurden für die 1 cm Th Halbkugel und für einen Uranteller mit 10 cm Durchmesser in 1 cm Abstand ermittelt

Zählratenverhältnis ist vergleichbar mit LB 124 (800 cps für Th and 500 cps für U)

zusätzlich zur Zählrate bietet der Laborprototyp die Möglichkeit die Energie der Strahlung zu ermitteln

Herkunft der Strahlung aber noch unklar (wahrscheinlich β und γ)

Peaks bei 450 mV durch das obere Auflösungsvermögen des Oszilloskops bestimmt (50 mV – 400 mV + Software Extrapolation)

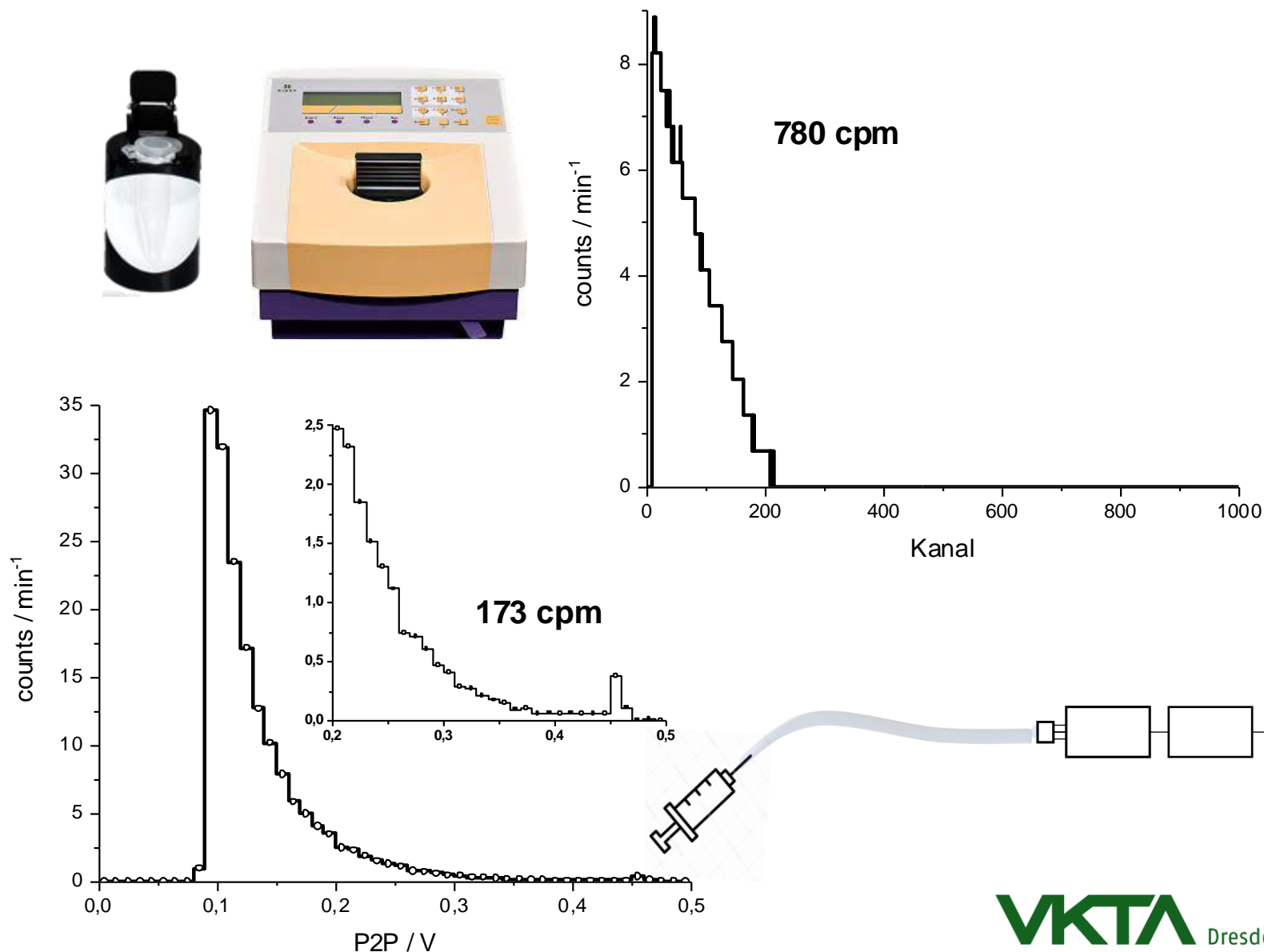


Resultate – Anwendung bei der eigentlichen Flüssigszintillationszählung

Ultima Gold wurde mit einer geringen Menge wässriger ^{14}C -Zitronensäure vermischt, Aktivität: 100 Bq/mL (Hidex 300 SL)

mit 0.3 mL dieser Lösung wurden Zählrate und Zerfallsspektrum ermittelt und mit den Werten eines kommerziell erhältlichen LSC Gerätes verglichen (Hidex Triathler, 8 cm² PMT Detektor)

bei der eigentlichen Flüssigszintillationszählung ist der Zählratenunterschied wesentlich geringer (Faktor ca. 5) -> nahezu sämtliche ionisierende Strahlung wird vom Szintillator erfasst



Ausblick

Testen von längeren FEP Schläuchen

Testen von FEP Schläuchen mit größerem Innendurchmesser (3 mm statt 1.6 mm)

Testen von FEP Schläuchen mit dünnerem Mantel

Testen von verschiedenen Strahlungsquellen

Testen der neuen SiPM Serie

-
-
-

Probleme/ Überlegungen

Die aktuelle Messsoftware des 8 bit Oszilloskops hat eine Totzeit von ca. 5 s -> Spektren müssen im Anschluss auf die Zählrate skaliert werden

Die Zählrate wird mit dem 10 bit Oszilloskop gemessen, dieses hat aber keine Messsoftware zur Aufnahme der Pulseigenschaften hat

Ein 14 bit ADC mit elektronischer Histogrammbildung ist vorhanden, hat aber nur 125 MHz Abtastrate -> Pulsformung/streckung nötig, konnte mit konventioneller NIM Technik aber noch nicht erfolgreich realisiert werden

eine komplett analoge Histogrammbildung könnte zielführend sein