



Untersuchungen zur Stromgenerierung eines strahleninduzierten Defektes in Silizium

von Coralie Neubüser, Alexandra Junkes,
Eckhart Fretwurst

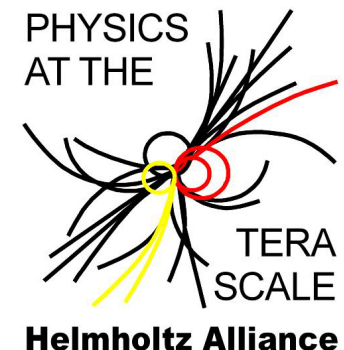
GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

27.03.2011

DPG



Inhalt



Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG



- Motivation
- Grundlagen
- V_3 ein bistabiler Defekt
- Messergebnisse
- Zusammenfassung und Ausblick

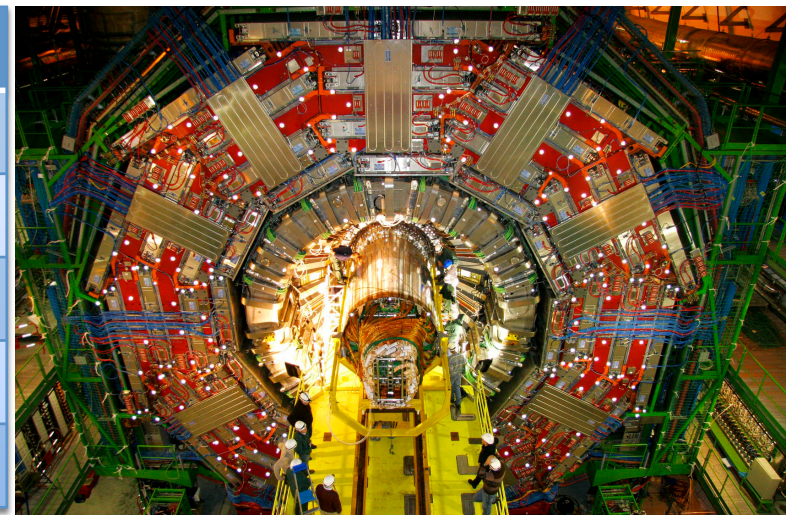
Motivation: LHC



Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG



LHC	Proton-Proton-Collider
Umfang	27km
Experimente	CMS, ATLAS, ALICE, LHCb
$\sqrt{s}$	7TeV $\rightarrow$ 14TeV
Bunch-Kollisionen	alle 25ns
int. Luminosität	$2 \cdot 10^{32} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1} \rightarrow 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$



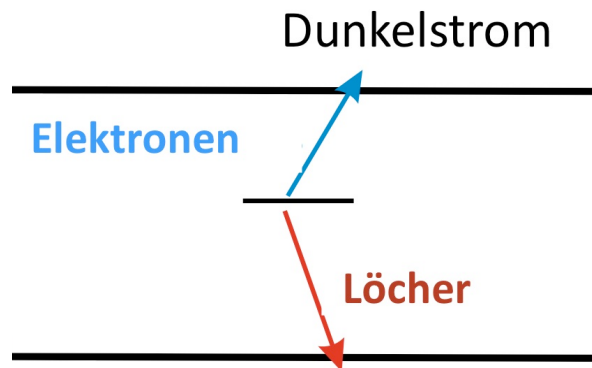


Kristallschäden „bulk damages“	Oberflächenschäden „surface damage“ (auch wichtig für die Auslestechnik)
Störungen im Kristallgitter	Strahlenschäden im Oxid und an der Grenzschicht von Si und Oxid
Ausgelöst durch Neutronen, Pionen, Elektronen, Photonen (PKA mindestens 20 eV)	Ausgelöst durch Photonen und ionisierende Strahlung

Auswirkungen von elektrisch aktiven Defekten:

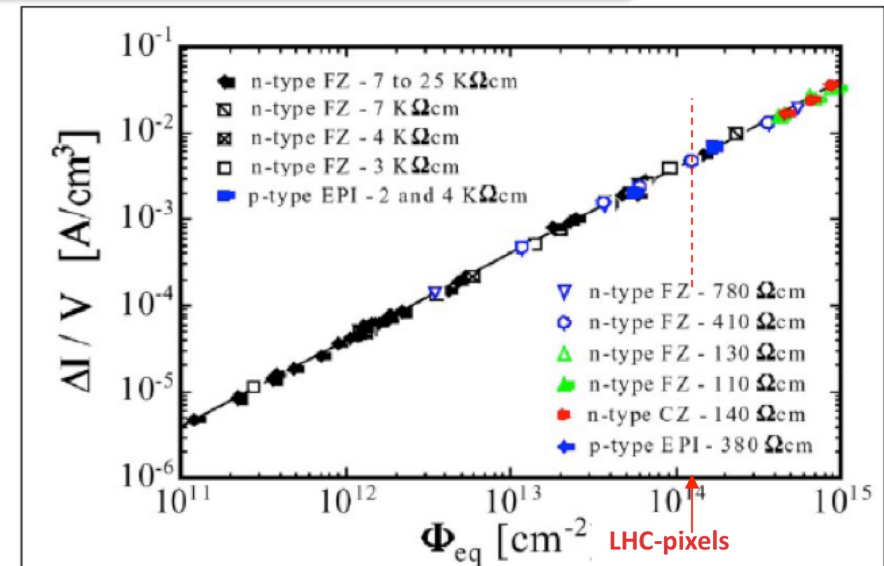
- Änderung der Dotierung (Beispiel: Inversion)
- Erhöhung des Ladungsträgereinfangs
- **Erhöhung des Dunkelstroms**

Gesteigerter Dunkelstrom



Defekt V_3 (3 Leerstellen) bildet tiefes Niveau

- tiefe Niveaus generieren Dunkelstrom
- wird unabhängig von Material gebildet



M. Moll, Radiation Damage in Silicon Particle Detectors, PhD-Thesis, Universität Hamburg, 1999

$$I(U_{Dep}) \propto \Phi_{eq}$$

⇒ die verantwortlichen Defekte sind über gesamten Fluenzbereich die selben

Eine Korrelation zwischen dem Dunkelstrom und der V_3 -Defektkonzentration wurde durch Defekt-Spektroskopische-Methoden gezeigt.

