



Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG



Ladungsverluste in Silizium Streifensensoren

Thomas Pöhlson, Robert Klanner, Sergej Schuwalow,
Jörn Schwandt und Jiaguo Zhang

GEFÖRDERT VOM

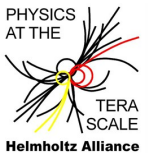


Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Universität Hamburg
Institut für Experimentalphysik



DPG Frühjahrstagung, Karlsruhe 2011



Übersicht

- Motivation – warum Studium der Oberflächeneffekte?
- Untersuchte Sensoren
- Versuchsdurchführung
- Ladungssammlung und Elektronenverluste
- Übersicht der Ladungsverluste
- Zusammenfassung und Ausblick

Motivation – warum Studium der Oberflächeneffekte?

Elektrische Felder im Detektorinneren recht genau bekannt.

Oberflächendefekte und Oberflächenladungen ?

Randbedingungen ?

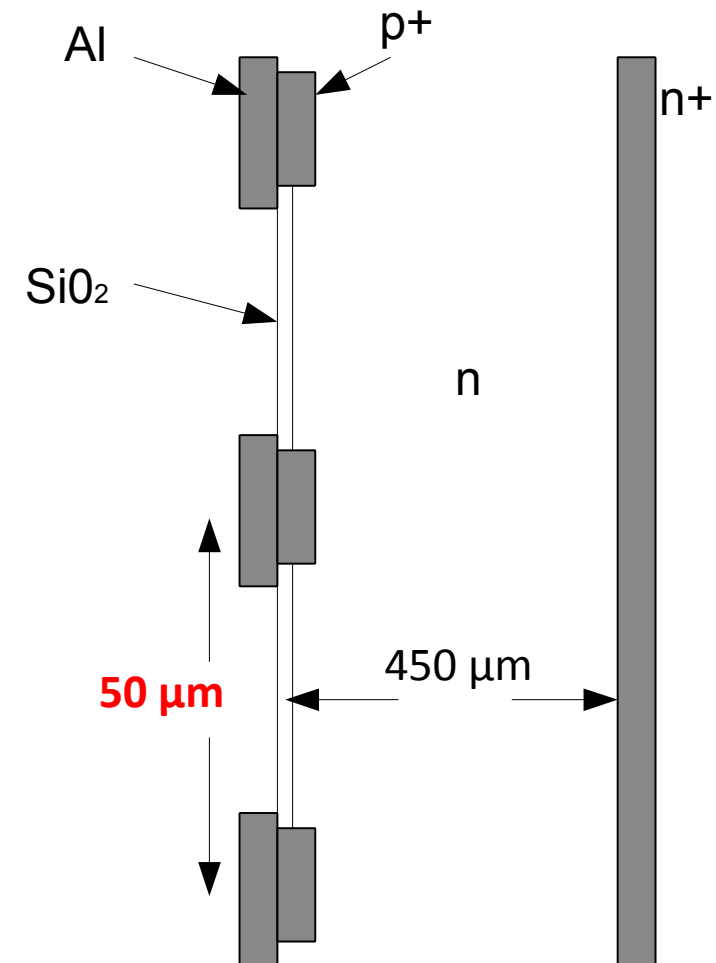
Stabilität des Detektors stark abhängig von Oberflächeneffekten.

Ladungsverluste an der Oberfläche festgestellt.

Untersuchte Sensoren

Hersteller:	HPK	/ CiS
Kopplung:	DC	/ AC
Streifenabstand:	50 μm	/ 80 μm
Implantationsbreite:	11 μm^*	/ 20 μm
Anzahl der Streifen:	128	/ 98
Länge der Streifen:	8 mm	/ 7.8 mm
Sensordicke:	450 μm	/ 285 μm
Orientierung:	(1 1 1)	/ (1 0 0)

* + 2 μm Aluminium Überhang



Versuchsdurchführung (TCT)

Rotes Laserlicht, Vorderseite, $\lambda = 660 \text{ nm}$ (Eindringtiefe $3 \mu\text{m}$)

gepulst: FWHM 100 ps, 1 kHz

Fokus: $\sigma = 3 \mu\text{m}$



4 Auslesekanäle zum Oszilloskop (2.5 GHz Bandbreite)

Ladung Q durch offline Integration $Q = \int I \, dt$

Nachbarkanäle: $50 \, \Omega$ auf Masse

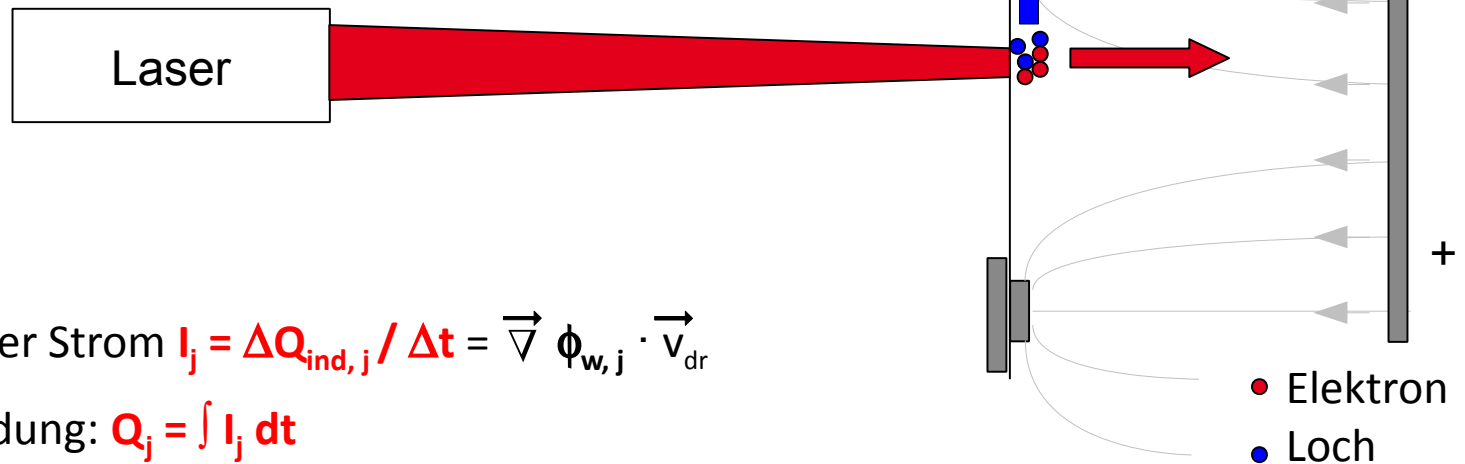
Ladungssammlung

Ladungsträger

- driften im elektrischem Feld: $\vec{v}_{dr} = \mu \vec{E}$
- induzieren Ladung auf den Streifen (und der Rückseite)

Ind. Ladung auf Streifen j: $Q_{ind,j}(t) = q \cdot \phi_{w,j}(x(t))$

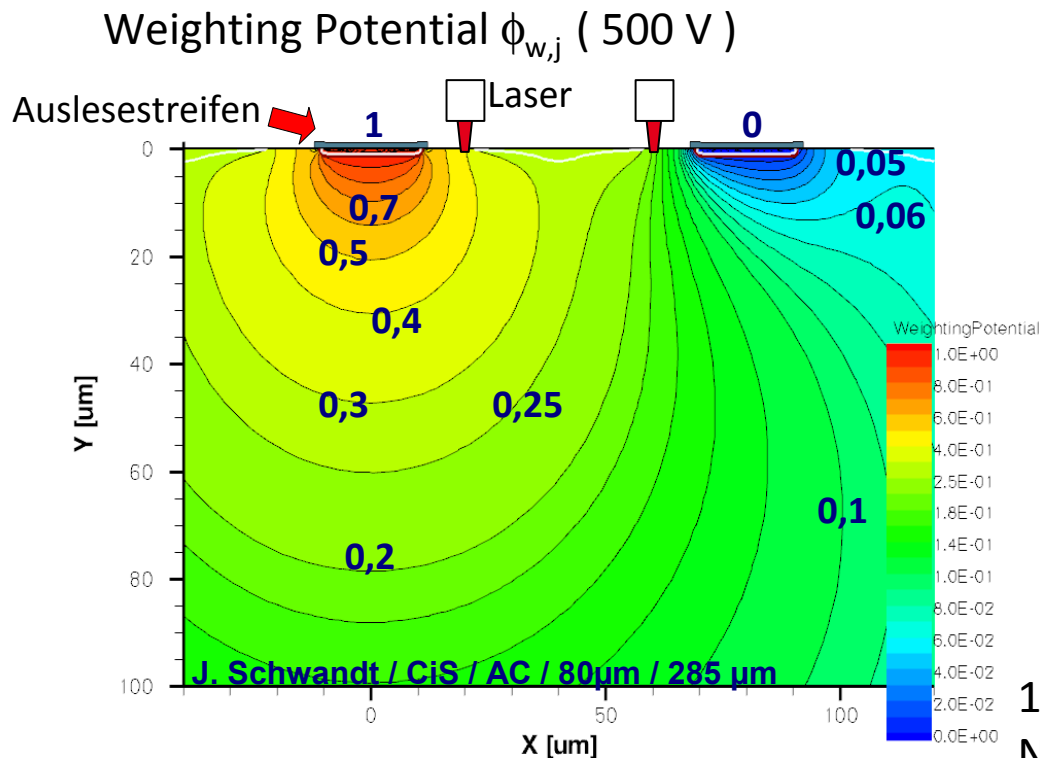
Mit dem Weighting Potential $\phi_{w,j}$



Ramo: Induzierter Strom $I_j = \Delta Q_{ind,j} / \Delta t = \vec{\nabla} \phi_{w,j} \cdot \vec{v}_{dr}$

