

Entwicklung von Strahlenharten Pixel Sensoren für das CMS Experiment

Rolf Kaufmann

C. Amsler^①, G. Bolla^④, D. Bortoletto^④, B. Gobbi^⑤,
B. Henrich^③, R. Horisberger^②, R. Kaufmann^①, C. Rott^④,
T. Rohe^②, A. Roy^④, L. Tauscher^③

① Universität Zürich

② Paul Scherrer Institut

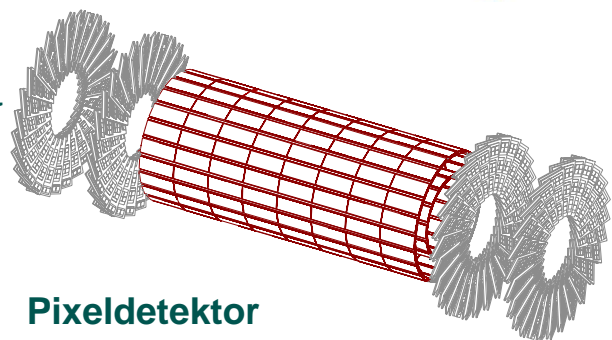
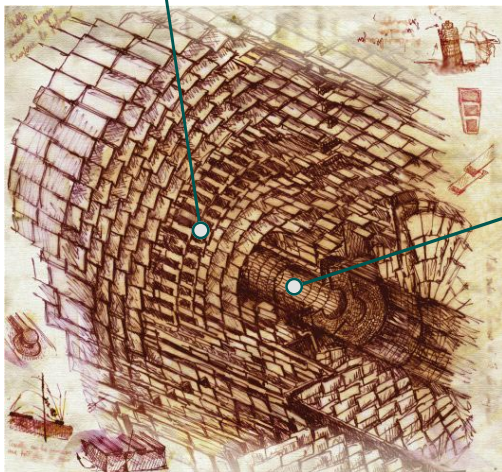
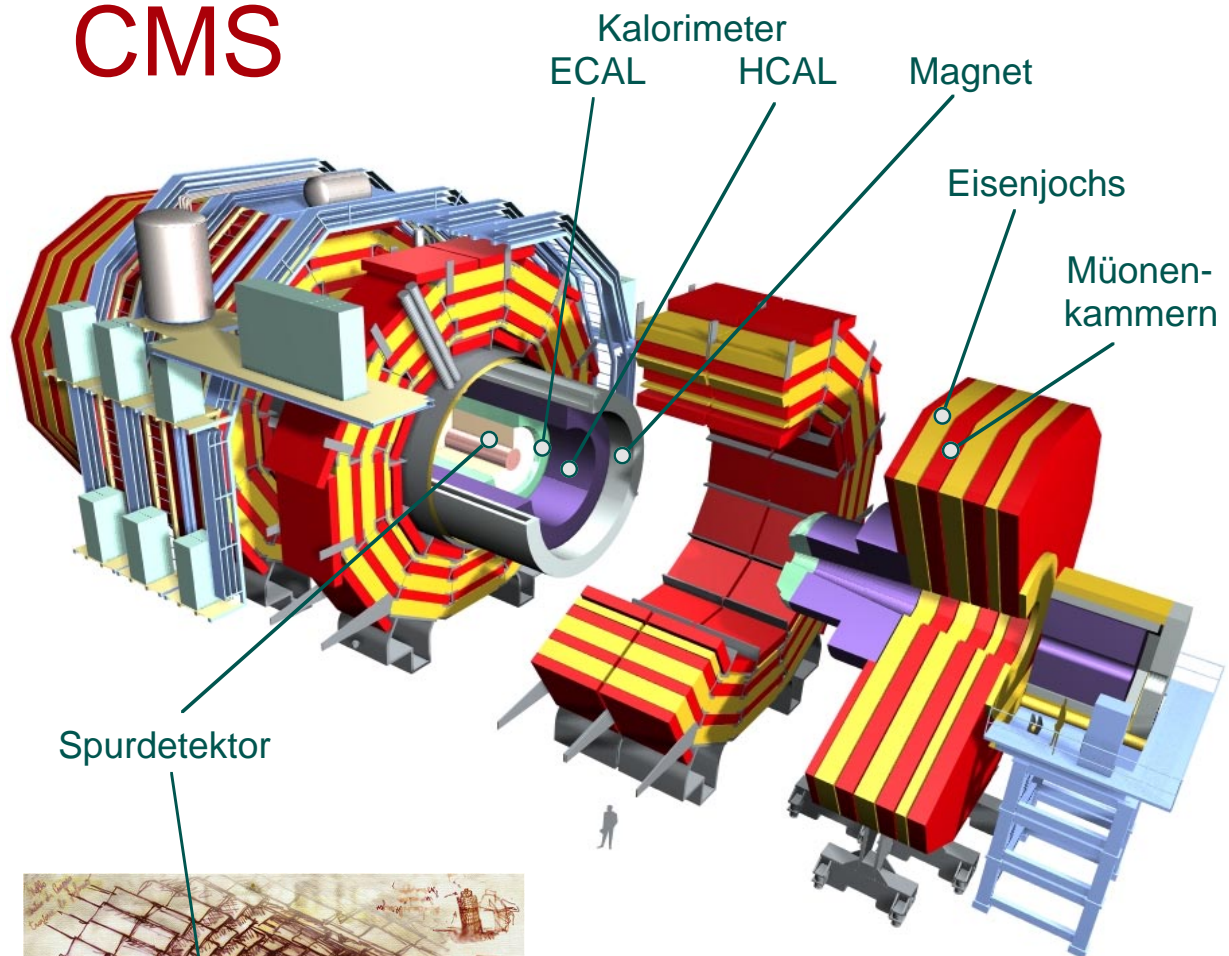
③ Universität Basel