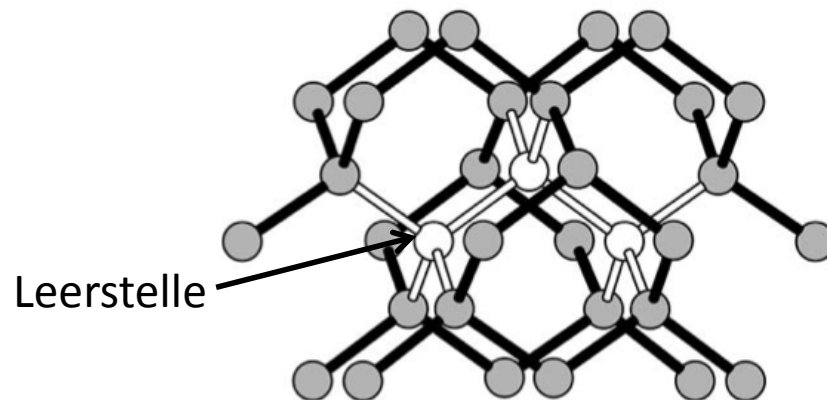
Bistabiler Defekt V_3



3 Leerstellen im Si-Gitter in zwei Konfigurationen

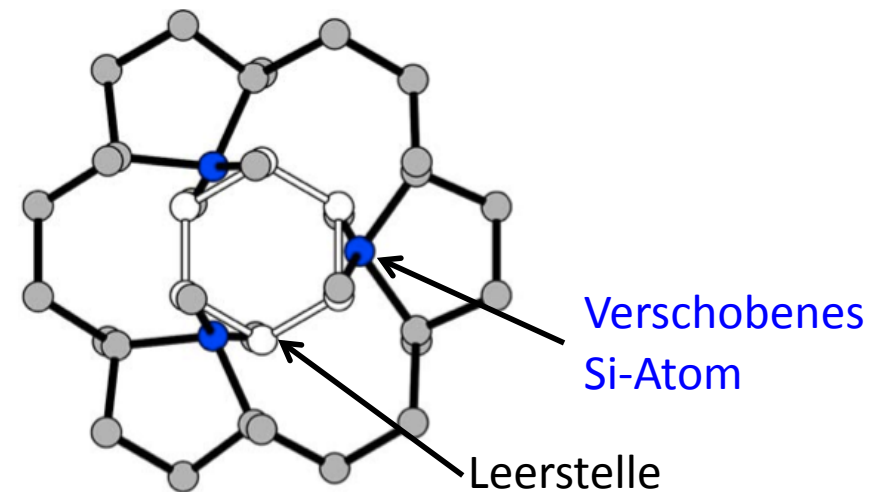
Planare Konfiguration:

es existieren 2 Akzeptorniveaus in der Bandlücke bei $E_L - 0,36\text{eV}$ (E4) und $E_L - 0,46\text{eV}$ (E5)



„four fold configuration“ (ffc):

es existiert ein Akzeptorniveau bei $E_L - 0,075\text{eV}$ (E_{75})



Konfigurationsänderung („Zurückholen“) möglich durch:

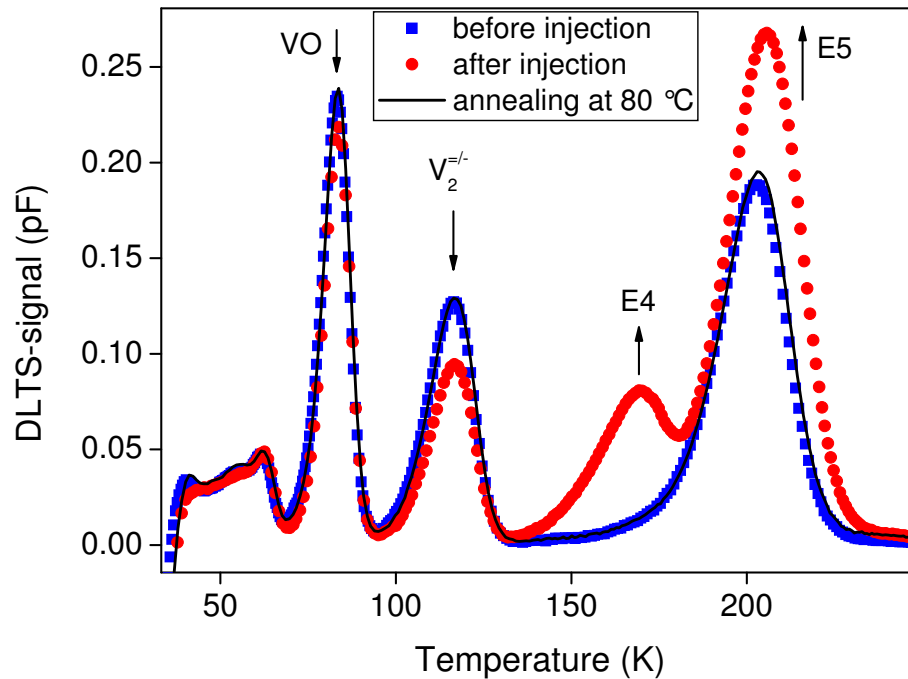
- Ausheilung bei 80 °C → Erzeugt E75
- **Injektion von $\approx 1\text{ A Vorwärtsstrom}$ (0 °C)** → Erzeugt E4/E5

Dieser Mechanismus ist ungeklärt!