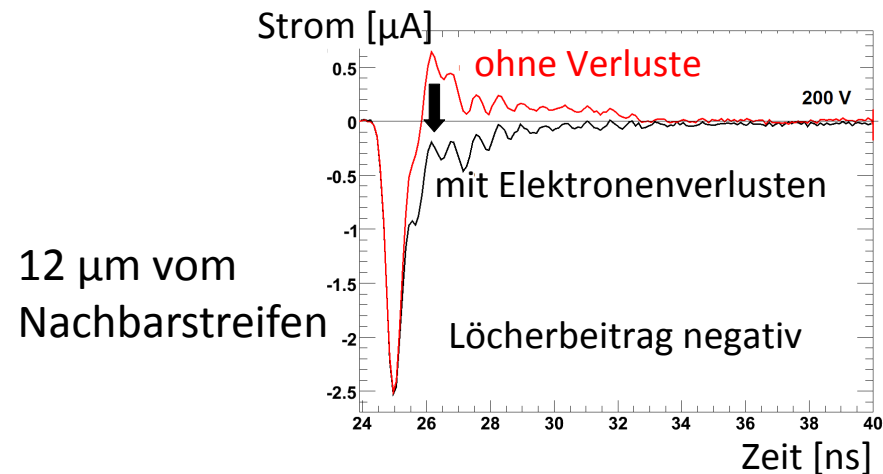
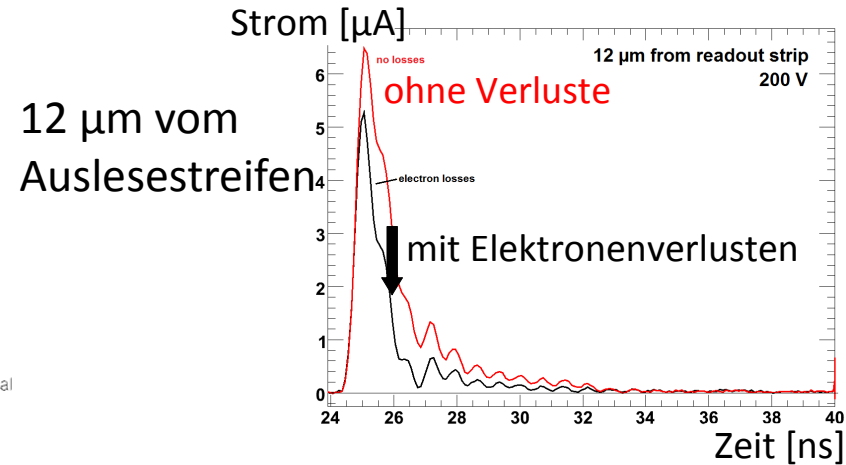
Gesammelte Ladung: $Q_j = \int I_j dt$

Stromsignal ohne und mit Elektronenverlusten

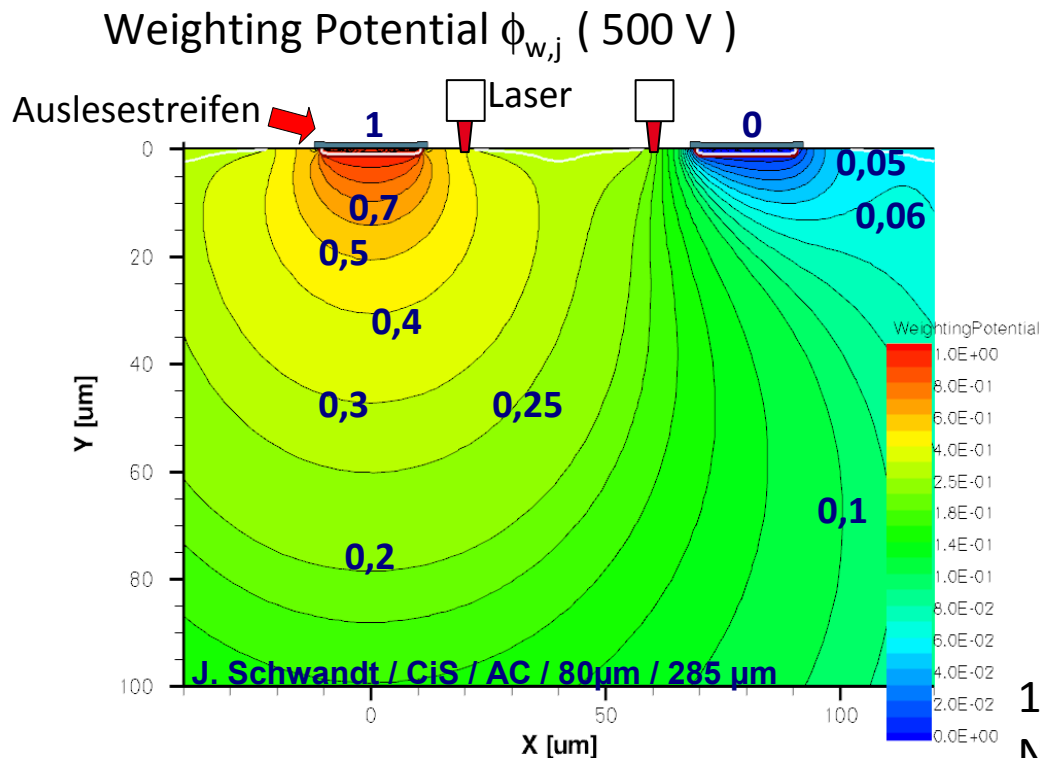


$$\text{Strom: } I = \Delta Q_{\text{ind}} / \Delta t = \Delta \phi_w / \Delta t$$

$$\text{Integral: } Q = q \cdot \Delta \phi_w$$

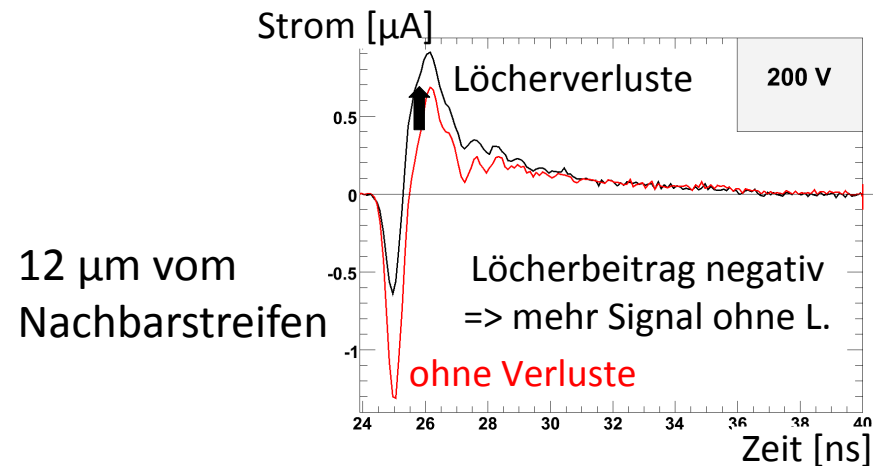
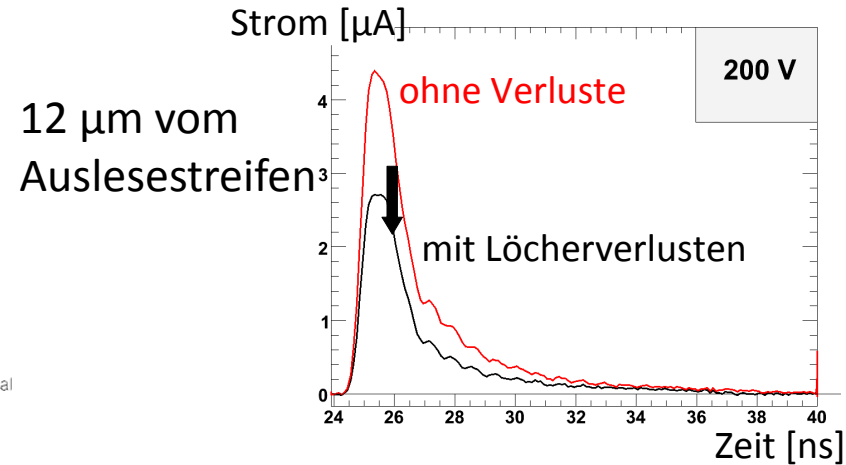


Stromsignal ohne und mit Löcherverlusten



$$\text{Strom: } I = \Delta Q_{\text{ind}} / \Delta t = \Delta \phi_w / \Delta t$$

$$\text{Integral: } Q = q \cdot \Delta \phi_w$$



Ladungssammlung, anschaulich

bei Erzeugung dicht am Streifen

Vollständige Ladungssammlung:

Löcher am nächsten Streifen, Elektronen an der Rückseite

Hauptstreifen: $Q_{\text{Haupt}} = \# \text{ Löcher} \cdot q_o = 3 q_o$

Nachbarn: $Q_{\text{Nachbarn}} = 0$

Ladungsverluste: am Ende der Integrationszeit

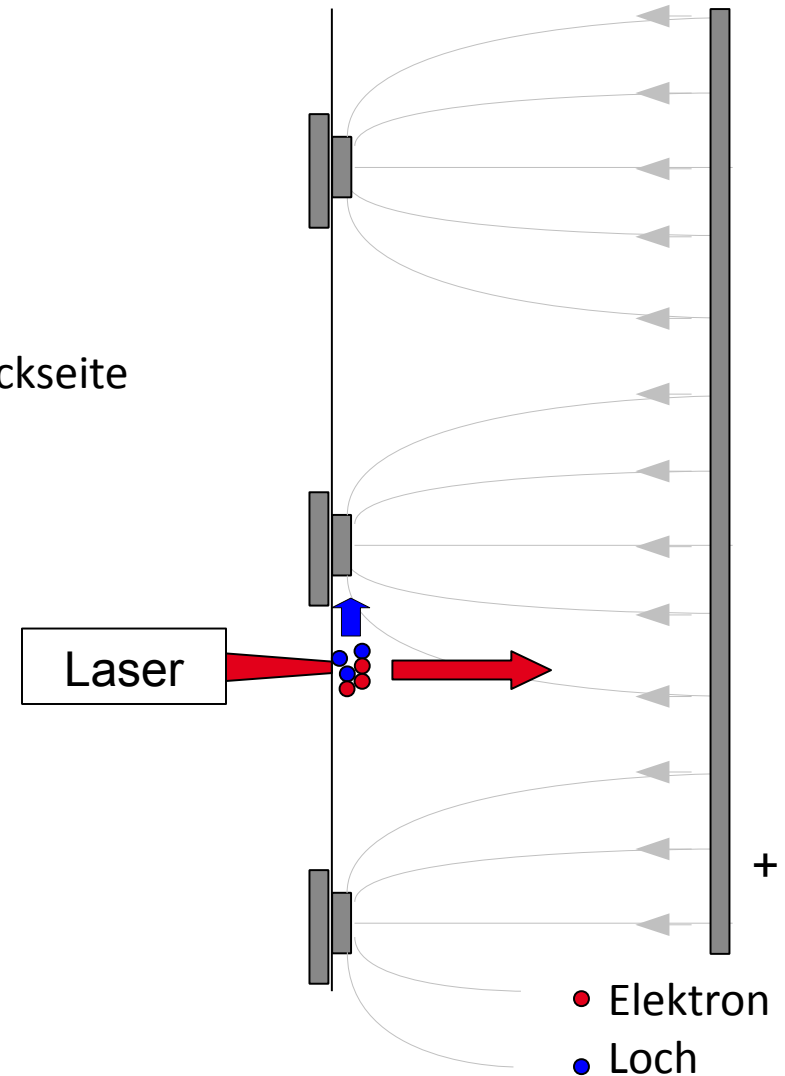
Ladungen im Volumen:

$$Q_{\text{ind},j} = \pm q \cdot \phi_{w,j} (\text{Endposition})$$

Hauptstreifen: Q reduziert

Nachbarstreifen bei Elektronenverlusten: $Q < 0$

Nachbarstreifen bei Löcherverluste: $Q > 0$



Ladungssammlung, anschaulich

bei Erzeugung dicht am Streifen

Vollständige Ladungssammlung:

Löcher am nächsten Streifen, Elektronen an der Rückseite

Hauptstreifen: $Q_{\text{Haupt}} = \# \text{ Löcher} \cdot q_o = 3 q_o$

Nachbarn: $Q_{\text{Nachbarn}} = 0$

Ladungsverluste: am Ende der Integrationszeit

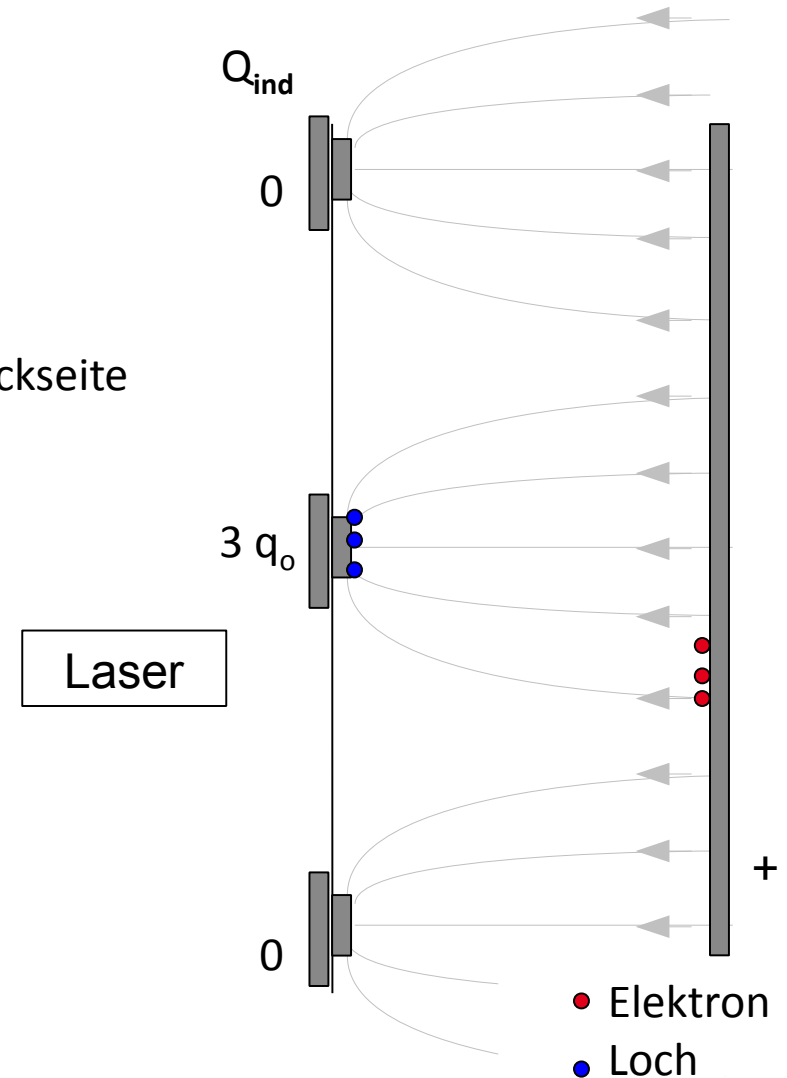
Ladungen im Volumen:

$$Q_{\text{ind},j} = \pm q \cdot \phi_{w,j} (\text{Endposition})$$

Hauptstreifen: Q reduziert

Nachbarstreifen bei Elektronenverlusten: $Q < 0$

Nachbarstreifen bei Löcherverluste: $Q > 0$



Ladungssammlung, anschaulich

bei Erzeugung dicht am Streifen

Vollständige Ladungssammlung:

Löcher am nächsten Streifen, Elektronen an der Rückseite

Hauptstreifen: $Q_{\text{Haupt}} = \# \text{ Löcher} \cdot q_o = 3 q_o$

Nachbarn: $Q_{\text{Nachbarn}} = 0$

Ladungsverluste: am Ende der Integrationszeit

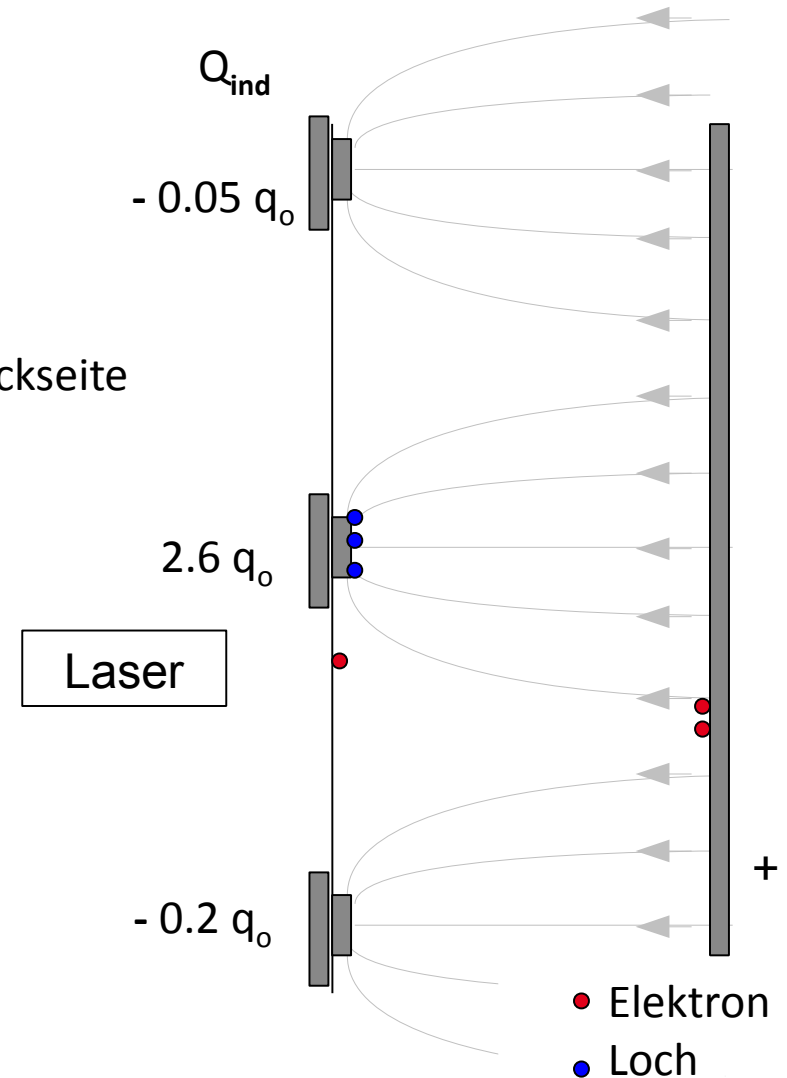
Ladungen im Volumen:

$$Q_{\text{ind},j} = \pm q \cdot \phi_{w,j} (\text{Endposition})$$

Hauptstreifen: Q reduziert

Nachbarstreifen bei Elektronenverlusten: $Q < 0$

Nachbarstreifen bei Löcherverlusten: $Q > 0$



Ladungssammlung, anschaulich

bei Erzeugung dicht am Streifen

Vollständige Ladungssammlung:

Löcher am nächsten Streifen, Elektronen an der Rückseite

Hauptstreifen: $Q_{\text{Haupt}} = \# \text{ Löcher} \cdot q_o = 3 q_o$

Nachbarn: $Q_{\text{Nachbarn}} = 0$

Ladungsverluste: am Ende der Integrationszeit

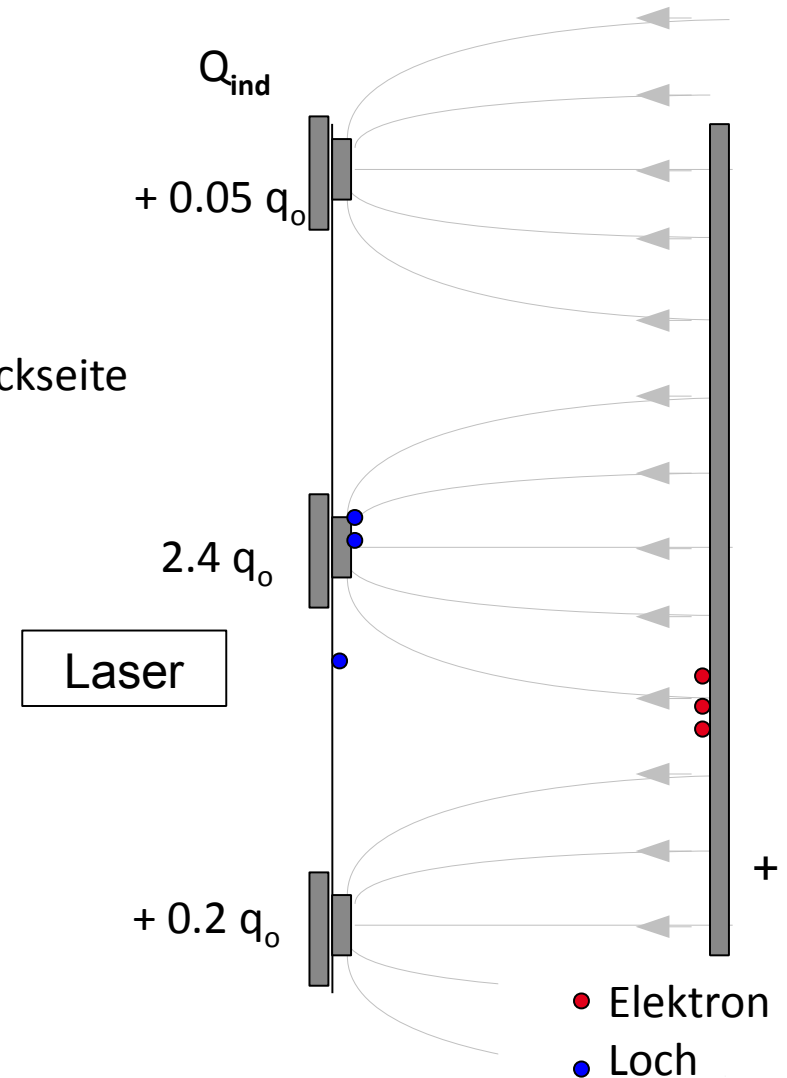
Ladungen im Volumen:

$$Q_{\text{ind},j} = \pm q \cdot \phi_{w,j} (\text{Endposition})$$

Hauptstreifen: Q reduziert

Nachbarstreifen bei Elektronenverlusten: $Q < 0$

Nachbarstreifen bei Löcherverlusten: $Q > 0$



Ladungssammlung

bei Erzeugung dicht am Streifen

Vollständige Ladungssammlung:

Löcher am nächsten Streifen, Elektronen an der Rückseite

Hauptstreifen: $Q_{\text{Haupt}} = \# \text{ Löcher} \cdot q_o = 3 q_o$

Nachbarn: $Q_{\text{Nachbarn}} = 0$

Ladungsverluste: am Ende der Integrationszeit

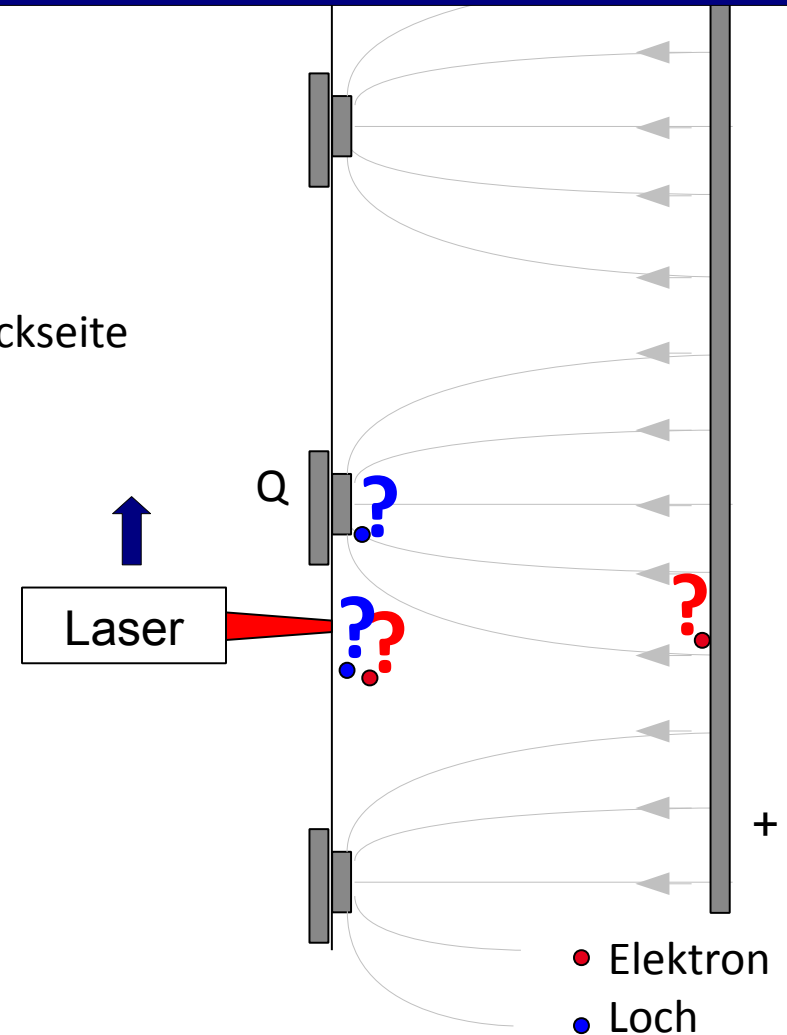
Ladungen im Volumen:

$$Q_{\text{ind},j} = \pm q \cdot \phi_{w,j} (\text{Endposition})$$

Hauptstreifen: Q reduziert

Nachbarstreifen bei Elektronenverlusten: $Q < 0$

Nachbarstreifen bei Löcherverluste: $Q > 0$



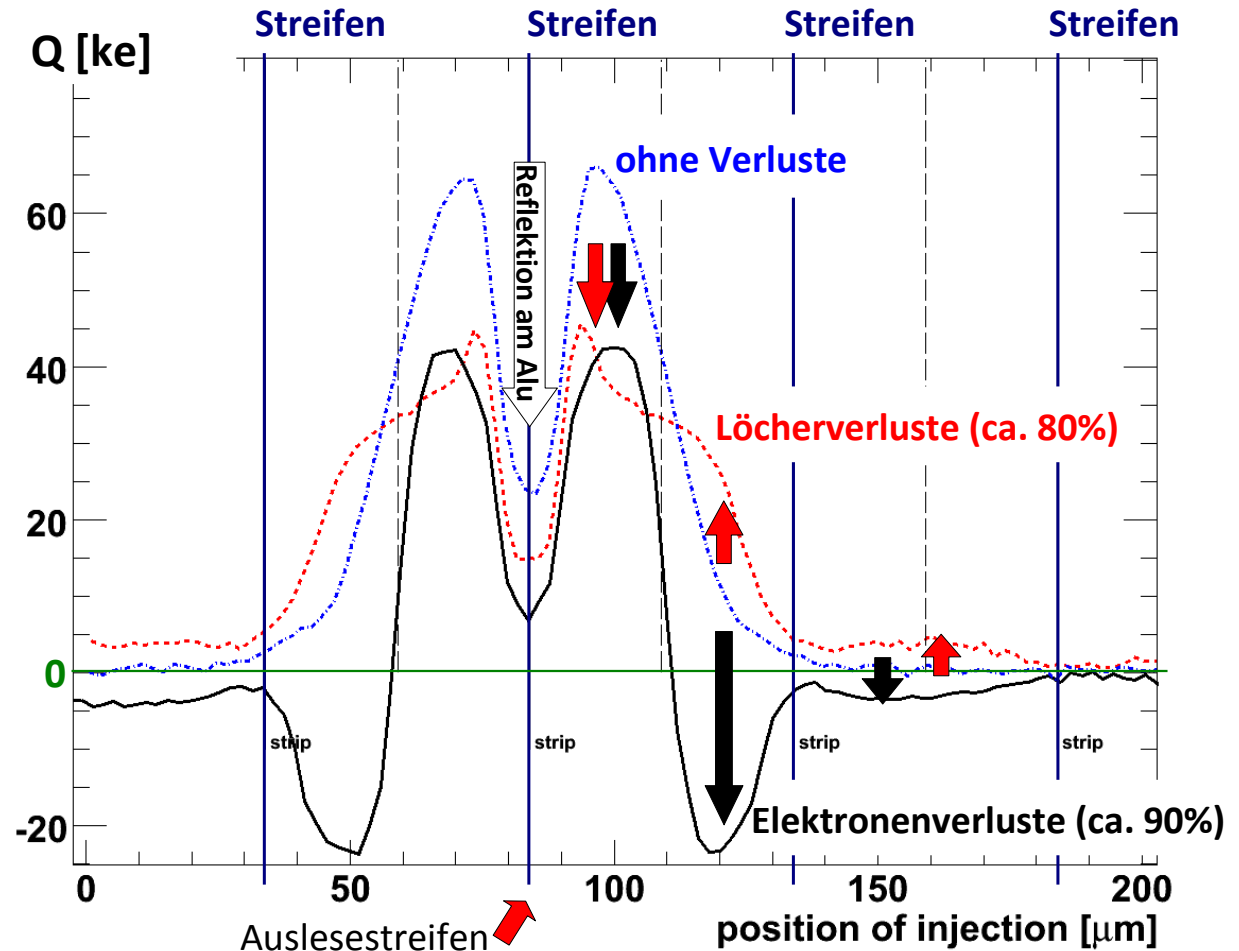
Ladung gegen Position – Verluste im Vergleich

Verluste dicht am
 Auslesestreifen:
 => Q kleiner

Verluste entfernt vom
 Auslesestreifen:

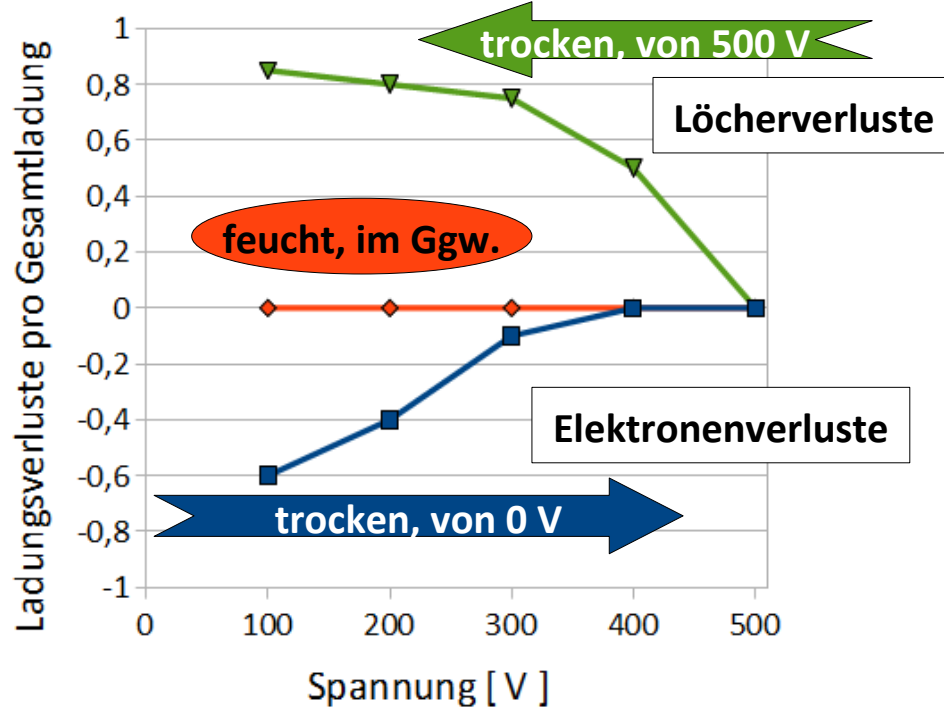
Elektronen induzieren
 $Q < 0$

Löcher induzieren
 $Q > 0$

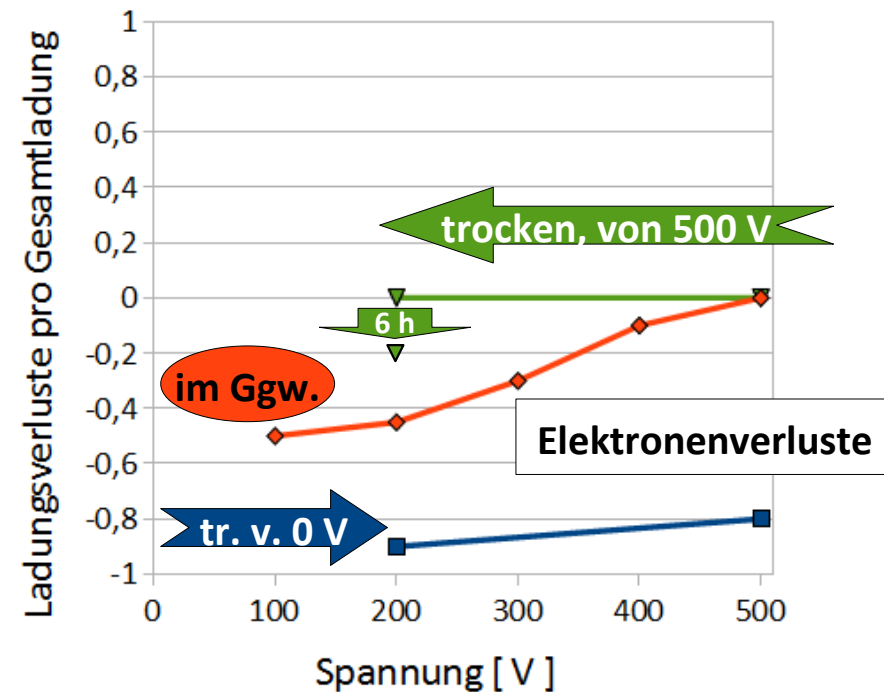


Übersicht der Ladungsverluste

unbestrahlt – geringe Oxidladung



1 MGy – hohe Oxidladung



**Je nach Vorgeschichte
bis zu 90% Verluste**

**im E-XFEL hohe
Elektronenverluste**

Wieso Elektronenverluste?

Messablauf:

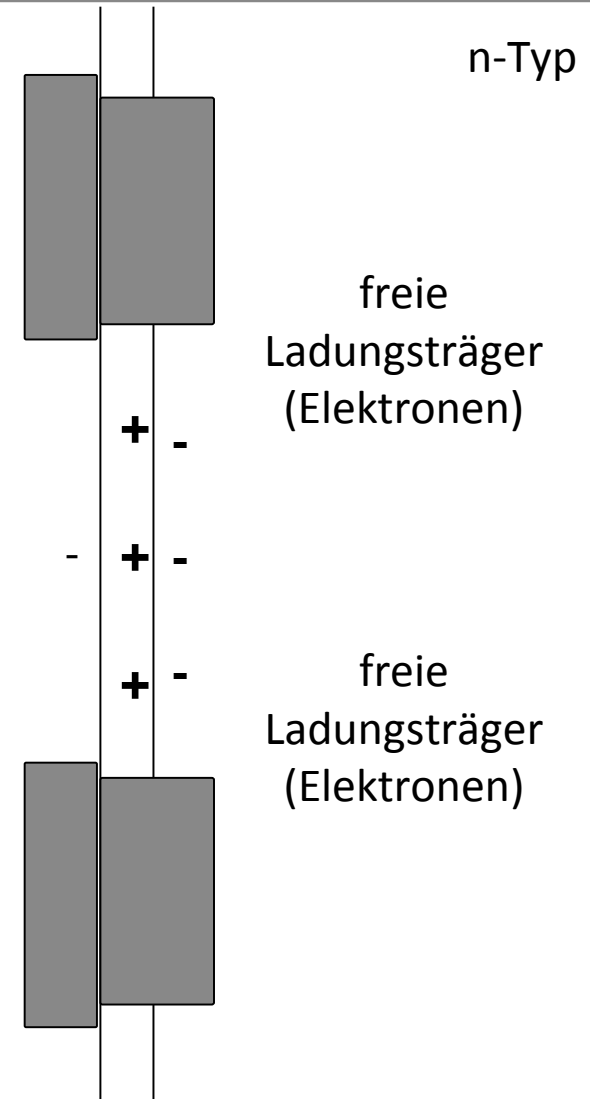
Sensor getrocknet bei 0 V

→ 200 V

Was passiert im Detektor?

0 V : Oxidladungen kompensiert durch freie Ladungsträger

200 V : Oxidladungen unzureichend kompensiert



Wieso Elektronenverluste?

Messablauf:

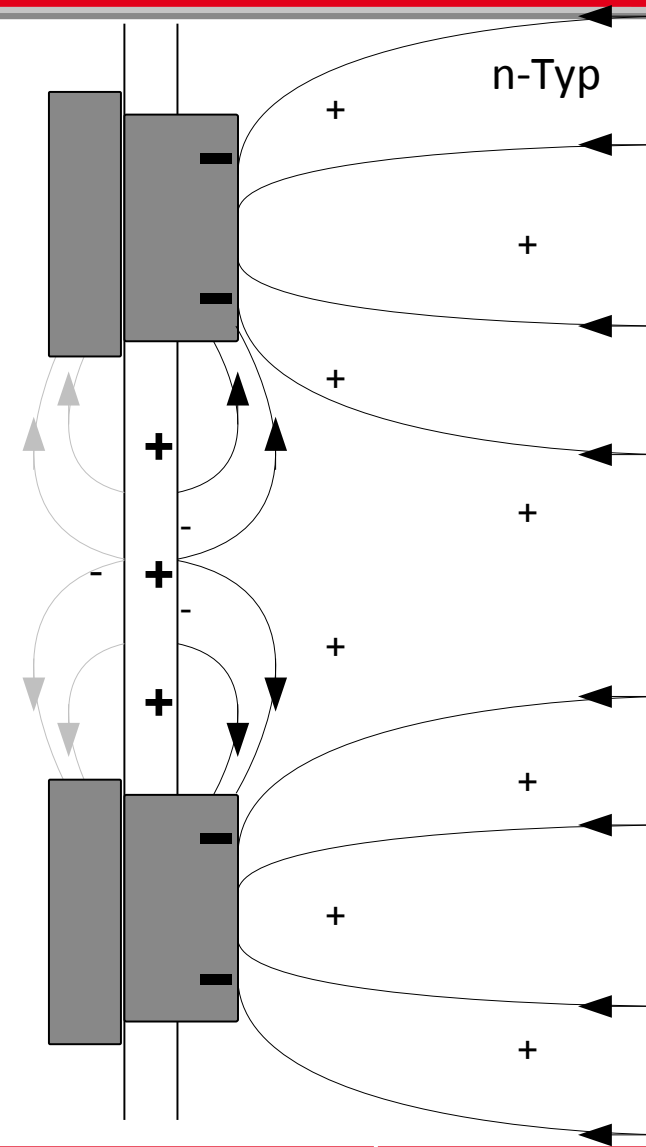
Sensor getrocknet bei 0 V

→ 200 V

Was passiert im Detektor?

0 V : Oxidladungen kompensiert durch freie Ladungsträger

200 V : Oxidladungen unzureichend kompensiert



Zusammenfassung und Ausblick

Löcher- und Elektronverluste festgestellt.

Je nach Vorgeschichte, Oxidladungen und angelegter Spannung bis zu ca. 90 %.

E-XFEL: Hohe, möglicherweise instabile, Elektronenverluste bei hohen Oxidladungen. Kalibrieren?

Ausblick:

Sensordesign: leitende Sensoroberflächen?

Wieviel Ladung kann maximal verloren gehen? Wann wird sie gesammelt?

Zusammenfassung und Ausblick



Danke

Löcher- und Elektronverluste festgestellt.

Je nach Vorgeschichte, Oxidladungen und angelegter Spannung bis zu ca. 90 %.

E-XFEL: Hohe, möglicherweise instabile, Elektronenverluste bei hohen Oxidladungen. Kalibrieren?

Ausblick:

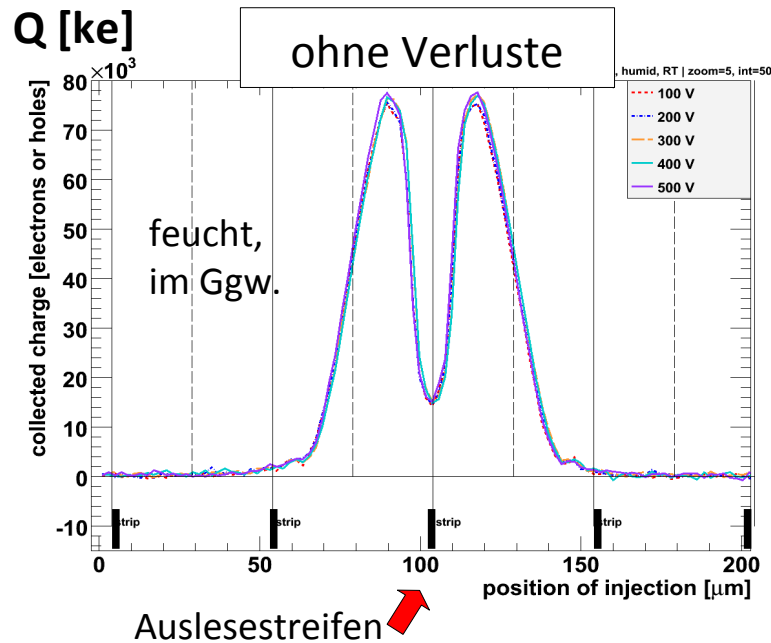
Sensordesign: leitende Sensoroberflächen?

