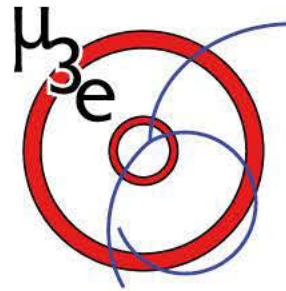


Das $\mu 3e$ -Experiment: Ein Pixeldetektor für 10^{-16}



Niklaus Berger

Physikalisches Institut, Universität Heidelberg

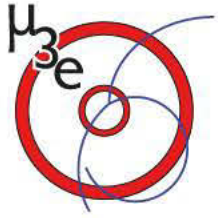
Rhein-Neckar Gesprächskreis,
12. Juli 2012

Emmy
Noether-
Programm

Deutsche
Forschungsgemeinschaft

DFG



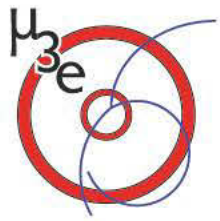


Übersicht

- Was suchen wir?
Leptonflavourverletzung
- Herausforderungen
Raten und Auflösung
- Technologie
Dünne Pixelkamera



Leptonflavourverletzung

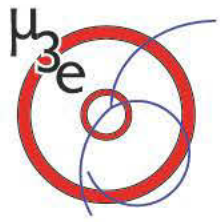


Leptonen

Elektron

e^-/e^+





Leptonen

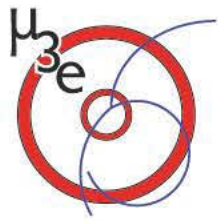
Elektron

e^-/e^+



Elektron -Neutrino

$\nu_e/\bar{\nu}_e$



Leptonen

Elektron

e^-/e^+



Elektron -Neutrino

$\nu_e/\bar{\nu}_e$

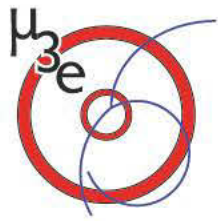
Muon

μ^-/μ^+



Muon -Neutrino

$\nu_\mu/\bar{\nu}_\mu$



Leptonen

Elektron

e^-/e^+



Elektron -Neutrino

$\nu_e/\bar{\nu}_e$

Muon

μ^-/μ^+



Muon -Neutrino

$\nu_\mu/\bar{\nu}_\mu$

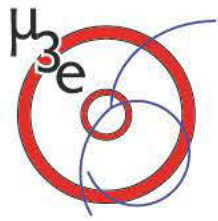
Tau

τ^-/τ^+



Tau -Neutrino

$\nu_\tau/\bar{\nu}_\tau$



Leptonen

Elektron

e^-/e^+



Elektron -Neutrino

$\nu_e/\bar{\nu}_e$

Muon

μ^-/μ^+



Muon -Neutrino

$\nu_\mu/\bar{\nu}_\mu$

Tau

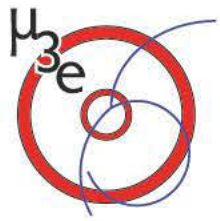
τ^-/τ^+



Tau -Neutrino

$\nu_\tau/\bar{\nu}_\tau$

3 „Geschmacksrichtungen“ - Flavours



Lepton-Buchhaltung

Normaler Muon-Zerfall:



μ^-



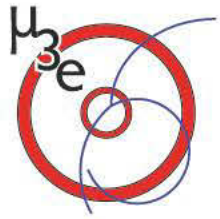
e^-



$\bar{\nu}_e$

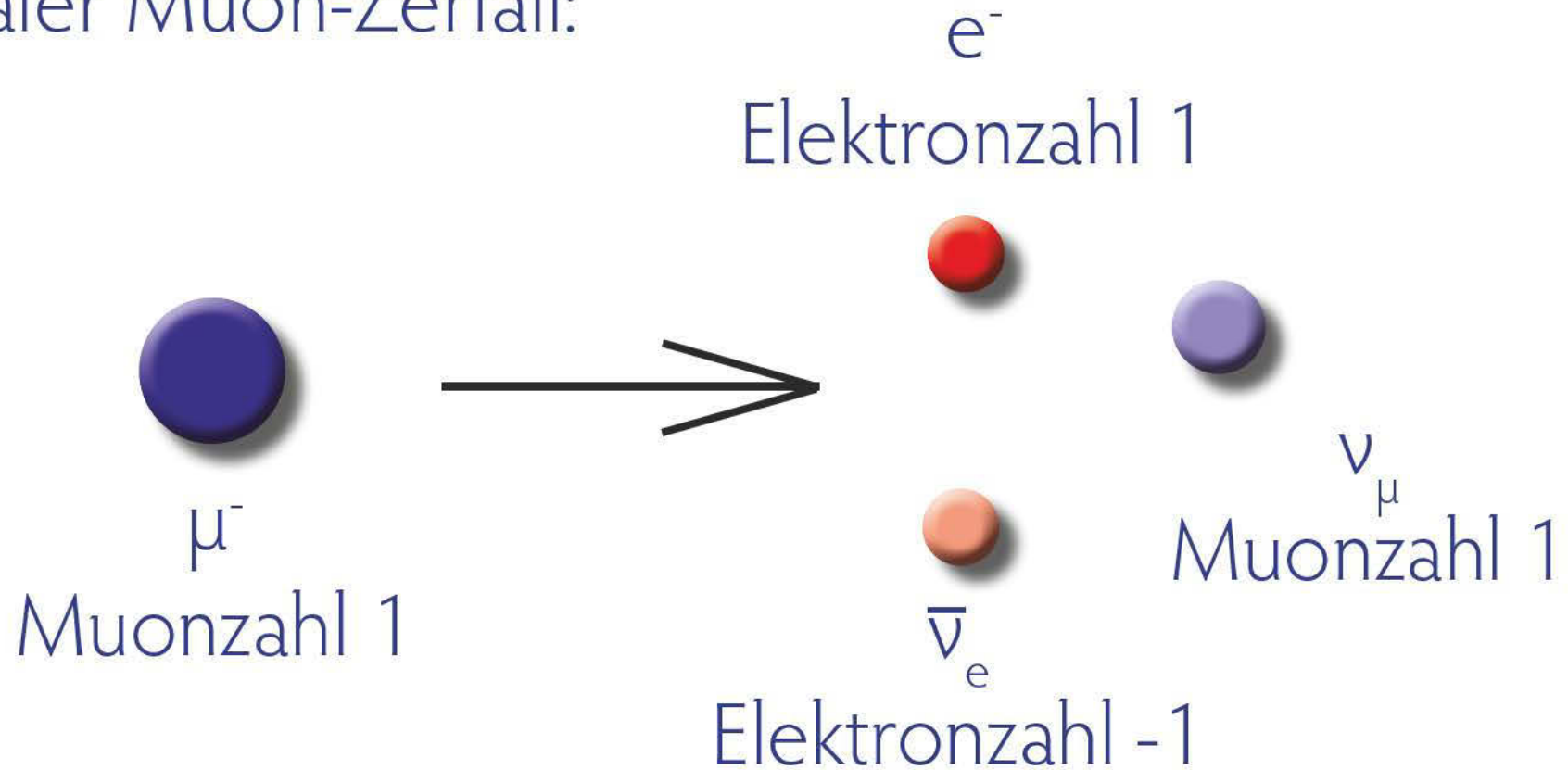


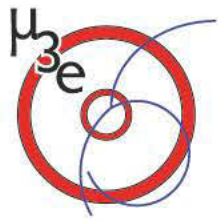
ν_μ



Lepton-Buchhaltung

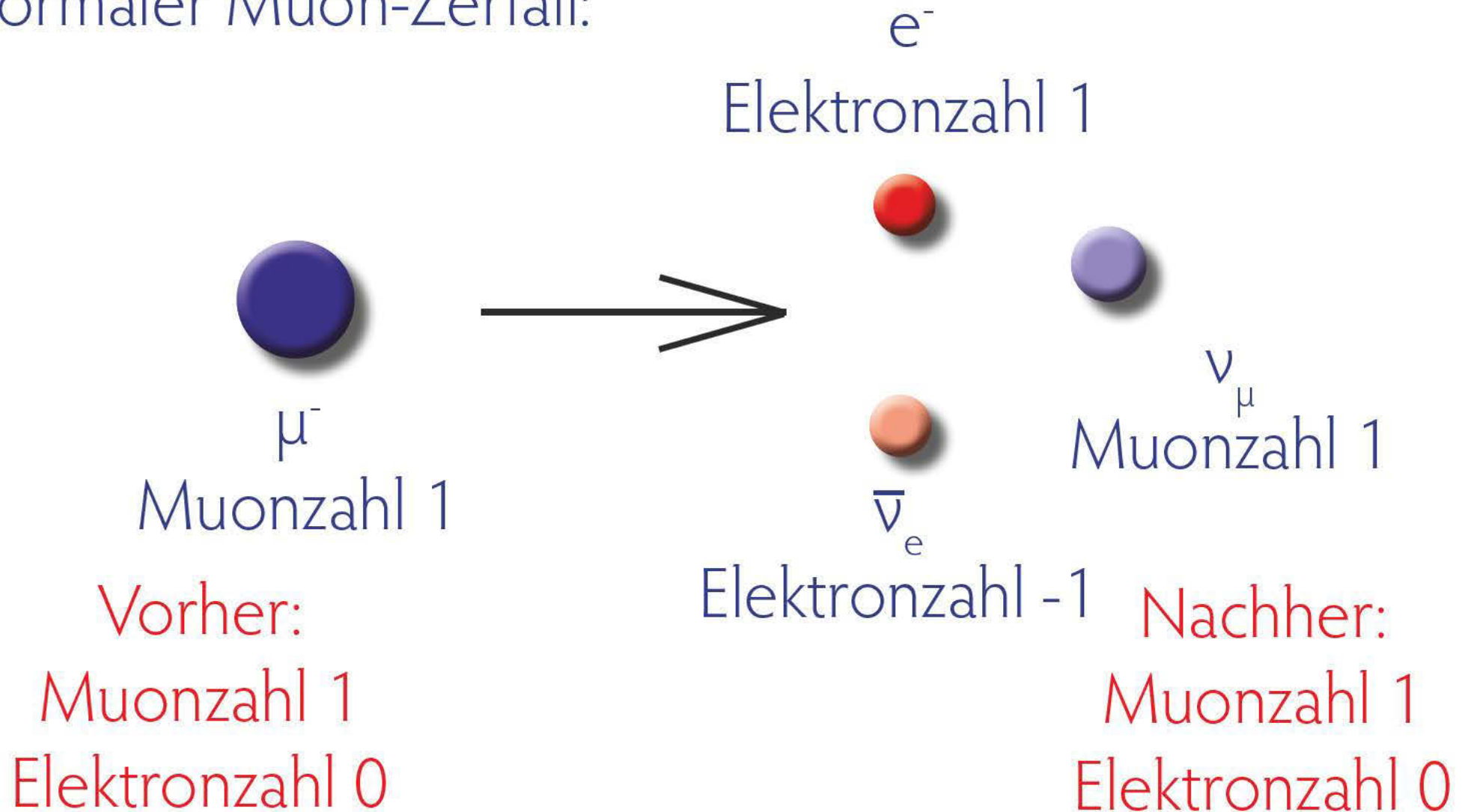
Normaler Muon-Zerfall:

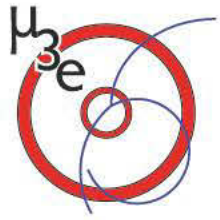




Lepton-Buchhaltung

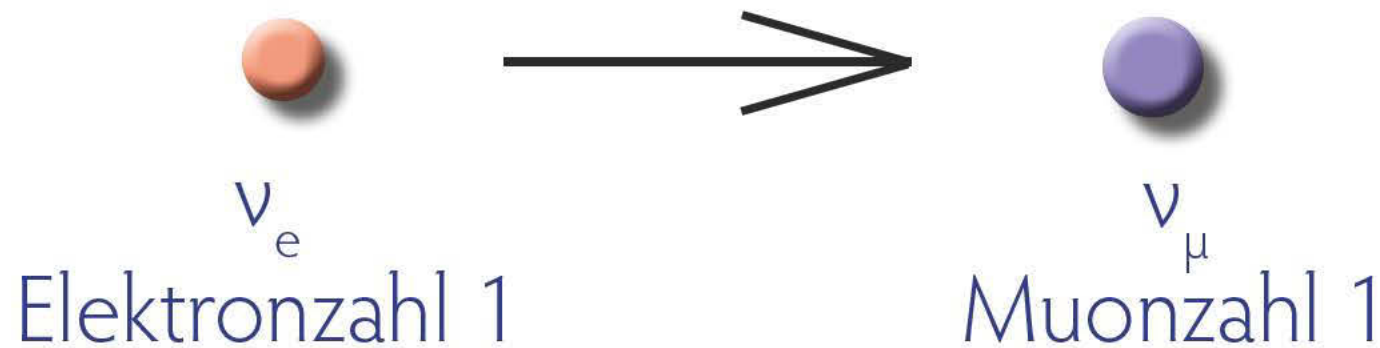
Normaler Muon-Zerfall:

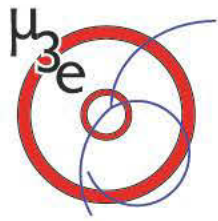




Unregelmäßigkeiten in der Lepton-Buchhaltung

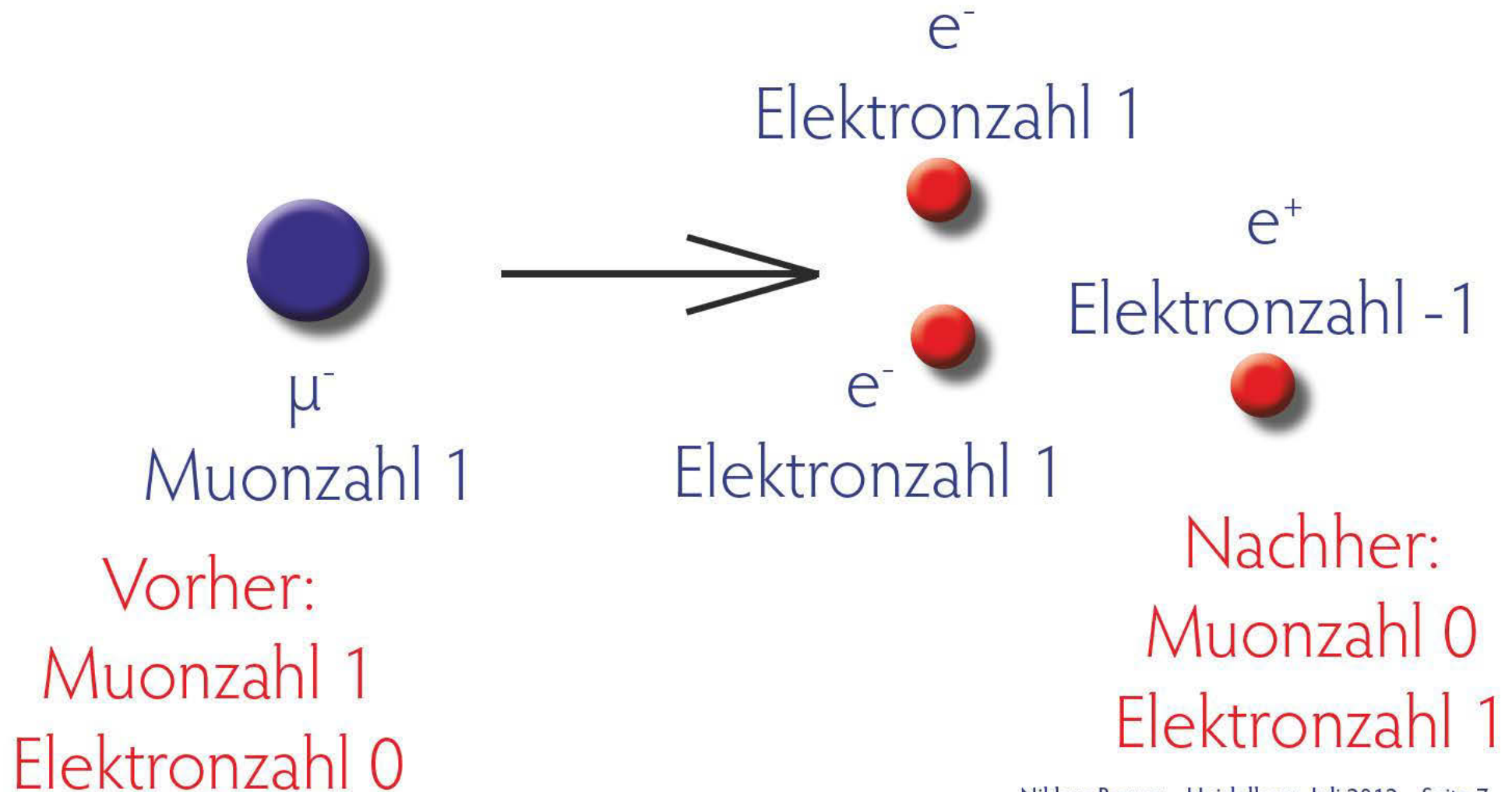
Beobachtet bei Neutrinos:

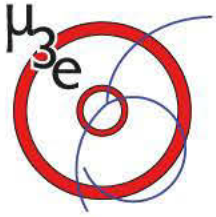




Unregelmäßigkeiten in der Lepton-Buchhaltung

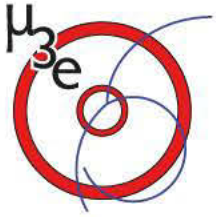
Gibt es das auch bei Muonen?