④ Purdue University, USA

⑤ Northwestern University, USA

- Das CMS Experiment
- Problematik der hohen Teilchenspurdichte
- Strahlenschäden in Silizium
- Prototypen
- Pixel Isolierung
- Pixel Kapazität
- Ladungsteilung (Lorentz-Effekt)
- Schlussfolgerungen

CMS



Pixeldetektor

Länge: 1m

Radien: (4cm), 7cm, 11cm (Barrel)

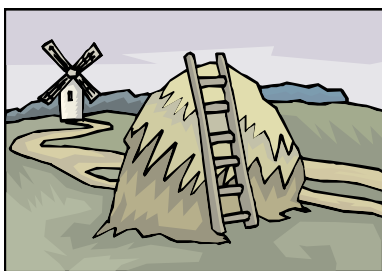
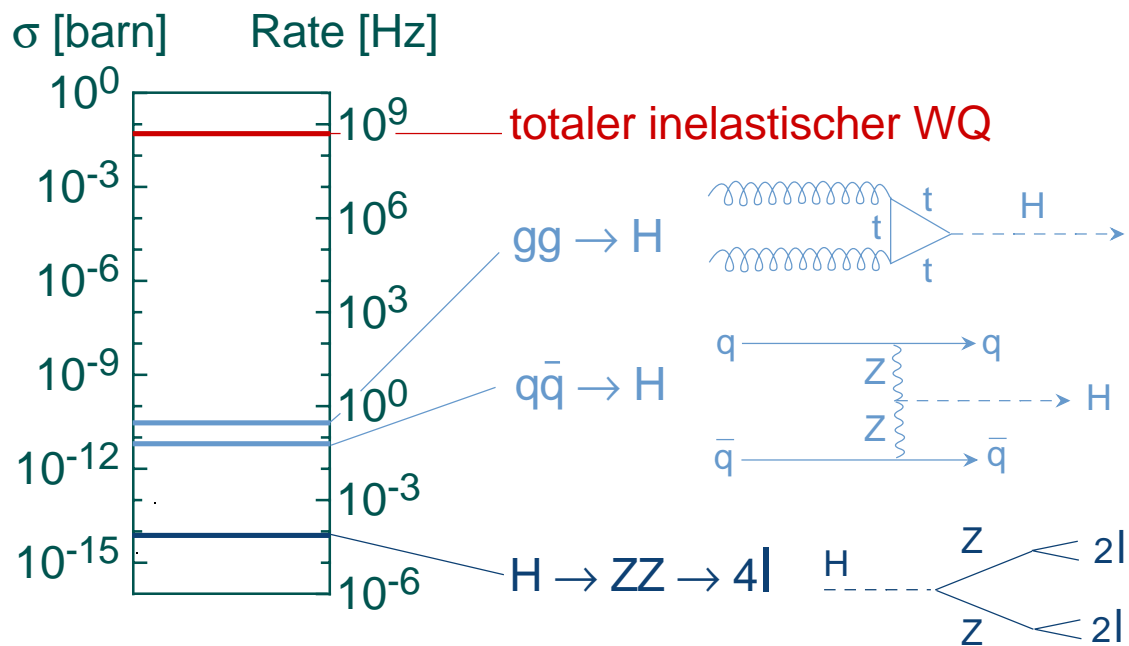
Fläche: 0.77 m^2 (0.92 m^2)