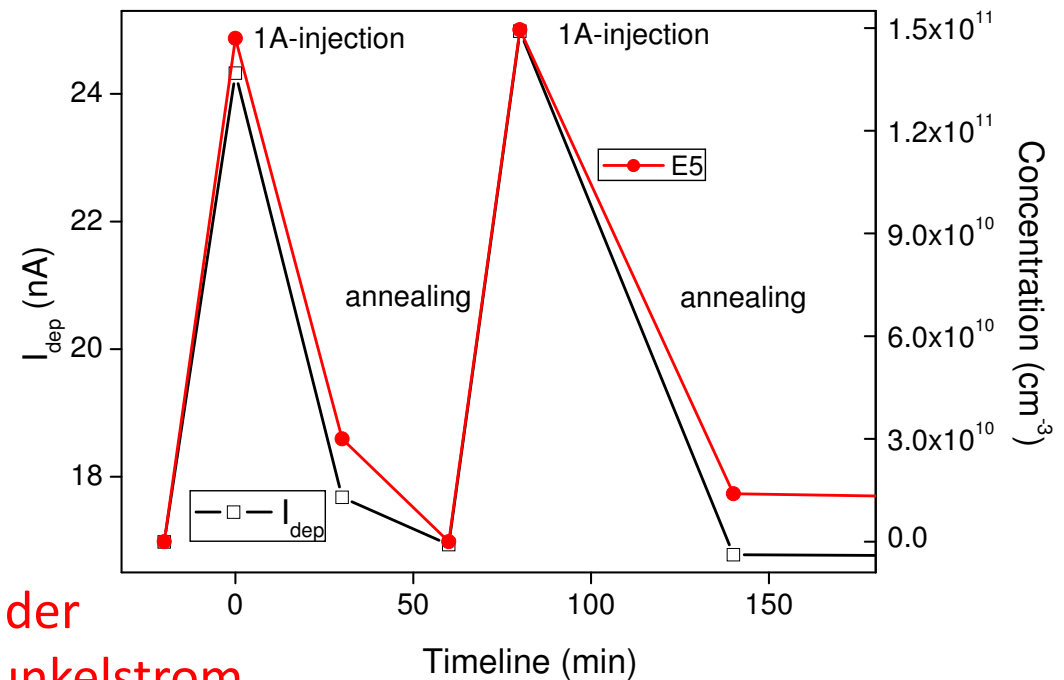
Konfigurationsänderung des V_3



A. Junkes, Annealing study of bistable cluster defect, Universität Hamburg, 2009



Mit der *Deep Level Transient Spectroscopy* (DLTS) können Defektniveaus innerhalb der Bandlücke über die Temperatur gemessen werden



Es zeigt sich eine direkte Korrelation der Defektkonzentration (E5) mit dem Dunkelstrom.



Charakterisierung der Bistabilität des V_3 -Defektes, hierzu:

- Wie hoch muss der Vorwärtsstrom sein?
 - Variation der injizierten Stromstärke
- Wie lange muss injiziert werden?
 - Variation der Injektionsdauer
- Welcher Mechanismus führt zur Konfigurationsänderung?
 - Andere Fülltechniken



Benutzte Materialien:

Material	Bezeichnung	Dicke d [μm]	Bestrahlung	Fluenz [cm ⁻²]	N _{eff} [cm ⁻³]	Fläche [cm ²]
MCz	8556-05-25	278	Neutronen	1×10 ¹¹	4,98×10 ¹²	0,25
MCz	8556-05-26	278	Neutronen	1×10 ¹¹	4,94×10 ¹²	0,25
MCz	8556-05-27	278	Neutronen	3×10 ¹¹	4,90×10 ¹²	0,25

Messtechnik:

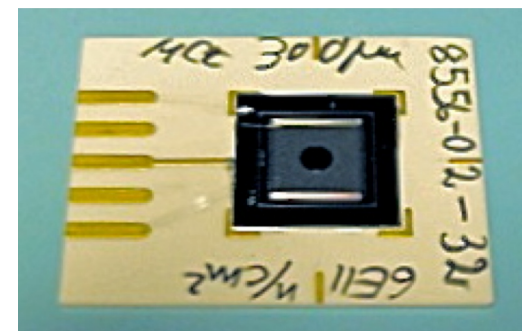
Kapazitäts-Spannungs/Strom-Spannungs Charakterisika (CV-IV)

Messung der Diodencharakteristika (bei 20°C)

→ Endkapazität, Verarmungsspannung und Dunkelstrom

Messablauf:

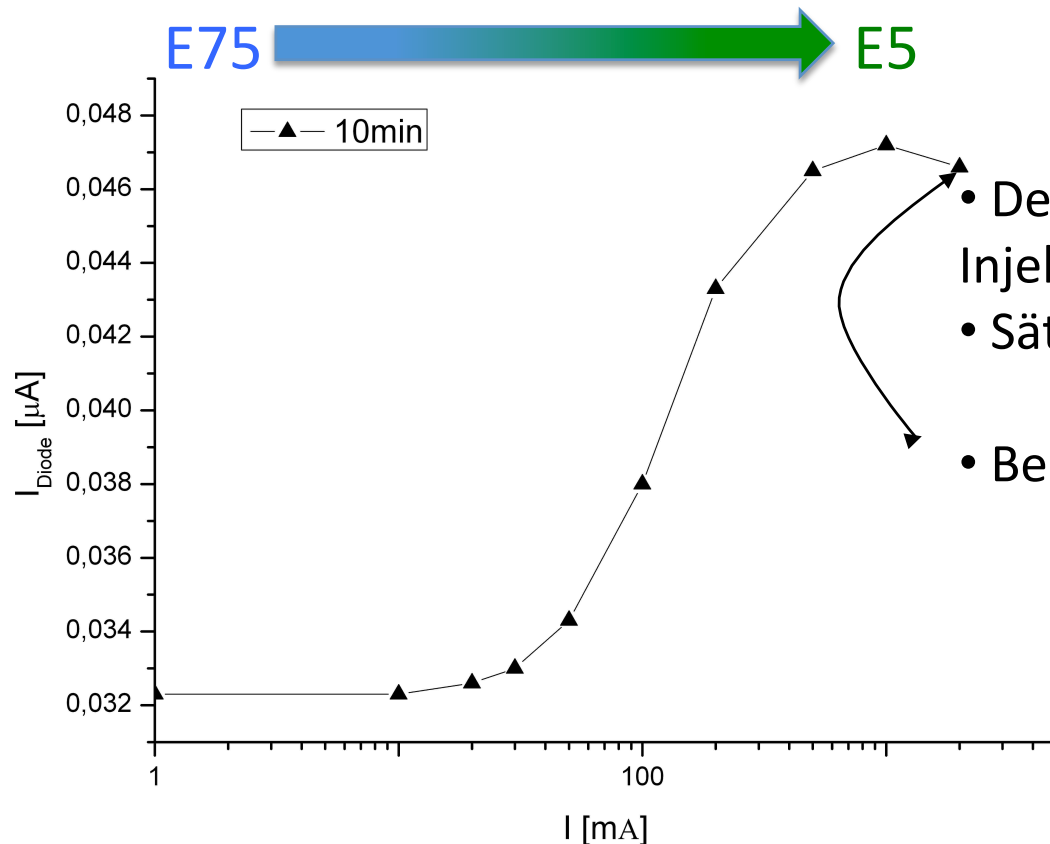
- 1) Ausheilung → E75 (kein Strom)
- 2) 1A Vorwärtsstrom → E4/E5 (Strom)
- 3) Ausheilung → E75 (kein Strom)