Suche mit dem SINDRUM-Experiment (1988)

Weniger als einer in Tausend Milliarden (10^{12}) Zerfällen
des Muons ist in drei Elektronen

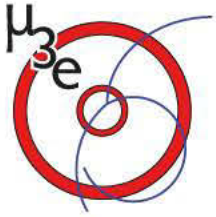


Suche mit dem SINDRUM-Experiment (1988)

Weniger als einer in Tausend Milliarden (10^{12}) Zerfällen
des Muons ist in drei Elektronen

Entsprechung: Finde ein graues Haar unter allen
Bewohnern Baden-Württembergs

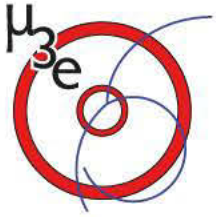




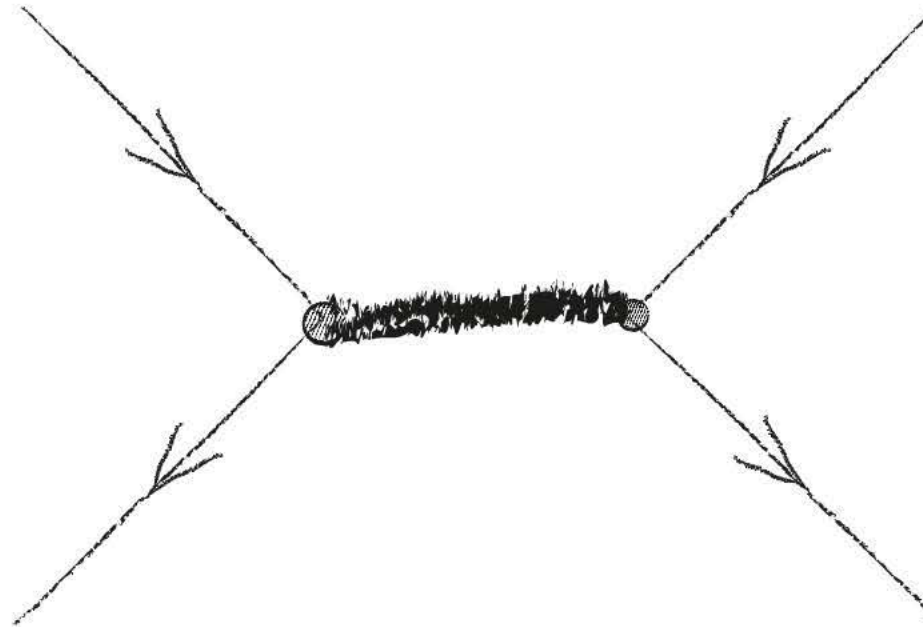
Wir wollen einen grossen Schritt weiter gehen:

Suche des Zerfalls nach drei Elektronen in Zehn Millionen Milliarden (10^{16}) Zerfällen des Muons

Entsprechung: Finde ein graues Haar unter allen Menschen, die je gelebt haben



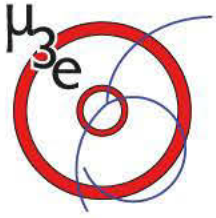
Über seltene Prozesse können wir über die Physik bei
sehr grossen Massen lernen



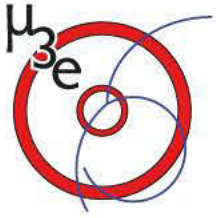
weit darüber hinaus, was Beschleuniger (z.B. LHC)
direkt sehen können



Herausforderungen: Raten und Auflösung

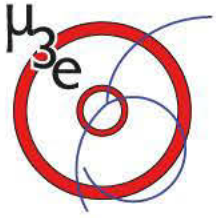


Um in einem Jahr 10^{16} Muon-Zerfälle zu sehen,
muss jede Sekunde eine Milliarde Muonen zerfallen



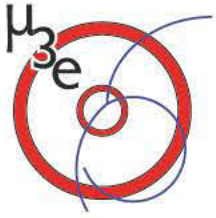
Paul Scherrer Institut in der Schweiz:
Produziert genügend Muonen mit dem intensivsten
Protonenstrahl der Welt



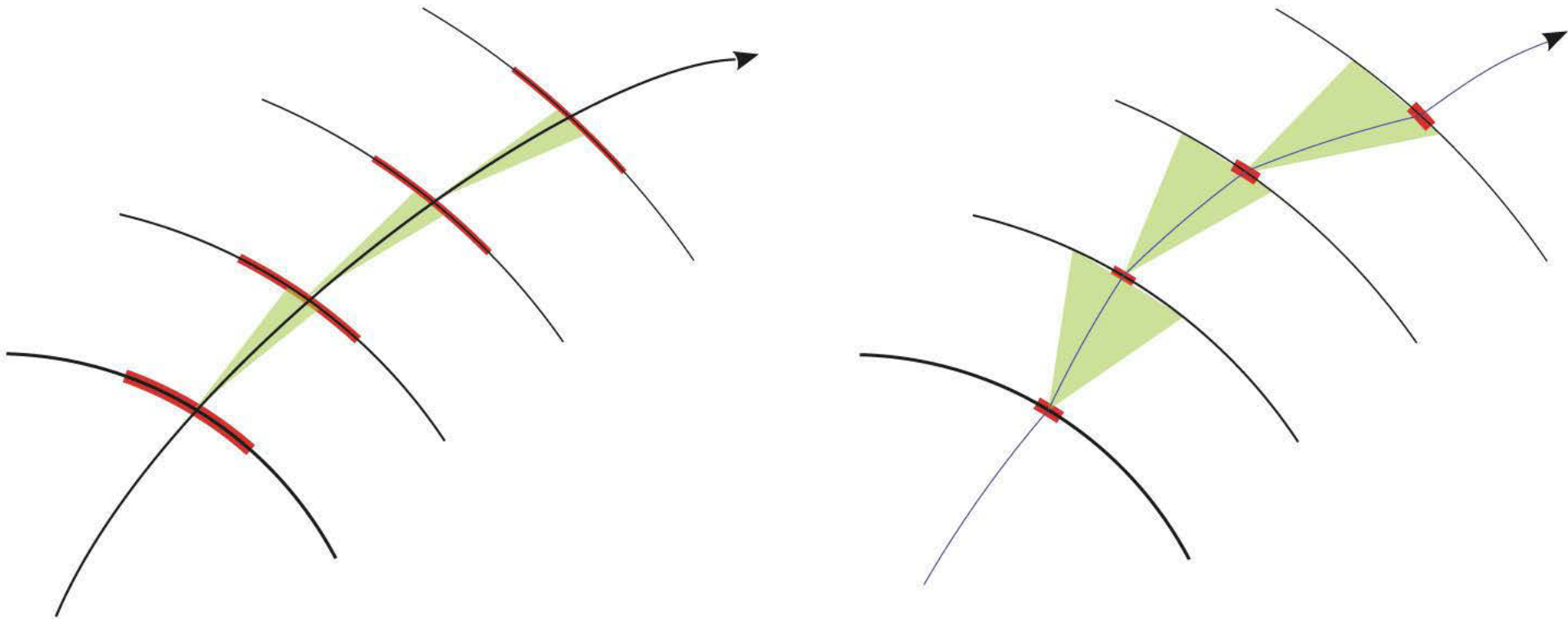


Wir müssen eine Milliarde Zerfälle pro Sekunde ganz genau vermessen

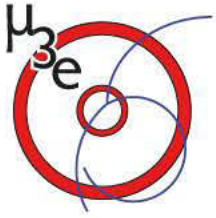
Die Elektronen sollen von der Messung so wenig wie möglich gestört werden



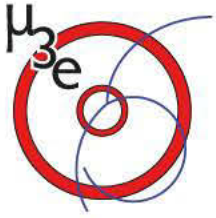
Auflösung dominiert durch **Streuung im Detektor**



so wenig Material wie möglich!