Wieviel Ladung kann maximal verloren gehen? Wann wird sie gesammelt?

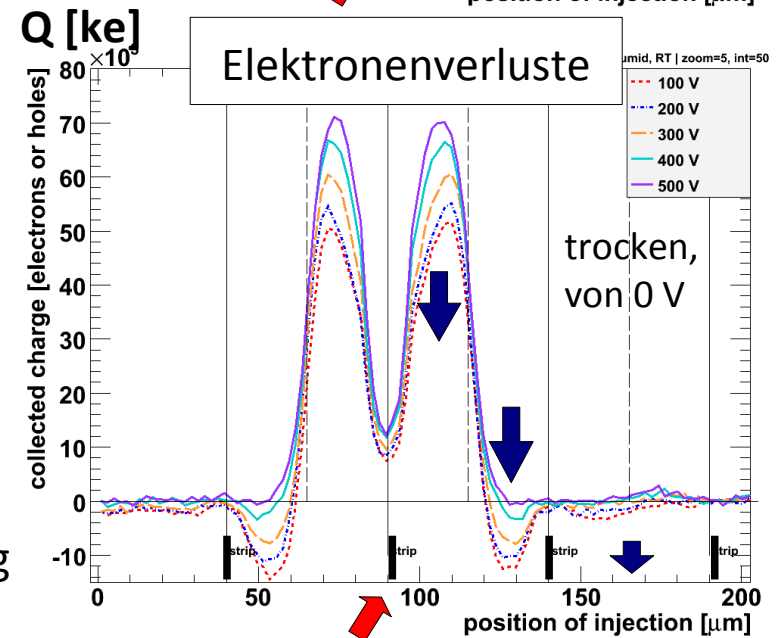
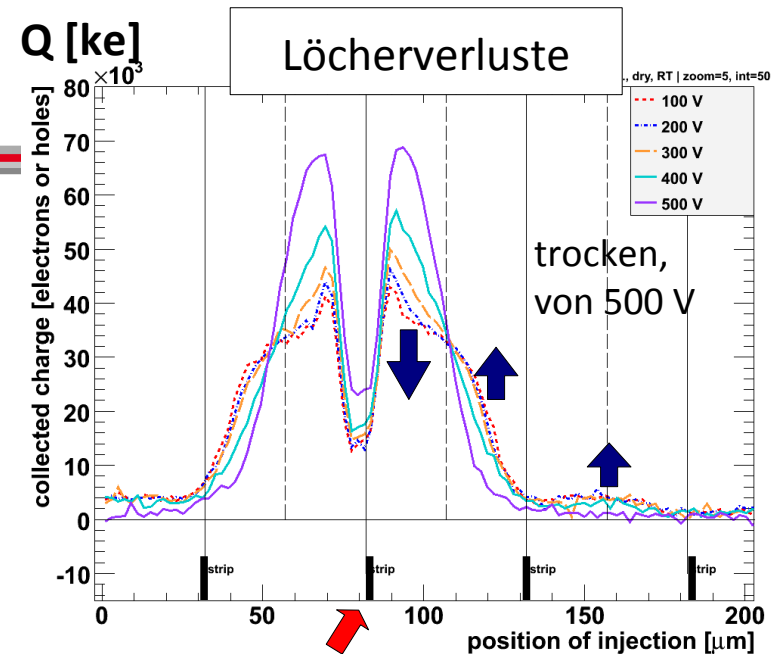


Backup

Spannungsabhängigkeit



ohne Verluste: Q spannungsunabhängig
 sonst: mehr Verluste für kleine Spannungen mit
 Elektronen => induzieren negative Ladung
 Löcher => induzieren positive Ladungen



Messablauf (Elektronenverluste)

Sensor getrocknet bei 0 V

→ 200 V → Elektronenverluste

Messung 1, trocken

Was passiert im Detektor?

0 V : Oxidladungen kompensiert (freie Ladungsträger)

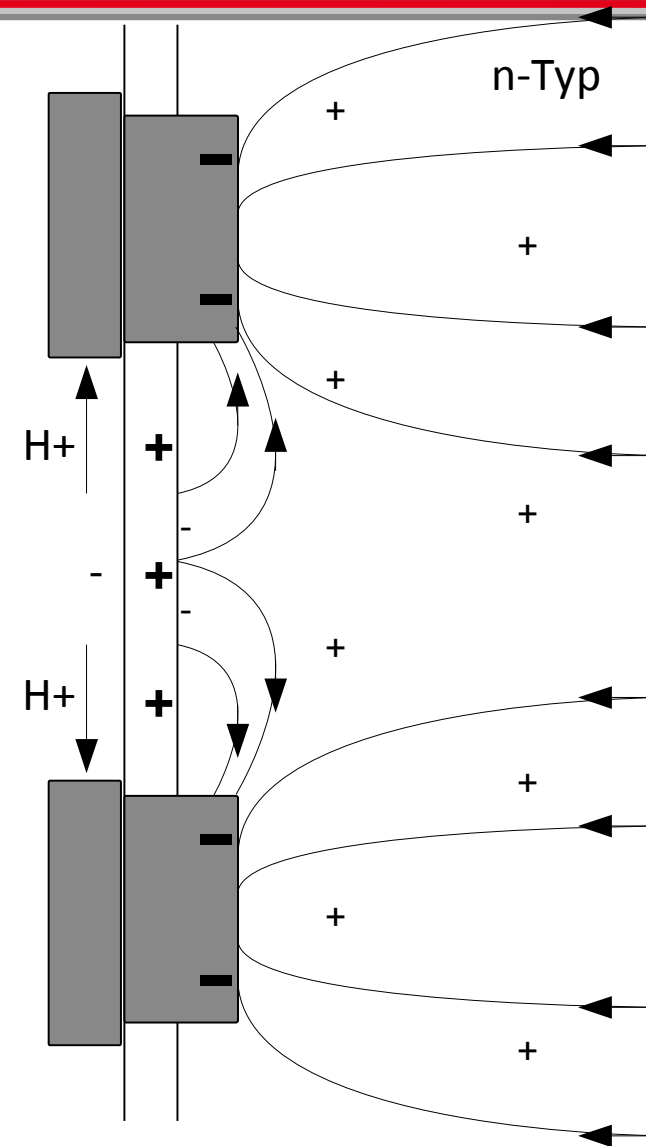
200 V : Oxidladungen unzureichend kompensiert

Gleichgewicht (schnell erreicht, falls hohe Luftfeuchte)

200 V : Kompensation durch OH⁻ auf der Oberfläche (außen)

=> weniger (keine) Verluste

Messung 2, feucht



Unvollständige Ladungssammlung

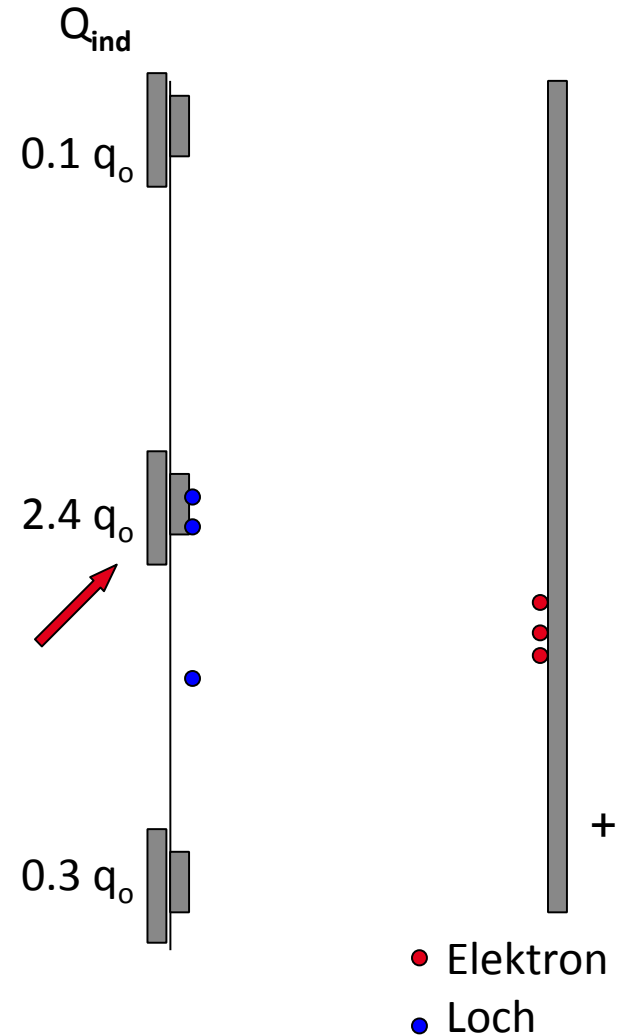
Am Ende der Integrationszeit:

Einige Ladungsträger im Detektorvolumen

Dadurch induzierte Ladung am Auslesestreifen:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{ind}} &= q_o \cdot \phi_w (\text{Position}_{\text{Loch}}) \\
 &= 0.4 q_o
 \end{aligned}$$