Variation der injizierten Stromstärke



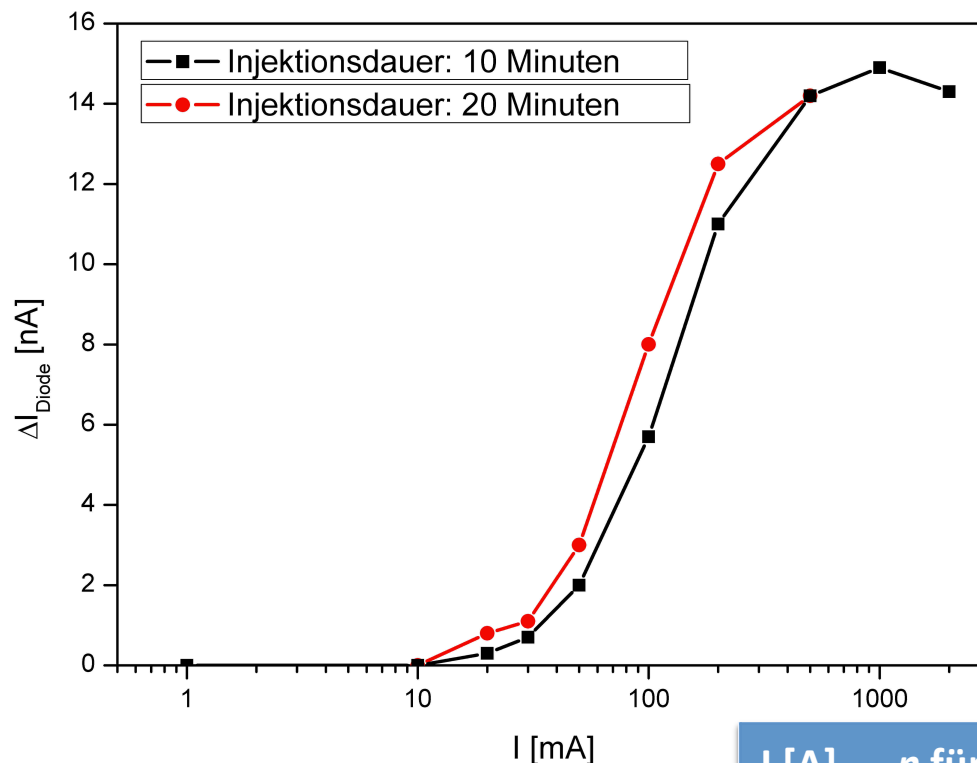
Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG



- Der Dunkelstrom steigt mit Anstieg des Injektionsstroms
- Sättigung bei ca. 1 A erreicht
- Bei 2 A mehr als 15 Watt Leistung
→ Annealingprozesse durch thermische Anregung wahrscheinlich

Die Stromstärke der Injektion ist verantwortlich für den Anteil der Konfigurationsänderung des V_3 -Defektes.

Bestimmung des Sättigungswertes



- Der gleiche Sättigungswert wird erreicht
- Die Ladungsträgerdichte n für eine Injektion von 10min bei 1A Vorwärtsstrom entspricht der einer Injektion für 20min bei 0,5A

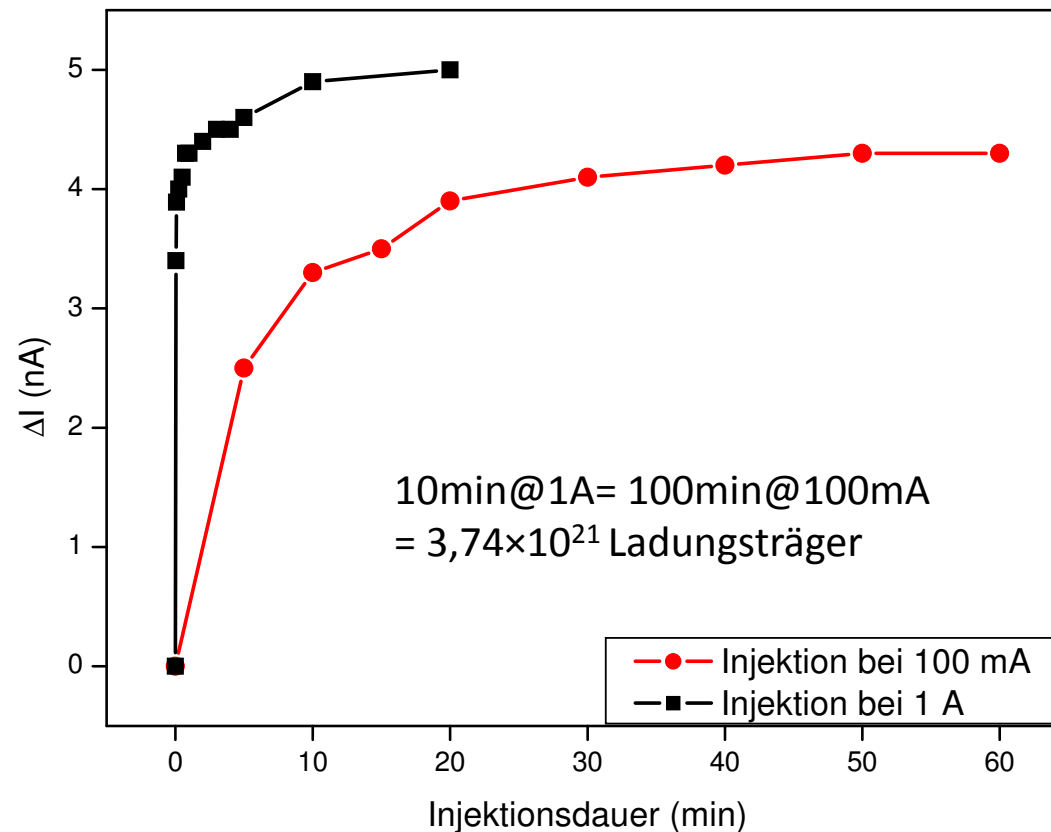
$$\Delta I = I_{\text{nach Injektion}} - I_{\text{vor Injektion}}$$