$26.8 \cdot 10^6$ Pixelzellen

Das Problem

Zum Beispiel Higgs Suche ($m_H = 150 \text{ GeV}/c^2$):

$$WQ(pp \rightarrow H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l) / WQ_{\text{tot}} \approx 1 / 10^{13}$$



Ein Heuhaufen $\rightarrow \sim 50 \text{ m}^3$

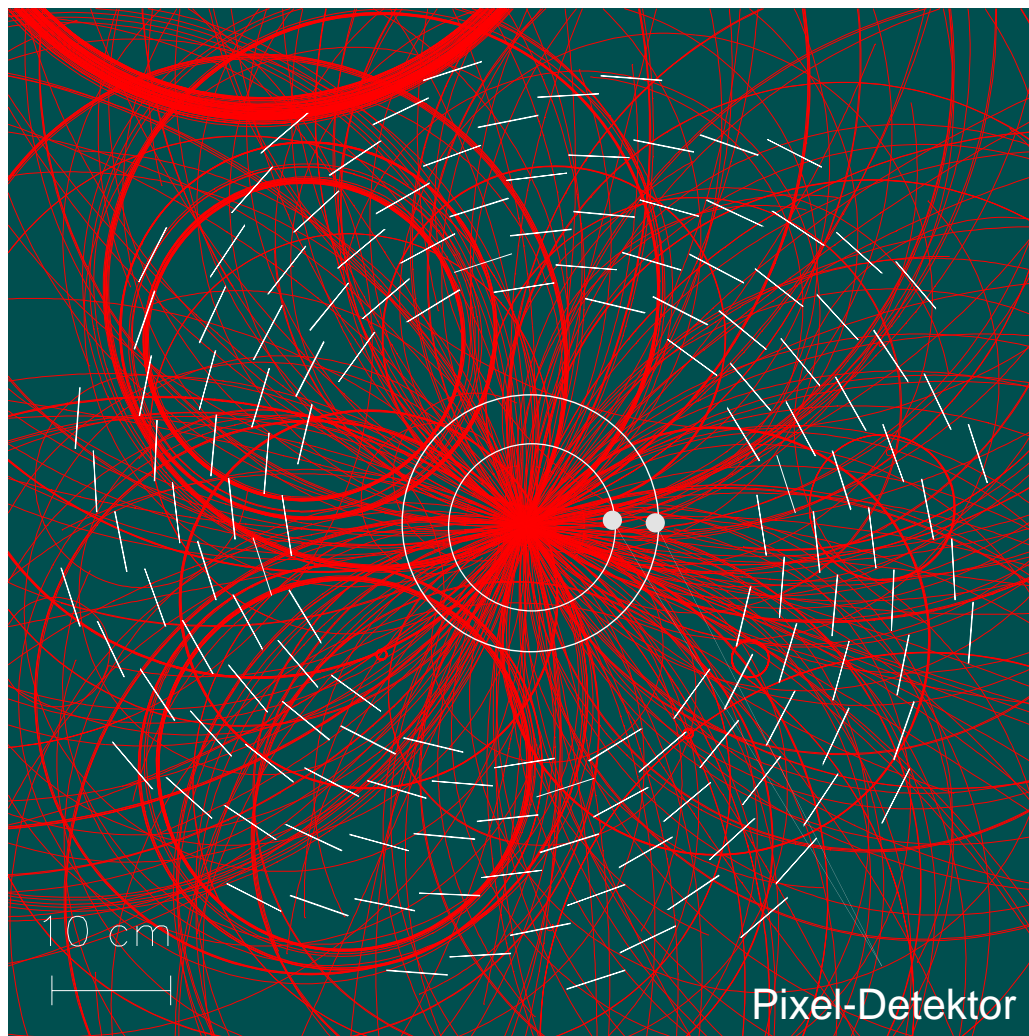
Eine Nadel $\rightarrow \sim 5 \text{ mm}^3$