Ladung am nächsten Streifen reduziert, sonst erhöht



Messergebnisse

bei 200 V

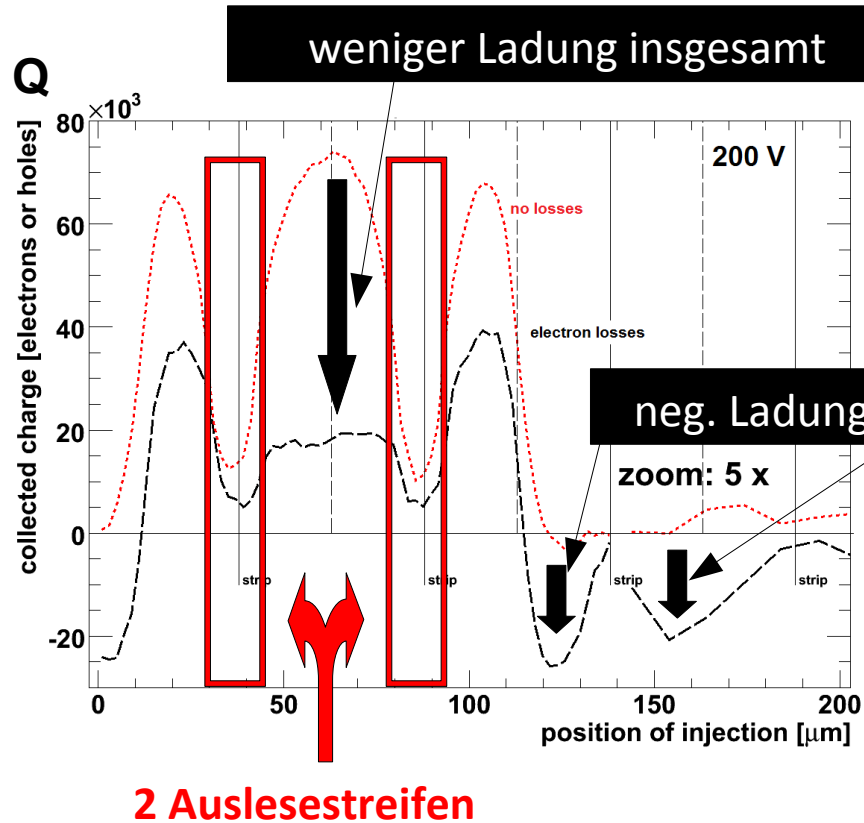
a) Elektronenverluste: hohe Oxidladung (1 MGy), von 0 V, trocken

b) Löcherverluste: geringe Oxidladung (0 Gy), von 500 V, trocken

jeweils Vergleich mit voller Ladungssammlung: z.B. 0 Gy, feucht

<u>Zustand</u>	<u>Q_{eff}</u>	<u>Verluste</u>
200 V (v. 0 V)	+	Elektronen
200 V (v. 500 V)	-	Löcher

Elektronenverluste vs. volle Ladungssammlung

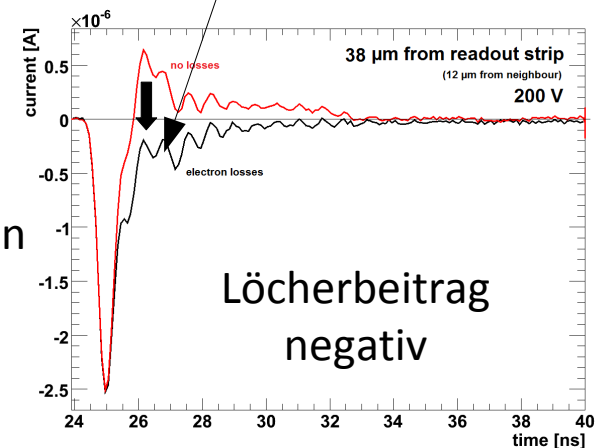
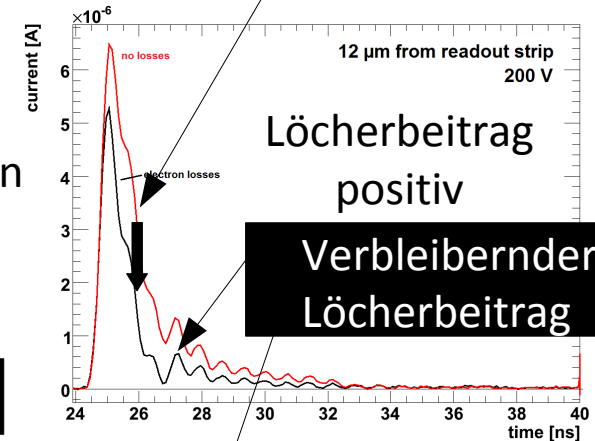


12 μm vom
Auslesestreifen

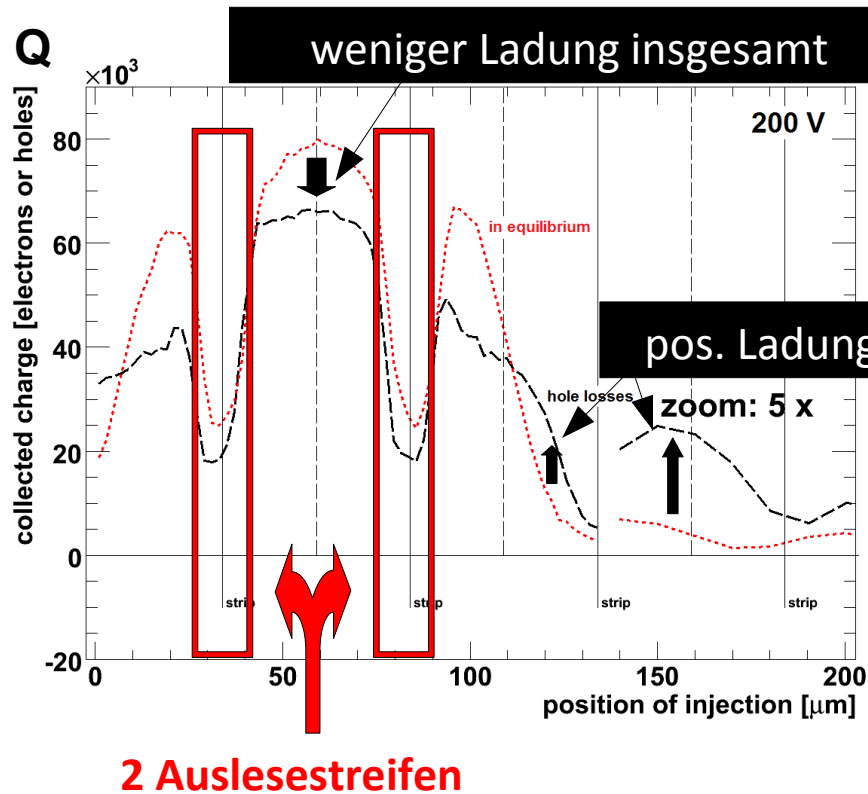
38 μm vom
Auslesestreifen

(12 μm vom
Nachbarn)

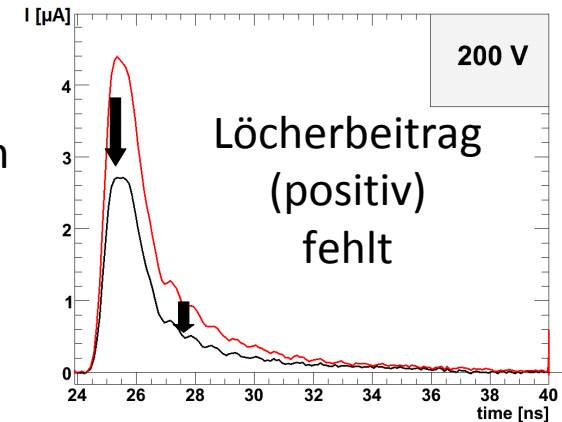
Signal reduziert



Löcherverluste vs. volle Ladungssammlung

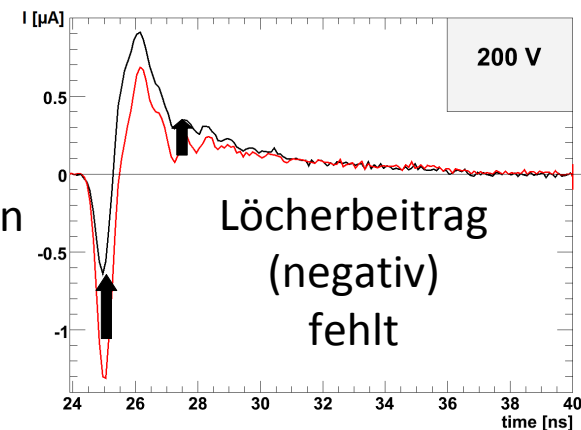


12 μm vom Auslesestreifen



38 μm vom Auslesestreifen

(12 μm vom Nachbarn)



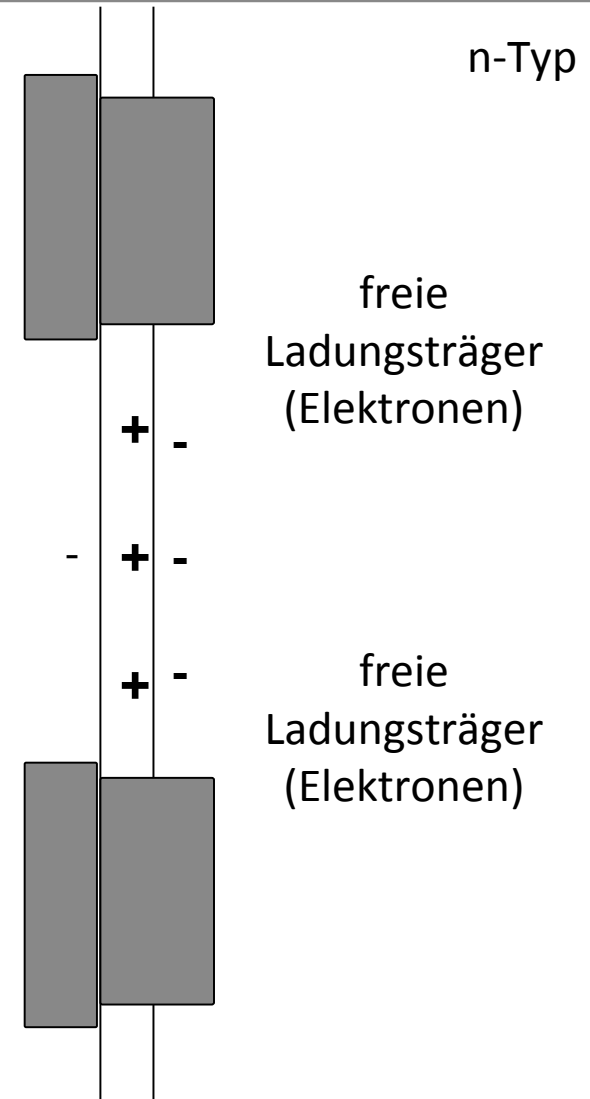
Verluste an der Oberfläche?