$$I_{\text{vor Injektion}} \approx 0,032 \mu\text{m}$$

I [A]	n für 10min [Anzahl/mm ³]	n für 20min [Anzahl/mm ³]
1	$3 \cdot 10^{21}$	$7 \cdot 10^{21}$
0,5	$1 \cdot 10^{21}$	$3 \cdot 10^{21}$

Die Injektionsdauer nimmt keinen Einfluss auf den Sättigungswert.

Variation der Injektionsdauer



Mit 100mA lässt sich
(mit angemessenen
Injektionsdauer)
nicht der Sättigungswert von 1A
erreichen!

Spekulation:

Clusterkern stärker abgeschirmt,
Potentialüberwindung durch
höhere Ladungsträgerdichten

Die Ladungsträgerdichte ist ausschlaggebend für die Konfigurationsänderung,
da Potentiale überwunden werden müssen.



- ca. 60% des Dunkelstroms wird von dem V_3 -Defekt verursacht
- Injektionshöhe der Stromstärke verantwortlich für Anteil der Konfigurationsänderung
- Sättigungswert wird erreicht
- Spekulation: Höhere Ladungsträgerdichte für Potentialüberwindung des stärker abgeschirmten Clusterkerns



Mechanismus der Konfigurationsänderung

Frage: Welche Ladungsträgerart wird benötigt?

- Laserinjektion (mit kleiner Eindringtiefe) von Rück-(h^+) und Frontseite(e^-) der Diode

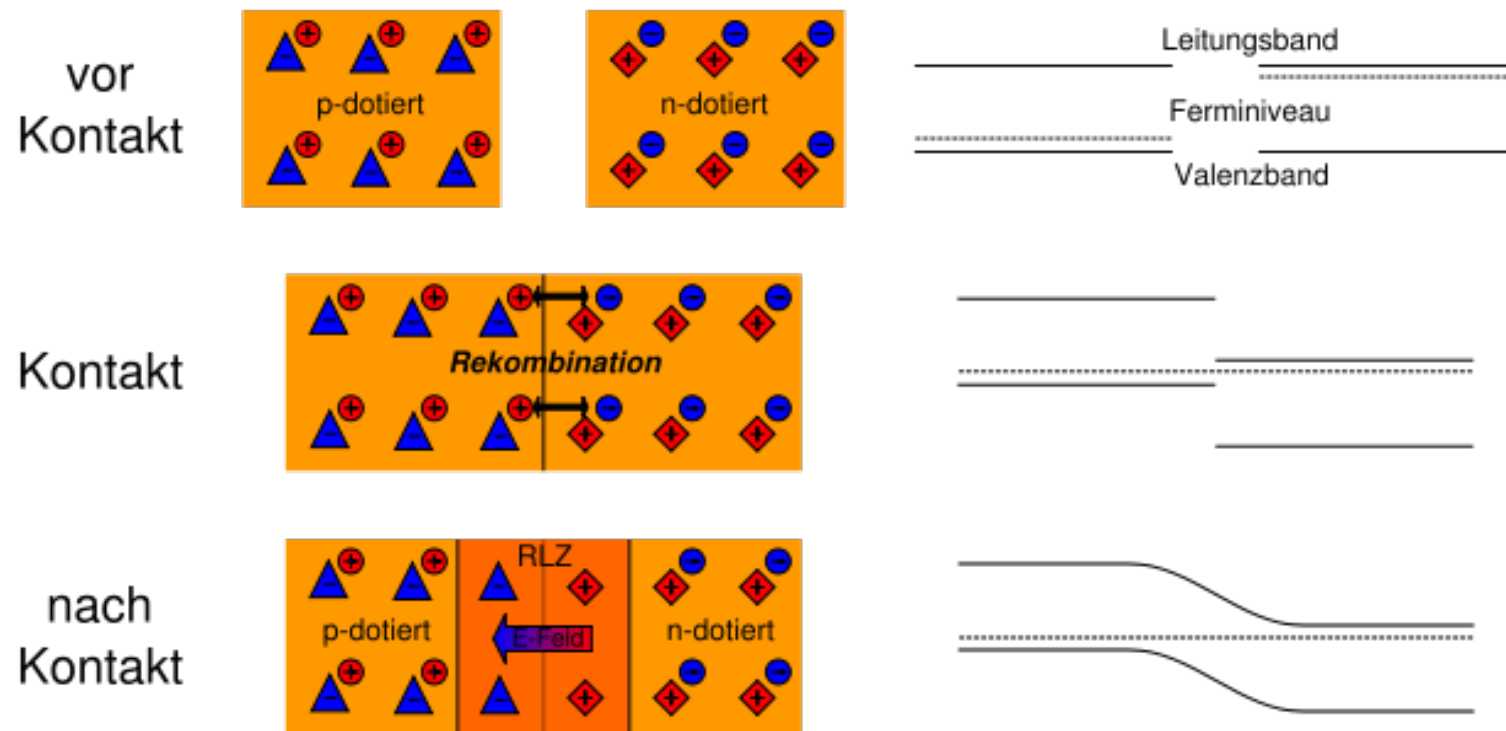
Ladungsträgerdichte des Lasers [$s^{-1} \text{ mm}^{-3}$]	Ladungsträgerdichte 1A-Injektion [$s^{-1} \text{ mm}^{-3}$]
8,61E+20	9E+17

trotz geringerem Injektions-Volumen und geringerem Photostrom, ein Strom von ca. 12% von dem nach 1A bei 10min zurückkommt.