\Rightarrow Finde eine Nadel in 1000 Heuhaufen!

konkret:

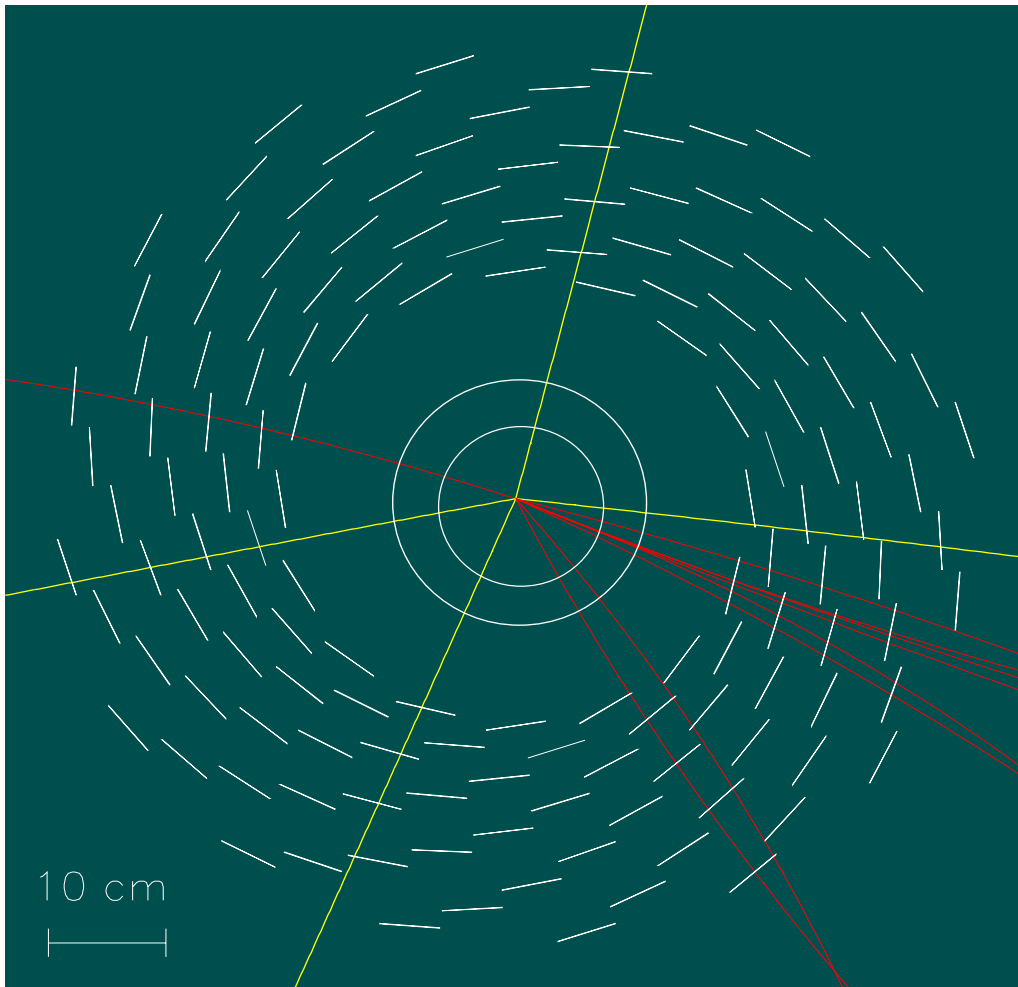
1 "Bunch Crossing" mit einem simulierten Higgs Ereignis $pp \rightarrow H \rightarrow ZZ \rightarrow 4\mu$ plus 18 überlagerte "Minimum Bias" Ereignisse (alle 25 ns)