0 V

(Gleichgewichtszustand)

Oxidladungen und Raumladungen

durch freie Ladungsträger kompensiert



Verluste an der Oberfläche?

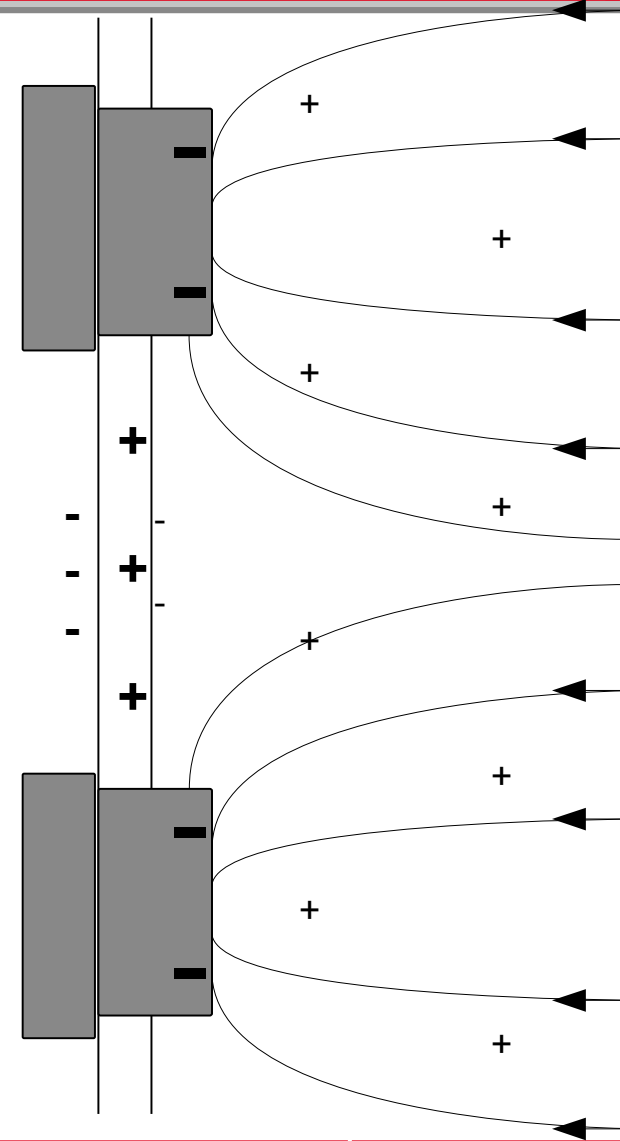
200 V

(Gleichgewichtszustand)

Oxidladungen durch Akk.-Schicht und
Oberflächenladungen (t.w.) kompensiert

=> keine (oder geringe) Verluste?

<u>Zustand</u>	<u>Q_{eff}</u>	<u>Verluste</u>
200 V (v. 0 V)	+	Elektronen
200 V Ggw.	0/+	keine ?



Verluste an der Oberfläche?

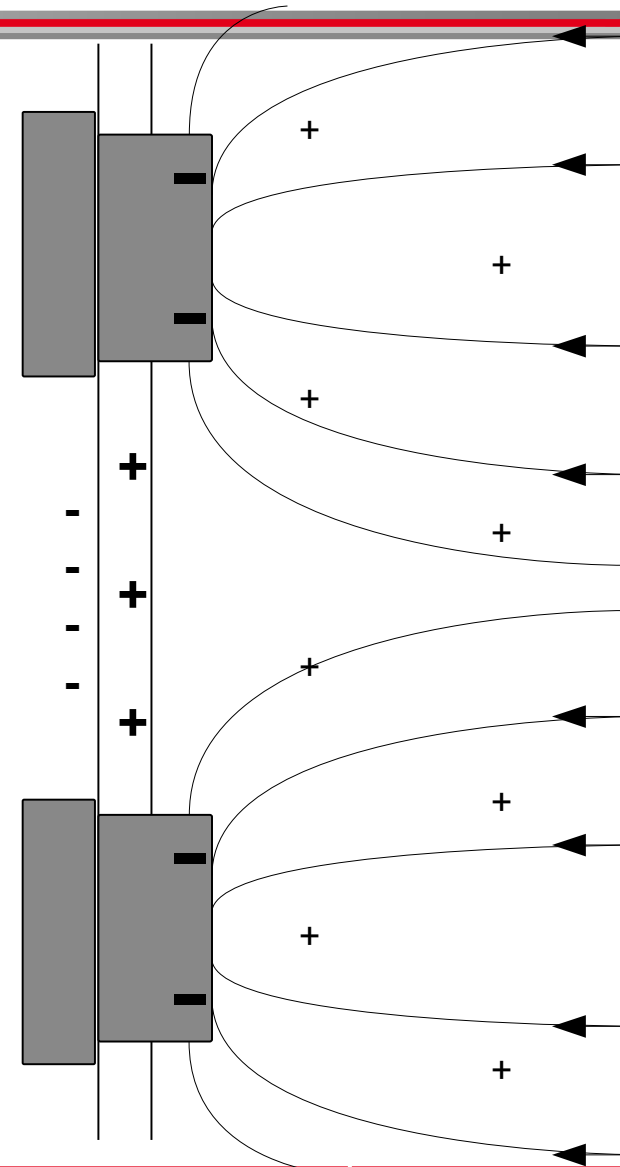
500 V

(Gleichgewichtszustand)

Keine Akkumulationsschicht, Oxidladungen durch erhöhte Oberflächenladungen (t.w.) kompensiert

=> keine (oder geringe) Verluste?

<u>Zustand</u>	<u>Q_{eff}</u>	<u>Verluste</u>
200 V (v. 0 V)	+	Elektronen
200 V Ggw.	0/+	keine ?
500 V Ggw.	0/+	keine ?



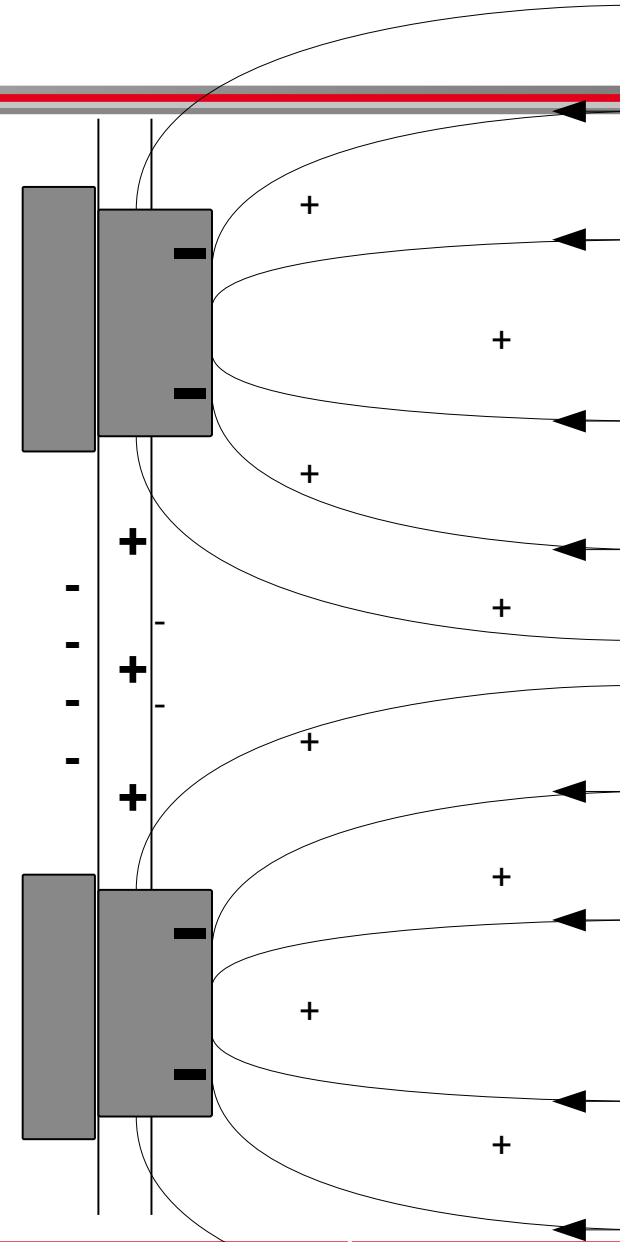
Verluste an der Oberfläche?

200 V
 (von 500 V)

Hohe Oberflächenladungen + Akkumulationsschicht
 Oxidladungen ggf. überkompensiert

=> Löcherverluste ?

<u>Zustand</u>	<u>Q_{eff}</u>	<u>Verluste</u>
200 V (v. 0 V)	+	Elektronen
200 V Ggw.	0/+	keine ?
500 V Ggw.	0/+	keine ?
200 V (v. 500 V)	0/-	Löcher ?



X-FEL

Event Rate: ... MHz

einzelne Photonen sollen detektiert werden

=> geringes Rauschen, schnelle Ladungssammlung

Detektoren im Vakuum

Röntgenstrahlung

Strahlenbelastung (ca. 1 MGy)

Erhöhte Oxidladung ($\sim 2 \cdot 10^{12} \text{ e/cm}^2$)

Übersicht über Ladungsverluste

geringe Oxidladung (0 Gy)

U	Ggw.	von 0 V	von 500 V
100 V	keine	~ 60 % Elektronen	~ 85 % Löcher
200 V	keine	~ 40 % Elektronen	~ 80 % Löcher
300 V	keine	~ 10 % Elektronen	~ 75 % Löcher
400 V	keine	keine	~ 50 % Löcher
500 V	keine	keine	keine

hohe Oxidladung (1 MGy)

U	Ggw.	von 0 V	v. 500 V
100 V	~ 50% Elektronen		
200 V	~ 45 % Elektronen	~ 90 % Elektronen	keine
300 V	~ 30 % Elektronen		
400 V	~ 10 % Elektronen		
500 V	keine	~ 80 % Elektronen	keine