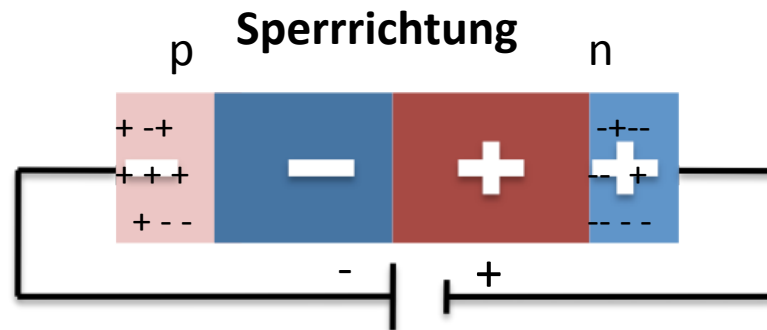
Der pn- Übergang

Bringt man einen p- und einen n- dotierten Halbleiter in Kontakt, passen sich die Fermi- Niveaus durch Diffusion der Ladungsträger an.

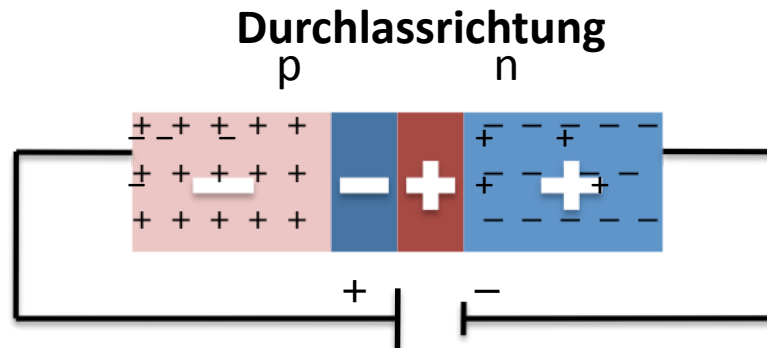


Es baut sich eine Raumladung und eine Verarmungszone (ladungsträgerfreier Bereich) auf.

Anhang:



In Sperrrichtung wird die Verarmungszone breiter. Es fließt der (geringe) Leckstrom/ Sperrstrom/Dunkelstrom.



In Durchlassrichtung wird die Verarmungszone kleiner und es fließt der sogenannte (rel. große) Rekombinationsstrom.

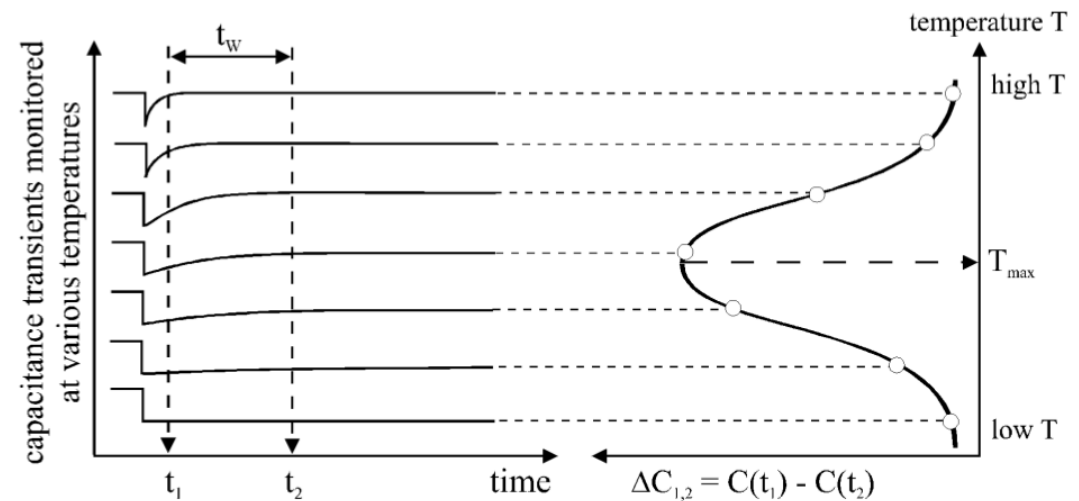
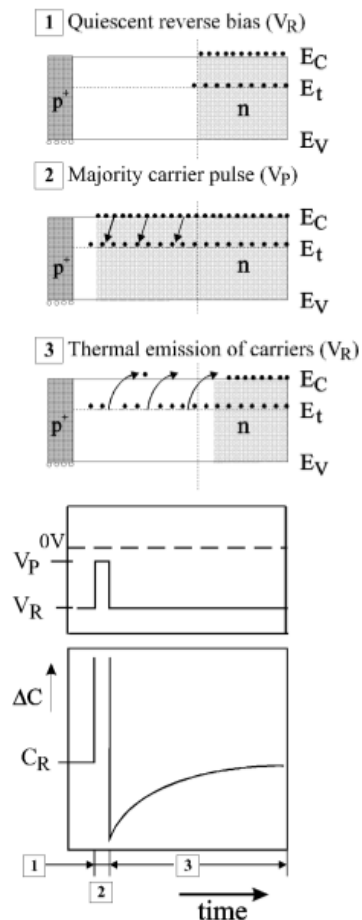
Anhang:



Electron trap -
electron injection

DLTS:

Keine komplette Verarmung, Messung der eingefangenen Elektronen nach dem Herunterfahren der Sperrspannung



Krümmung der Kapazitätstransienten
bestimmen die Signalstärke

Anhang



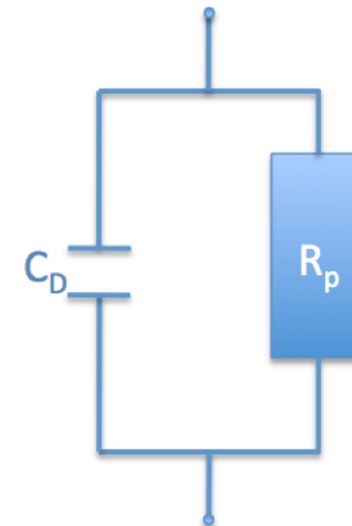
Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG



CV

- *Parallel mode* für nicht bestrahlte/gering bestrahlte Dioden
- Admittanz Y wird gemessen
- Brücke benutzt Phasenverschiebung des eingespeisten Sinus-Signals

$$Y = \frac{1}{Z} = G_p - i\omega C = \frac{1}{R_p} - i\omega C$$



Fehlerbetrachtung für CV-IV:	Temperatur:	$\pm 0,25^\circ\text{C}$
	Injektionsdauer:	$\pm 1\text{s}$
	Ausheildauer:	$\pm 5\text{s}$
	Strom-Messung:	$\pm 10^{-12}\text{ A}$

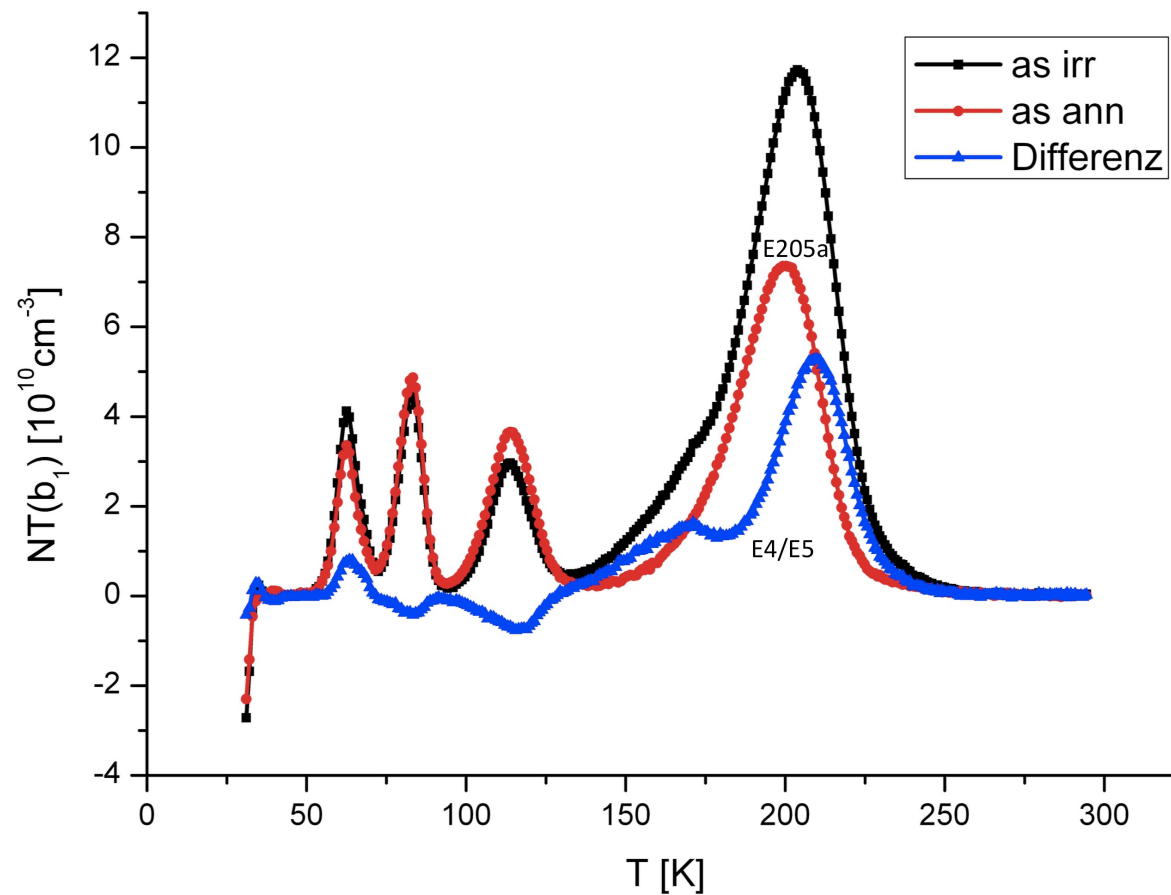
E205a



Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG



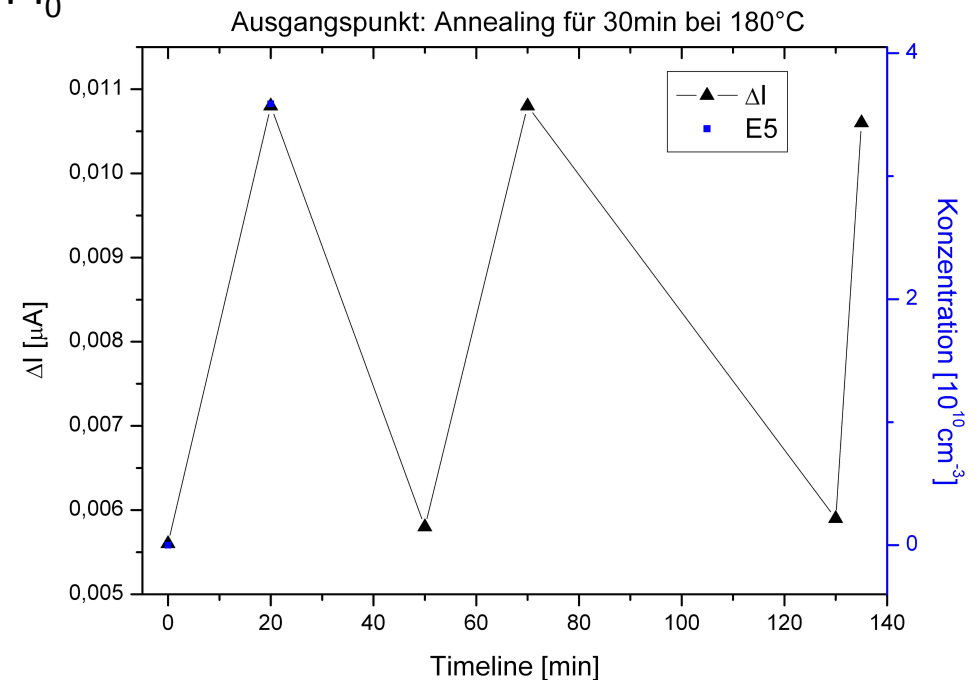
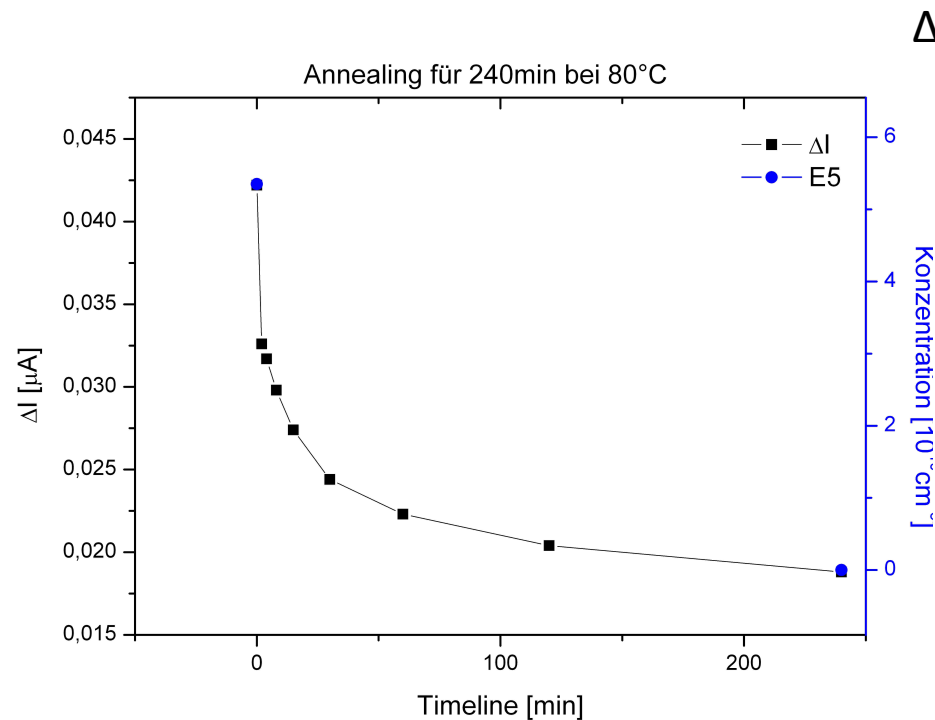
Annealing für 240min bei 80°C (as ann)



Korrelation von I_{dep} & V_3



Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG



Exponentieller Abfall des
Dunkelstroms mit sinkender