Finde die vier Müonen-Spuren

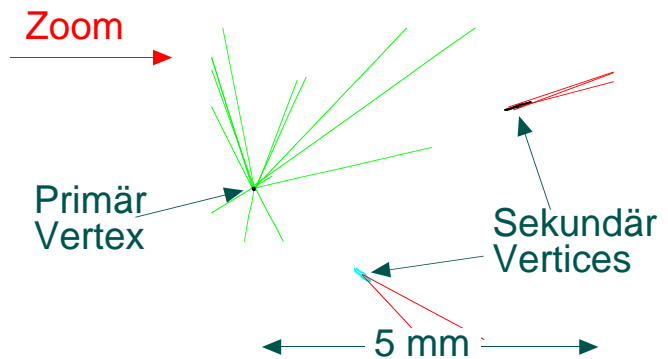
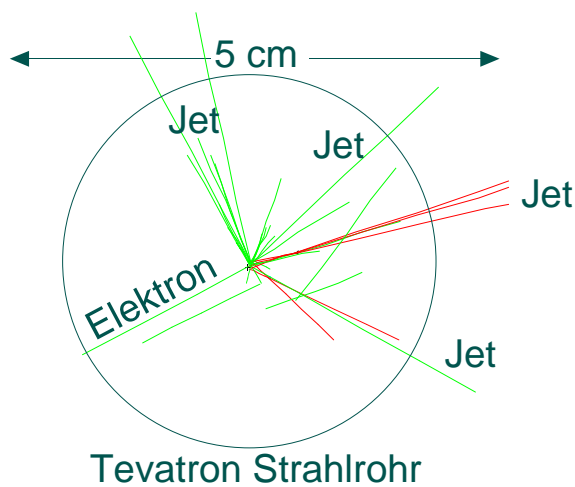
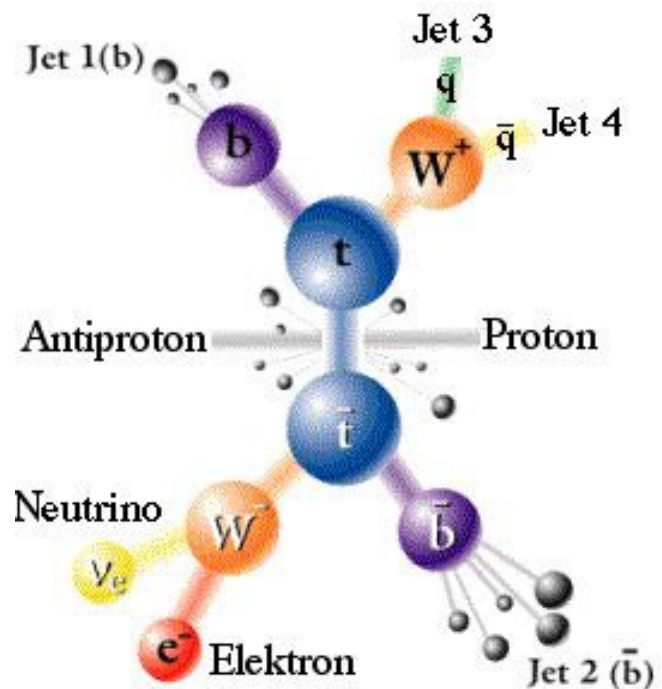
Die Lösung