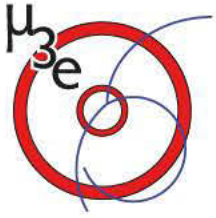


Die Lösung: Der Mu3e Pixeldetektor



Im Wesentlichen eine Digitalkamera...

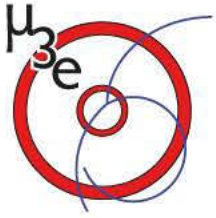




Im Wesentlichen eine Digitalkamera...

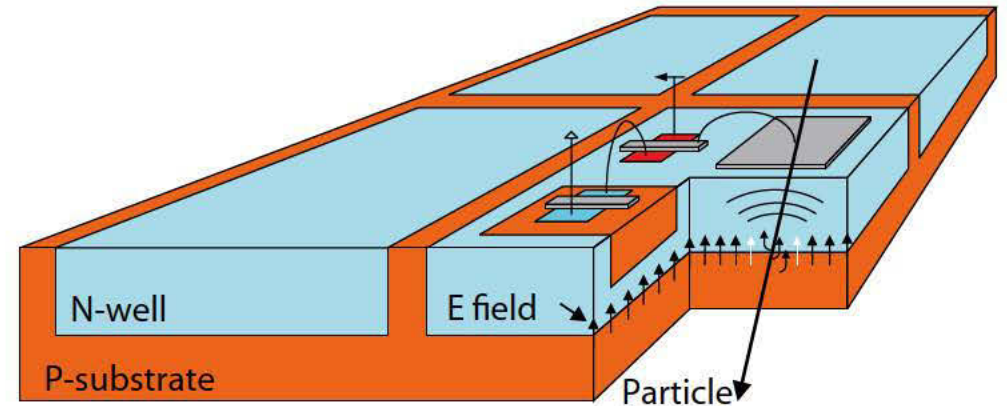
- Mit 300 Millionen Pixeln
- Für 20 Millionen Bilder pro Sekunde
- Dünner als ein Haar

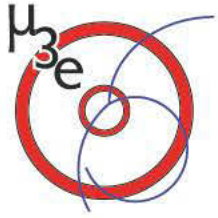




Wie geht das?

- Schwarz-weiß Bilder
- **Elektronik in den Pixeln:**
Nur schwarze Pixel melden sich
- Sehr schnelle Verbindungen nach aussen
- total ~1 Tbit/s

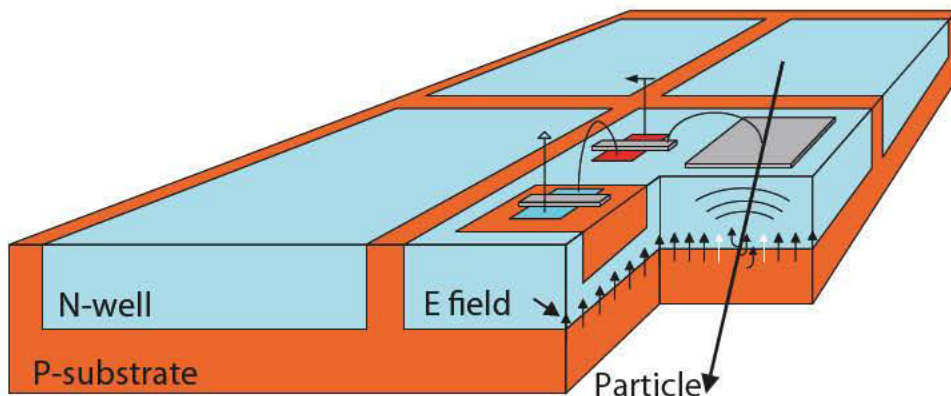




HV-MAPS Pixel Sensoren

Chipdesign:

Ivan Perić vom ZITI (Zentralinstitut für Technische Informatik, Mannheim)



High-Voltage Monolithic Active Pixel Sensors

„Hochspannung“:

- Prozess aus der Automobilindustrie
- Schnelle Ladungssammlung

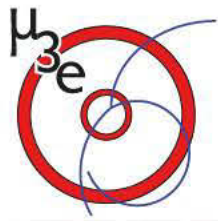
Monolithic Active:

- Analog- und Digitalelektronik auf dem Chip
- Strukturgröße 180 nm

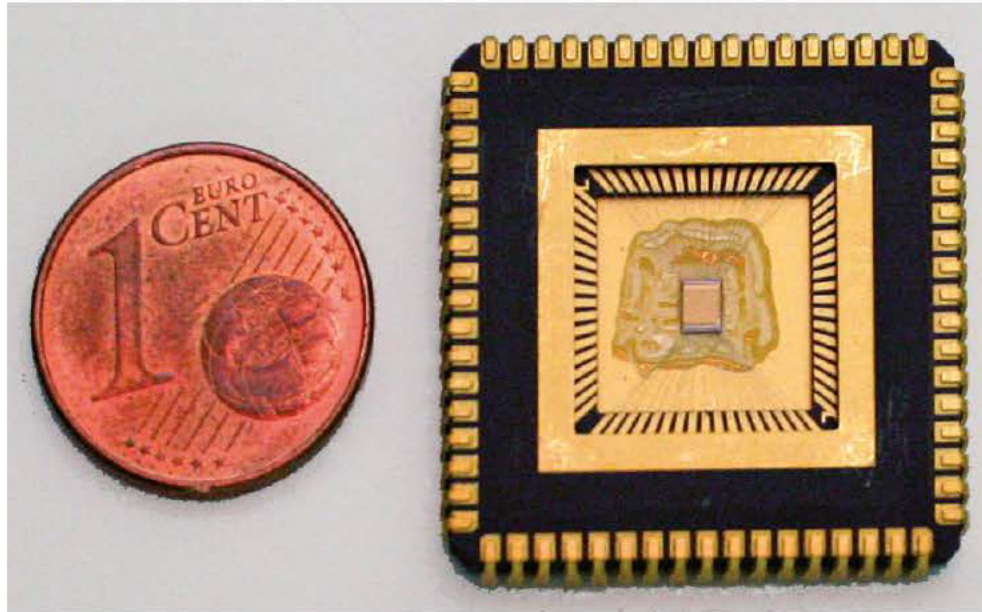
Pixel Sensor:

- 80 x 80 μm große Pixel

Aktiver Bereich nur ca. 30 μm tief

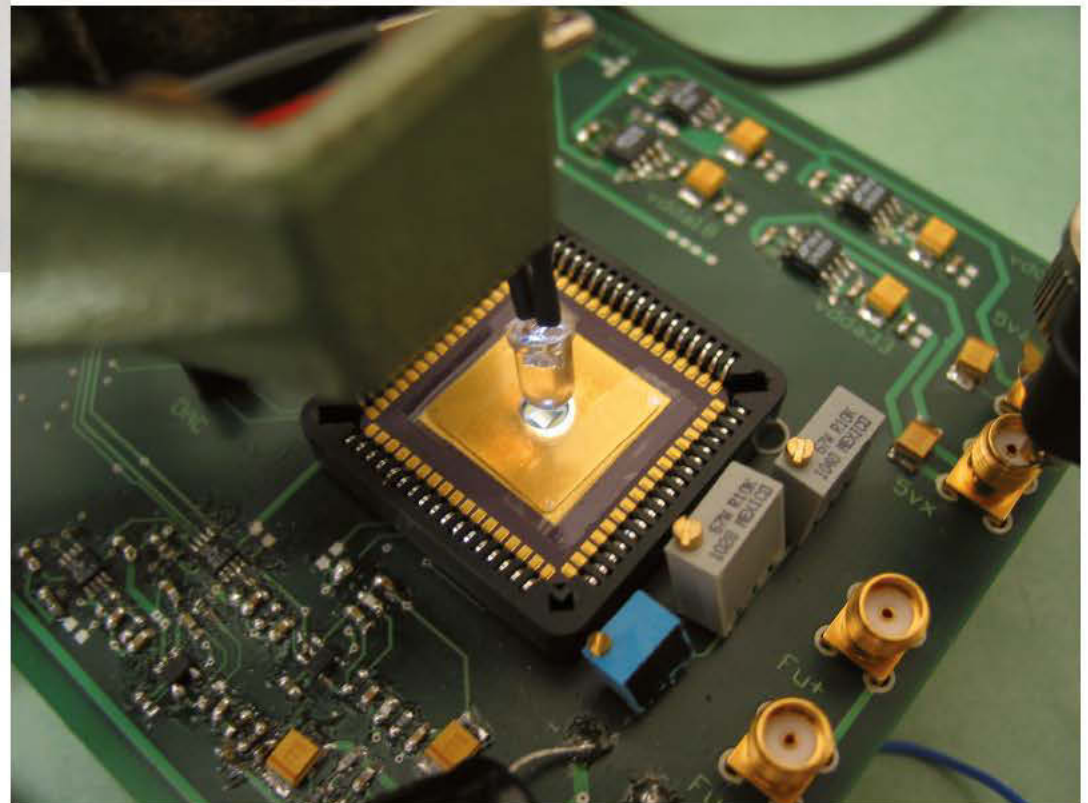


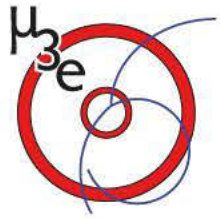
Chip Tests



Prototypen bei uns im Labor

- Ca. 2 x 2 mm groß
(soll 2 x 2 cm werden)
- Sehr vielversprechende Resultate

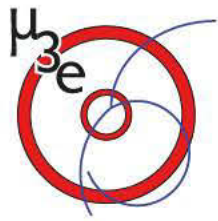




Dünnen...