Defektkonzentration

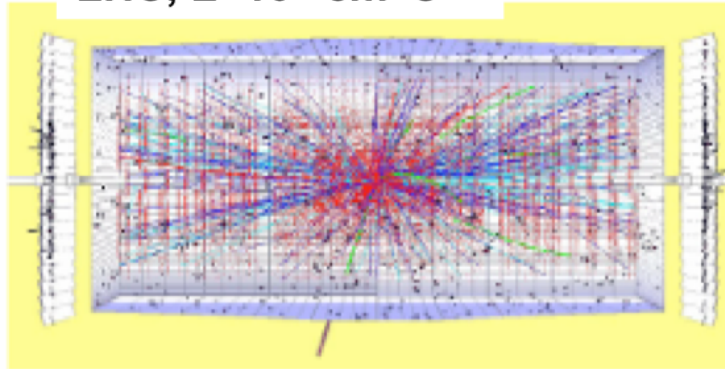
→ Bestätigung des
Korrelationsverhaltens!

Diode wurde für weitere Studien benutzt.

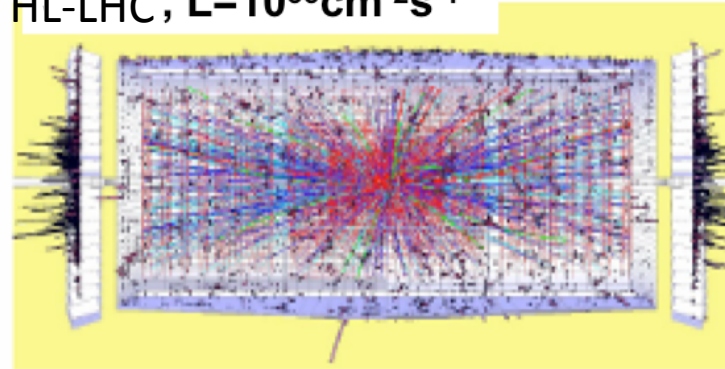
Motivation: *High Luminosity*-LHC



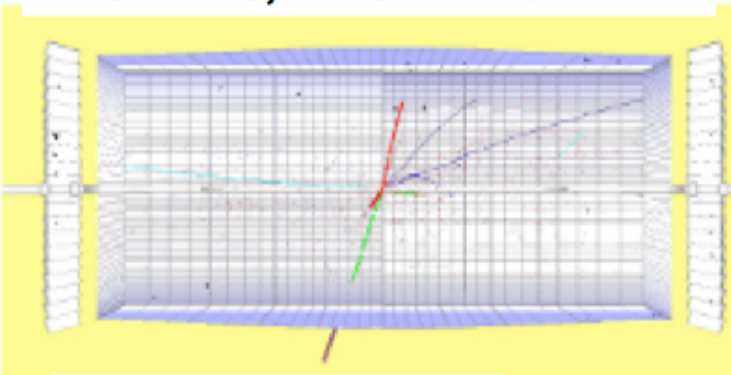
LHC, $L=10^{34}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$



HL-LHC, $L=10^{35}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$



LHC heute, $L=10^{31}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$



Höhere Luminosität

→ Stärkere Belastung der Detektoren

Silizium bietet Vorteile aufgrund geringer Ionisationsenergie & schneller Auslese

Anforderungen für die geplanten Detektoren:

- erhöhte Granularität (Anzahl Detektorpixel pro Fläche)
- große integrierte Luminosität erfordert hohe Strahlenresistenz