Selektiere Spuren mit Transversalimpuls $p_T \geq 2 \text{ GeV}/c$
→ vier gerade μ -Spuren deutlich sichtbar (gelb)



**Benötigt genaue Impuls- und
Vertexrekonstruktion
(«Impact Parameter Resolution» $\delta \approx 10 - 100 \mu\text{m}$)**

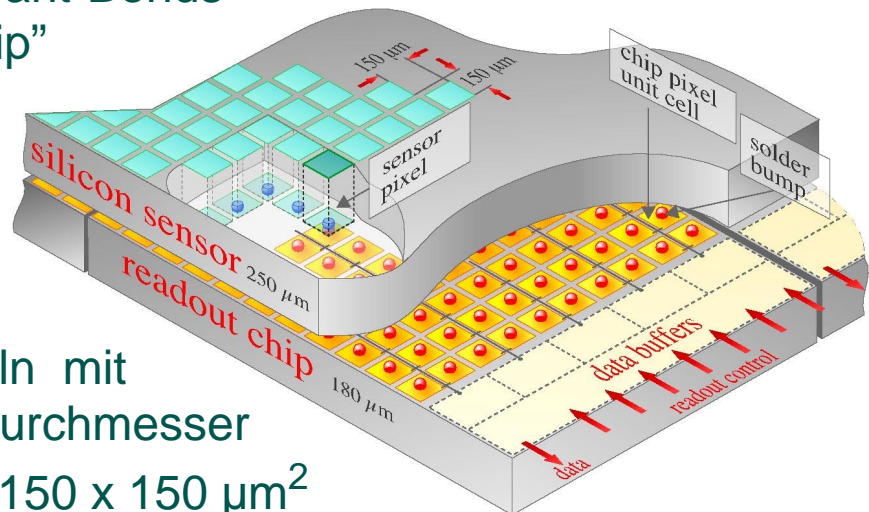
Vertexrekonstruktion
 noch wichtiger für
 Sekundärvertices
 von B-Zerfällen,
 z.B. Top Ereignis
 bei CDF:
 $p\bar{p} \rightarrow t\bar{t}$
 $\rightarrow (Wb) (W\bar{b})$
 $\rightarrow (e^- \bar{\nu}_e \text{ Jet}) (3 \text{ Jets})$



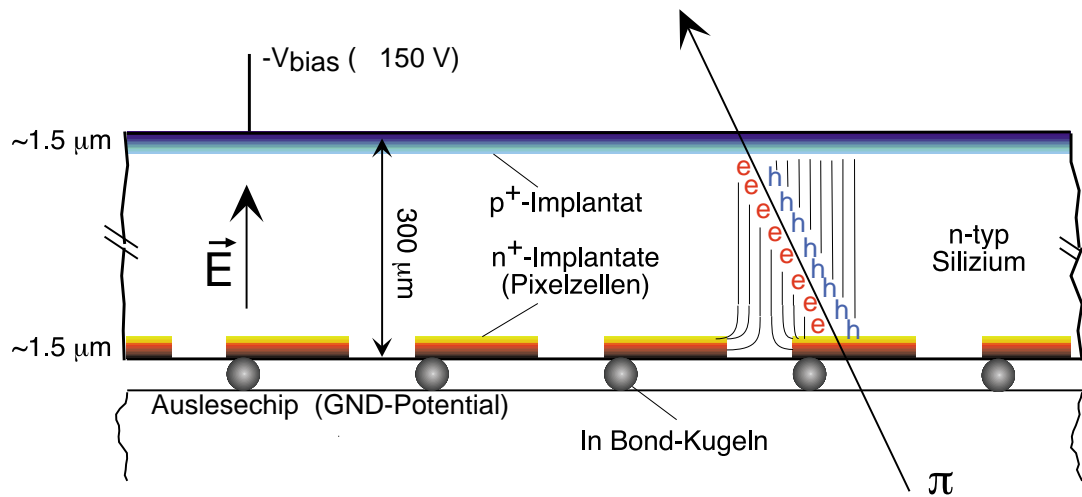
- ⇒ Innerste Detektorlagen so nahe als möglich beim Vertex
- ⇒ Pixel Detektor wegen hoher Hitmultiplizität (Vermeidung von Mehrdeutigkeiten in der Spurrekonstruktion)