- Elektronen sollen im Silizium so wenig wie möglich streuen
- Chips können auf **unter 50 μm gedünnt** werden (Chipkarten)
- Wir lernen den Umgang mit grossen, dünnen Chips...

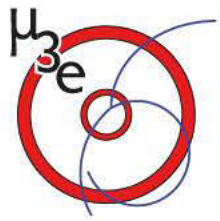


Mechanik



50 μm Silizium ist nicht mehr selbsttragend

- Brauche Tragestruktur, plus elektrische Anschlüsse
- Möglichst wenig zusätzliches Material



Mechanik

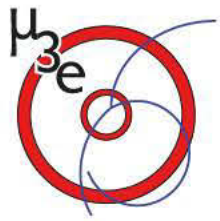
- Klebe Sensoren auf 25 μm Folie mit aufgedruckten Leiterbahnen
- Verklebe dies mit Rahmen aus 25 μm Kapton-Folie

Folie mit Leitungen
(Flexprint)

Sensoren



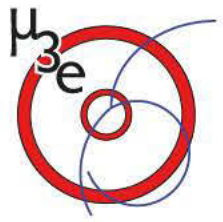
Kapton-Folie



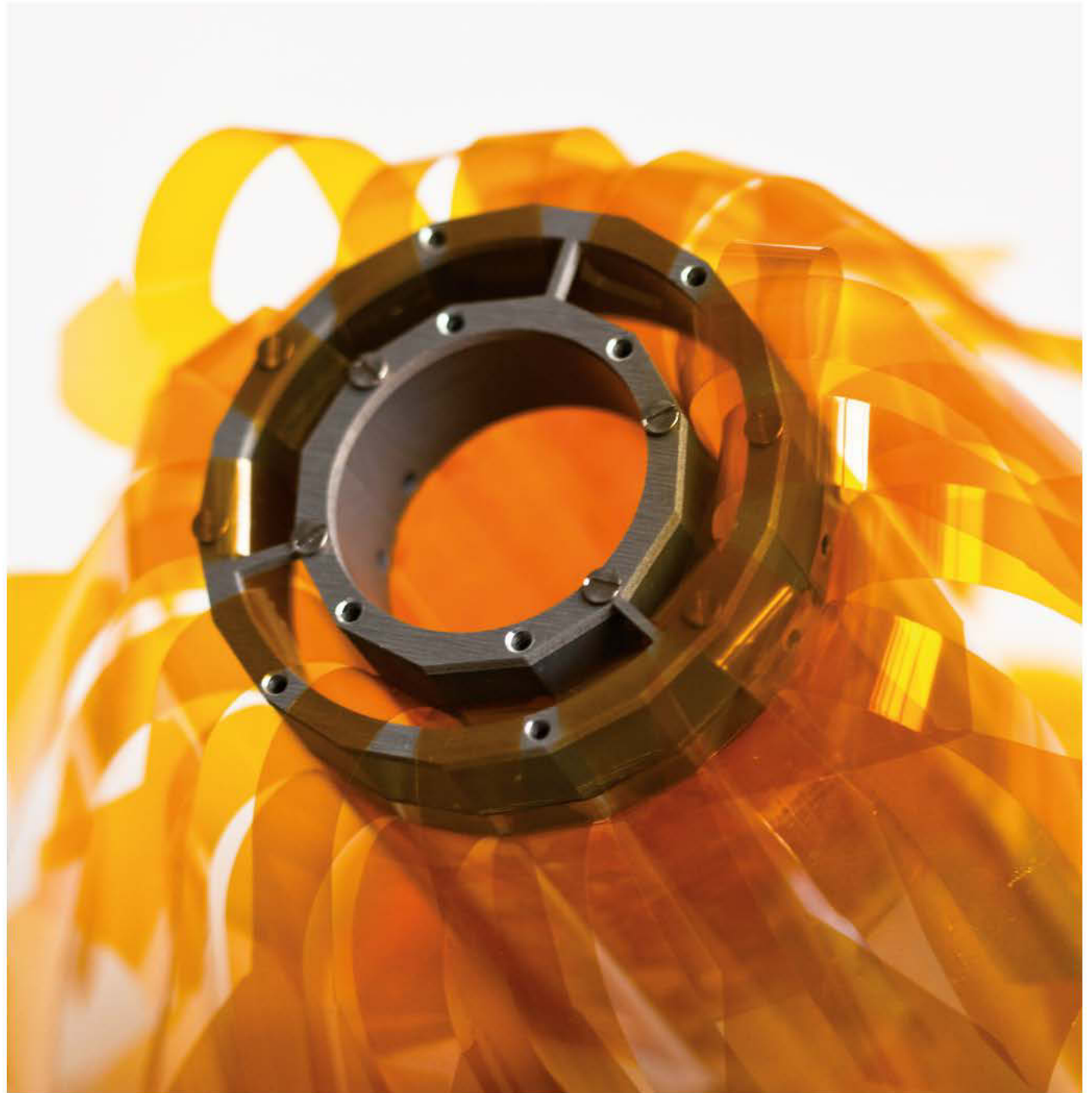
Mechanik

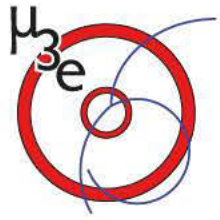
- Fast kein Material, aber sehr stabil
- Klebe Sensoren auf 25 μm Folie mit aufgedruckten Leiterbahnen
- Verklebe dies mit Rahmen aus 25 μm Kapton-Folie