Layout

Anstelle von Draht-Bonds
neues "Flip-Chip"
Verfahren



- In Bond-Kugeln mit 15 μm Durchmesser
- Pixelgrösse: 150 x 150 μm² (evtl. 100 x 150 μm²)



- Schnelle Auslese: Bunch-Crossing Zeit 25 ns
- Hohe radioaktive Strahlenbelastung

Strahlenschäden

Hohe Dosis: 10^5 Gy (integriert)

LD₅₀ Wert für Menschen: ~ 3 Gy

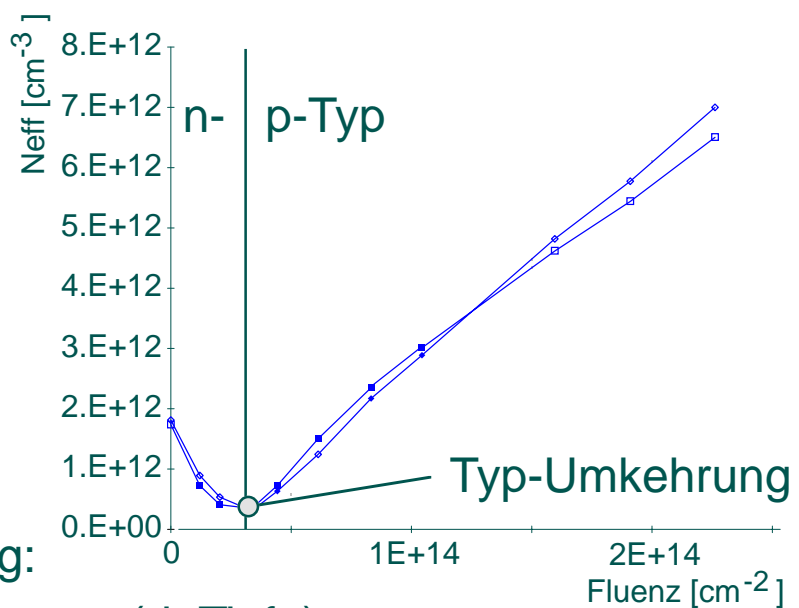
Weltraumanwendungen: ~ 100 Gy

Bulk: Dotierungsänderungen (Typ-Umkehrung) durch Einfügen von Akzeptor Niveaus

$$N_{\text{eff}} = |N_D - N_A|$$

N_D : Donator-Niveaus

N_A : Akzeptor-Niveaus



Depletionsspannung:

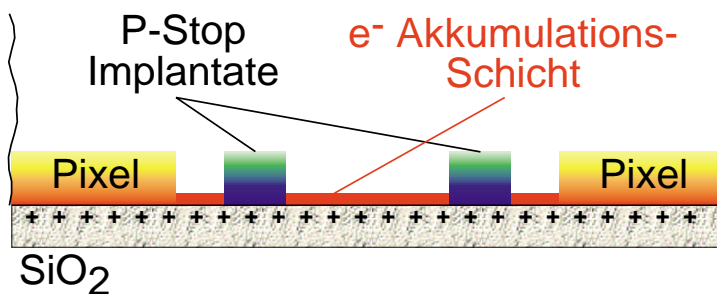
$$V_{\text{depl}} = q N_{\text{eff}} d^2 / 2 \epsilon_{\text{Si}} \epsilon_0 ; (d: \text{Tiefe})$$

Oberfläche

Positive Oxyd-Ladungen

⇒ Elektronen-Akkumulationsschicht

⇒ Änderung der Oberflächenleitfähigkeit



Isolation der Pixel mit P-Stop Implantaten zwischen den Pixelzellen