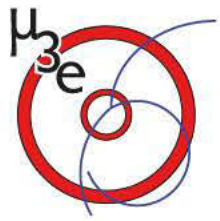
Mechanik



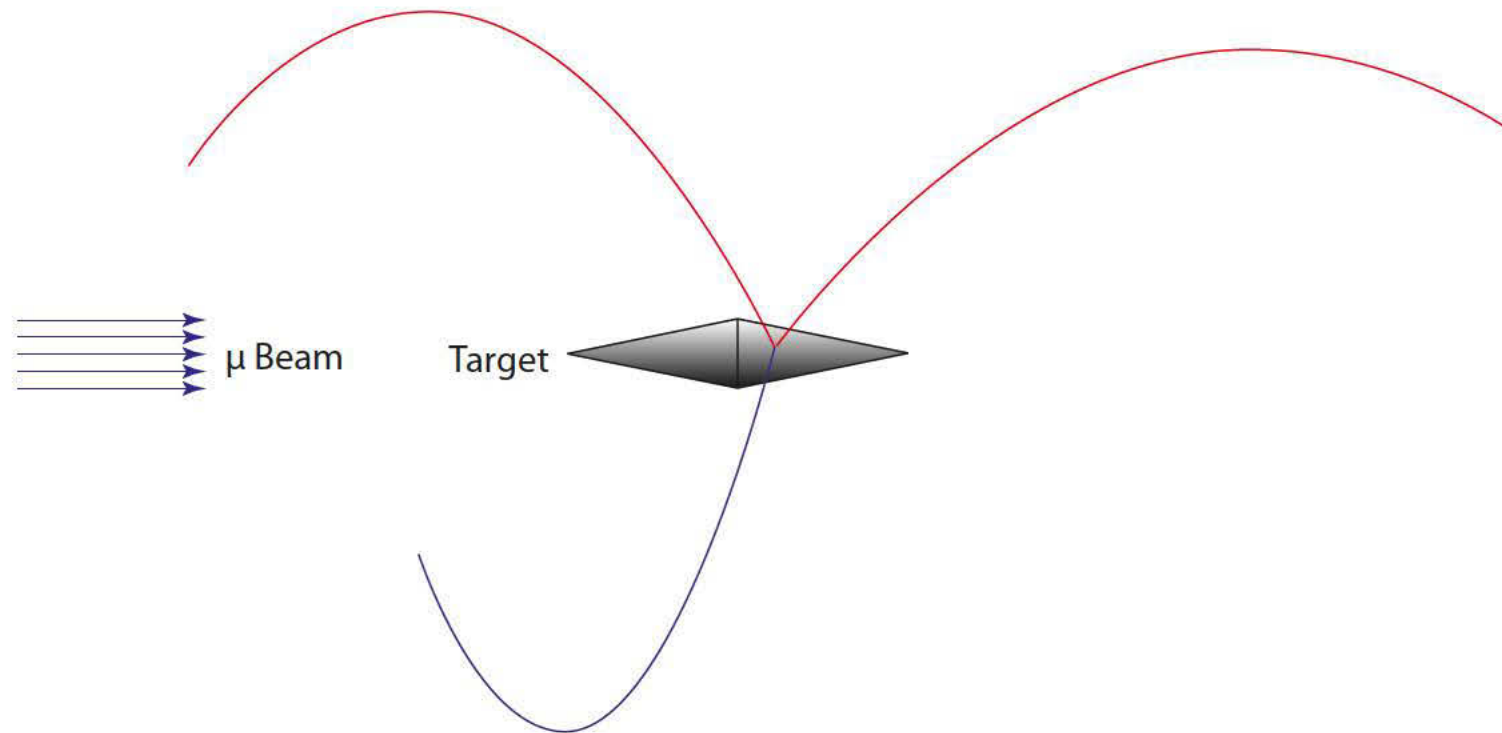


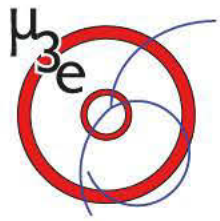
Das komplette Experiment



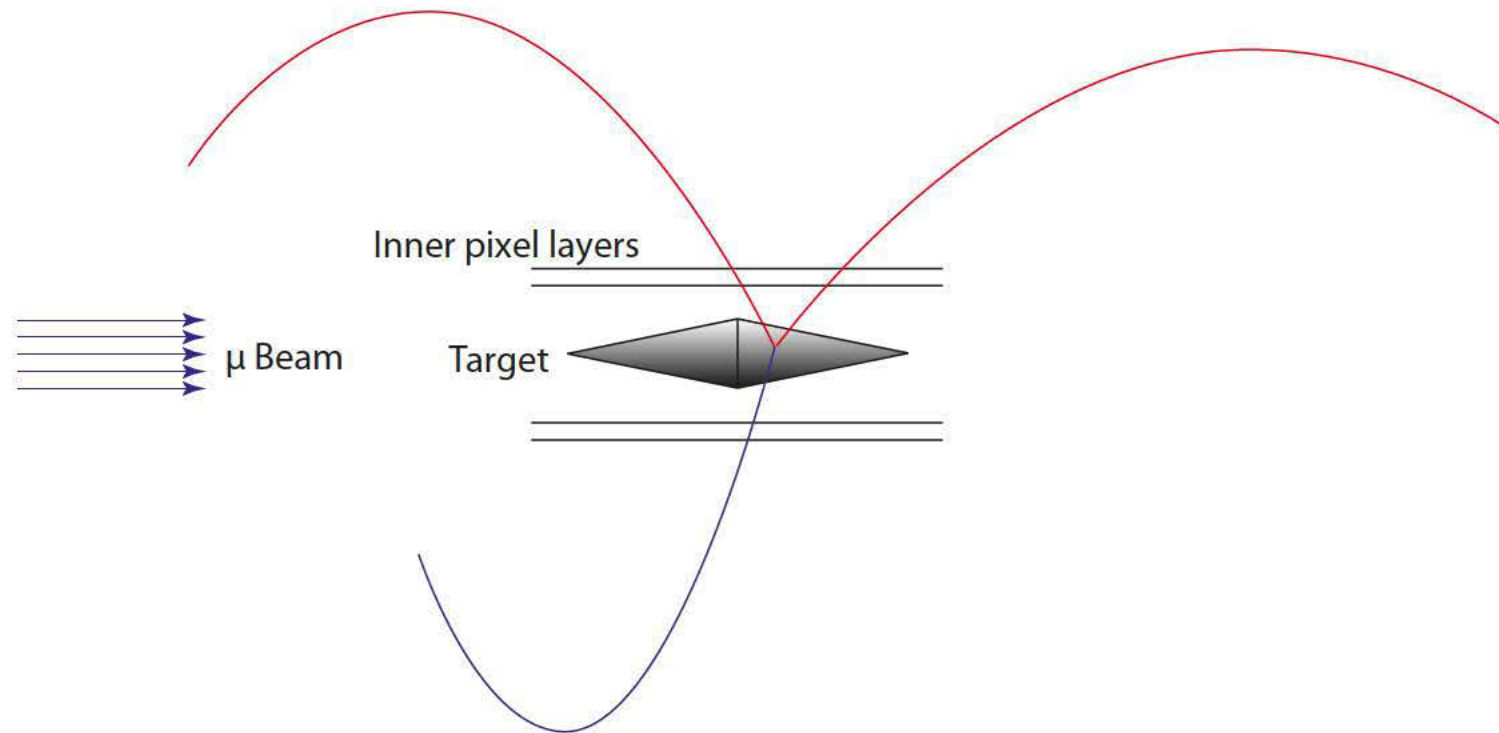


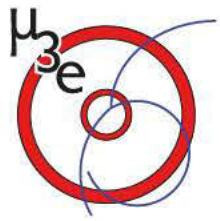
Das komplette Experiment



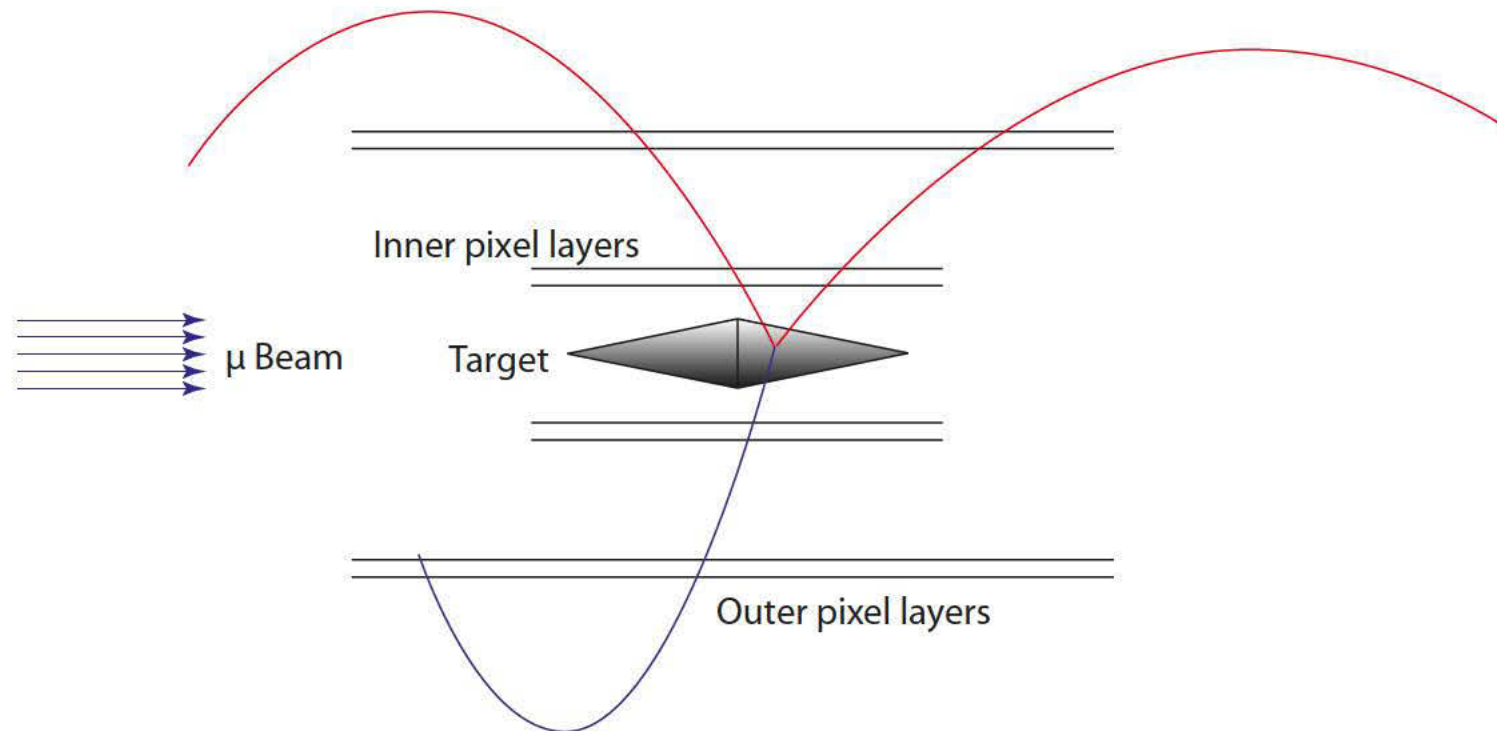


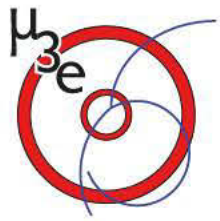
Das komplette Experiment



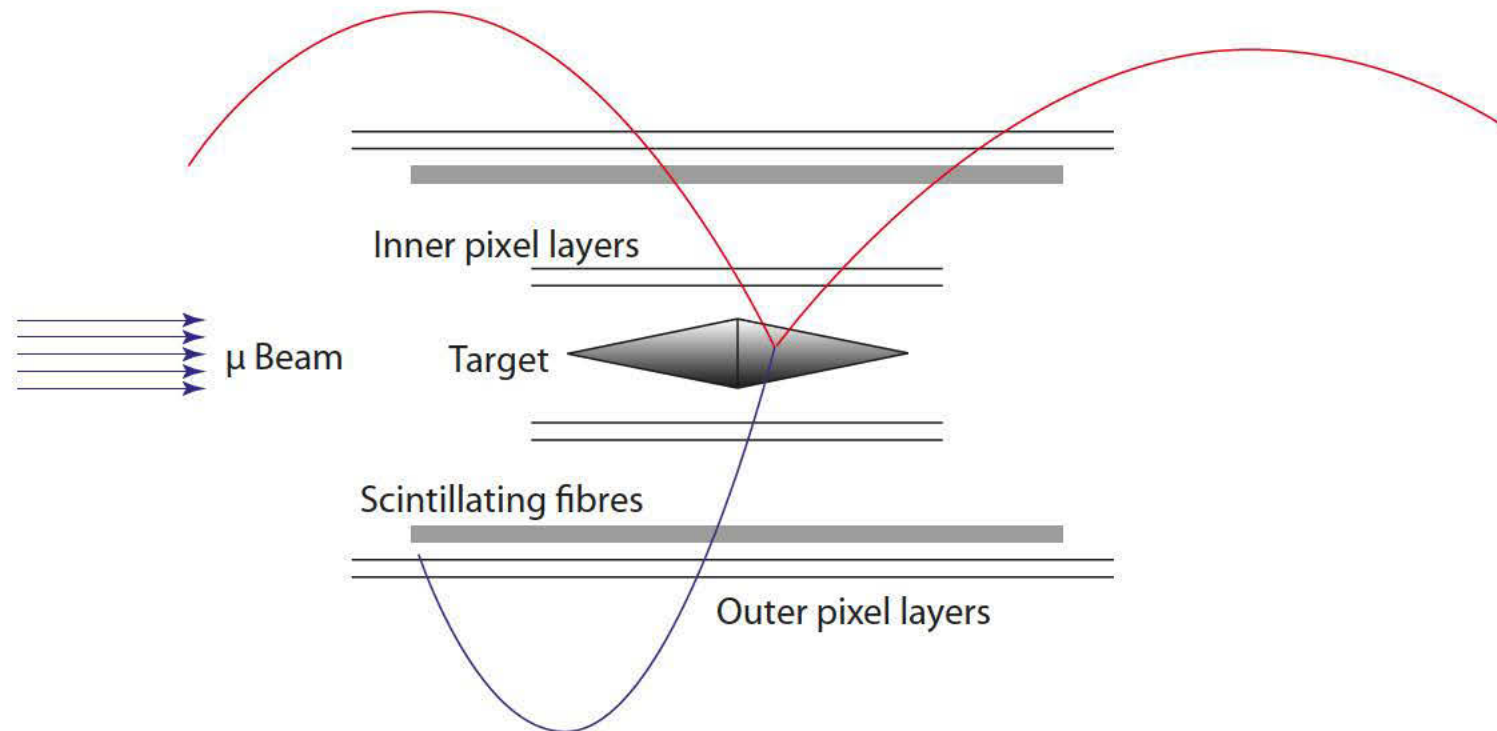


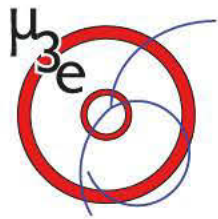
Das komplette Experiment



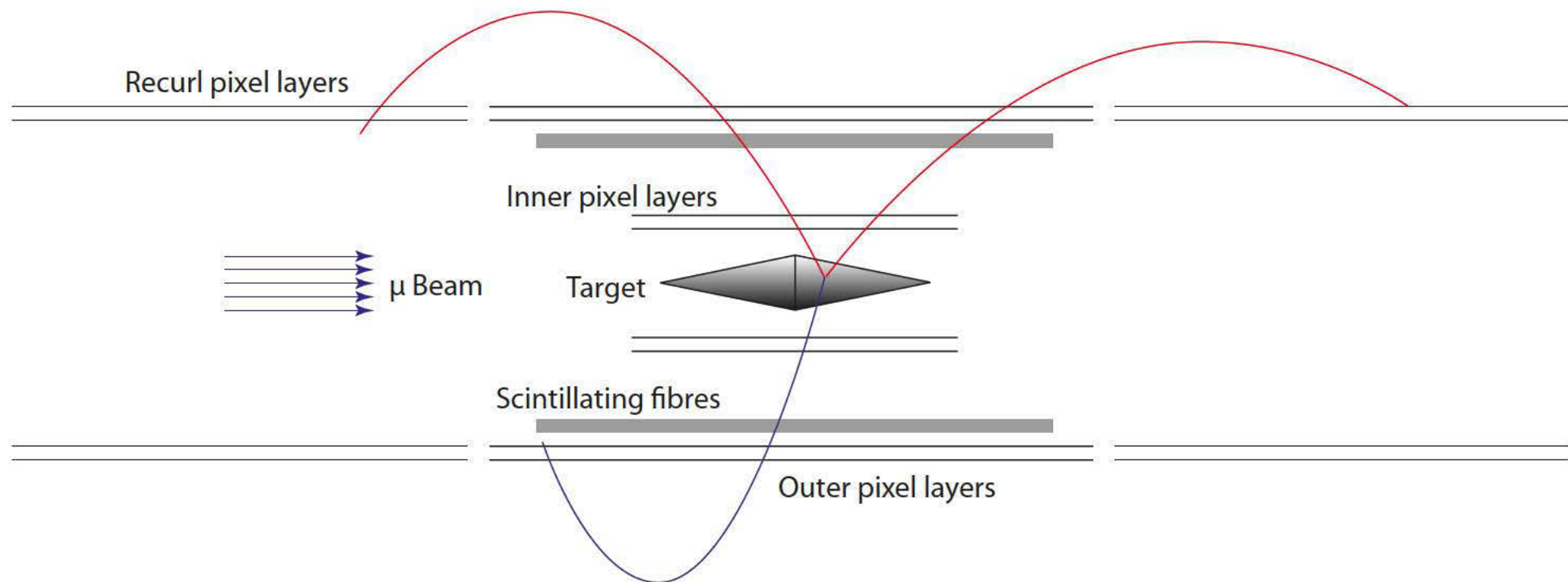


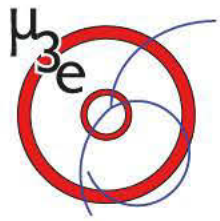
Das komplette Experiment



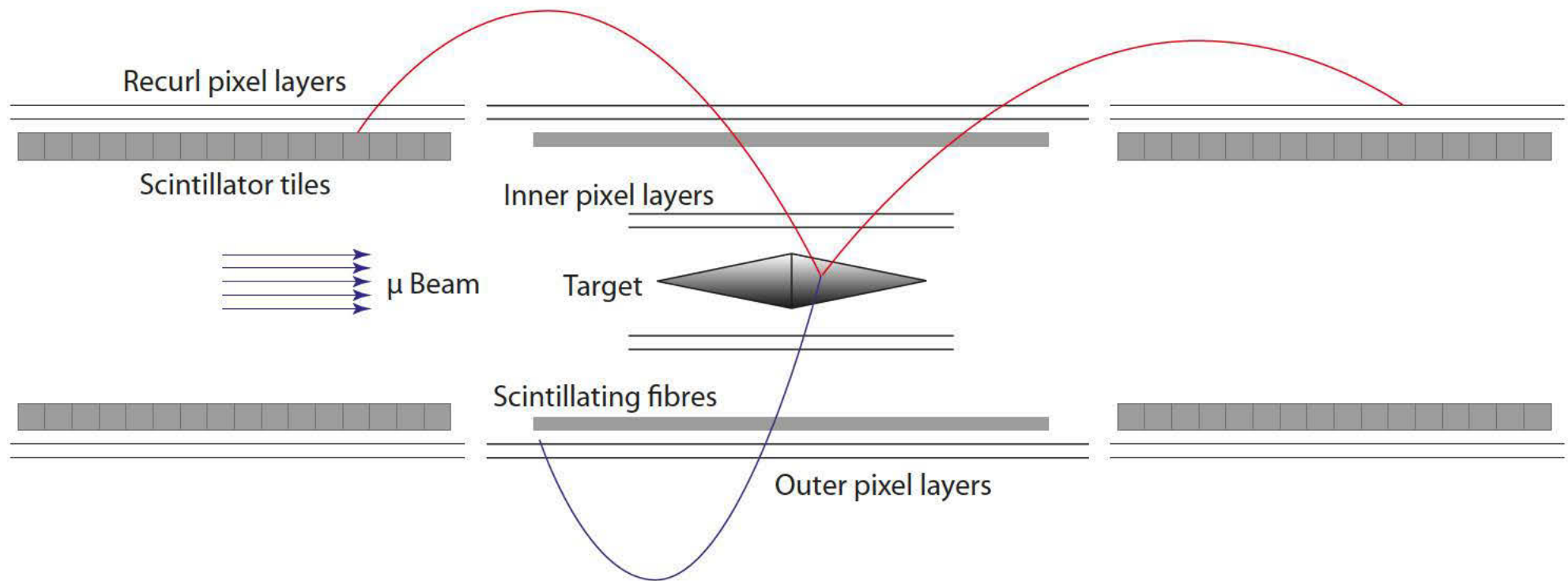


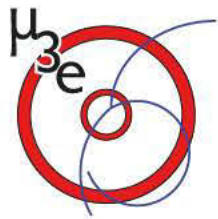
Das komplette Experiment



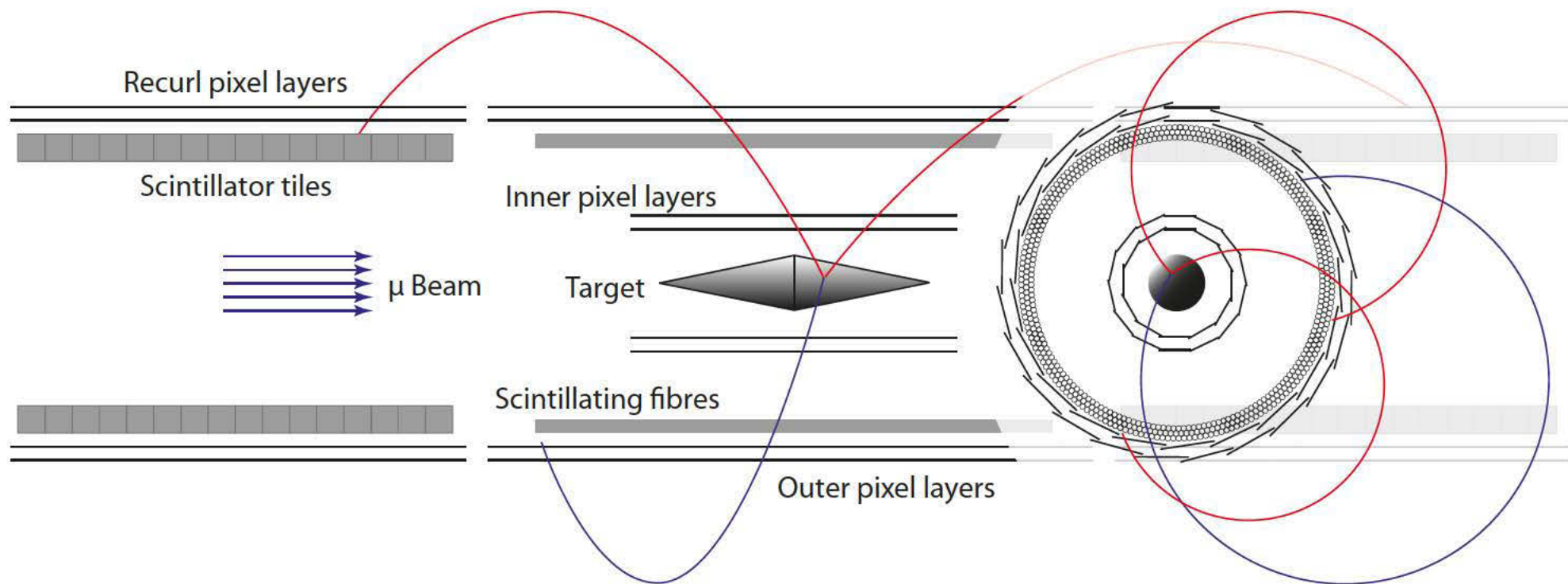


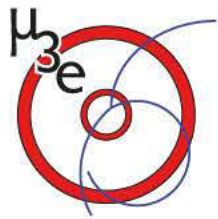
Das komplette Experiment



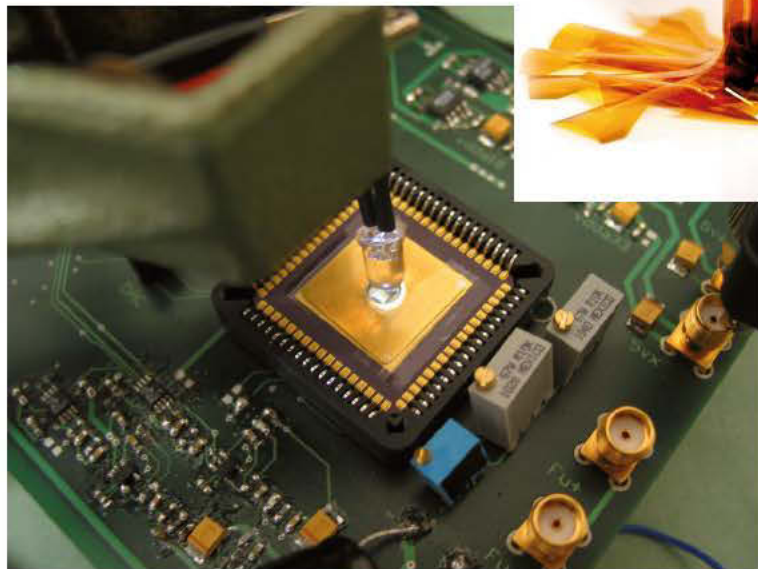
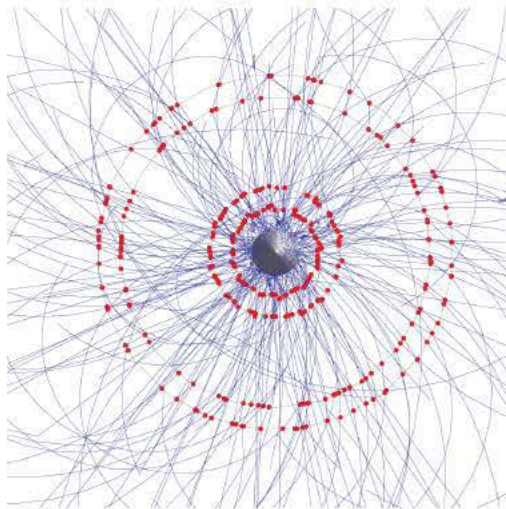


Das komplette Experiment





Zusammenfassung/Ausblick



Das Mu3e-Experiment sucht nach dem Zerfall $\mu \rightarrow eee$

- Sensitivität 1 in 10^{16}
- Eine Milliarde Zerfälle pro Sekunde
- 300 Millionen Pixel
- Sensoren so dünn wie ein Haar
- Getragen von halb so dicker Folie...

Viele weitere spannende Technologien...

- Prototypen im Labor
- Datennahme ab 2014
- Volle Datenrate ab 2017

Team von Deutschen und Schweizer Instituten