

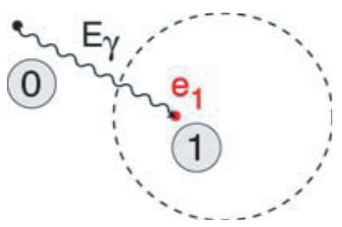
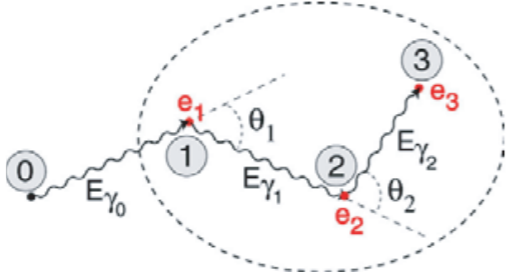
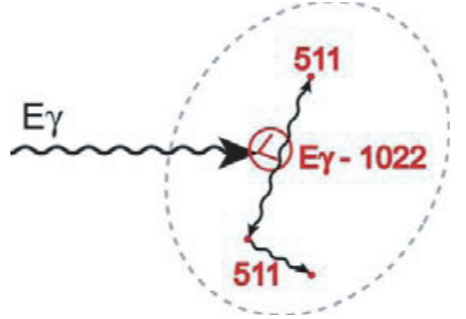
# Raumladungsverteilungen in AGATA-Detektoren

B. Birkenbach, B. Bruyneel,  
H.Hess, J. Eberth, D. Lersch, G. Pascovici, P. Reiter, A. Wiens

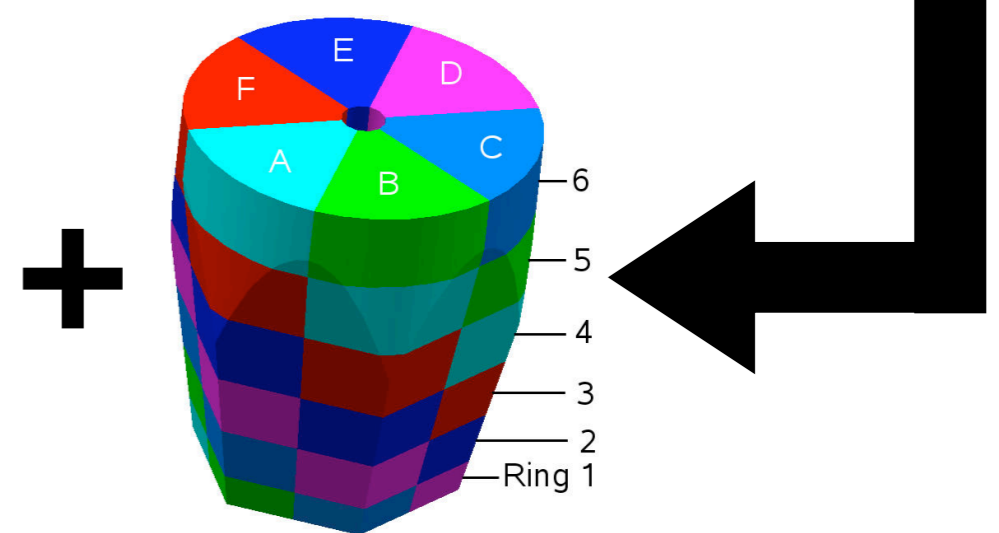
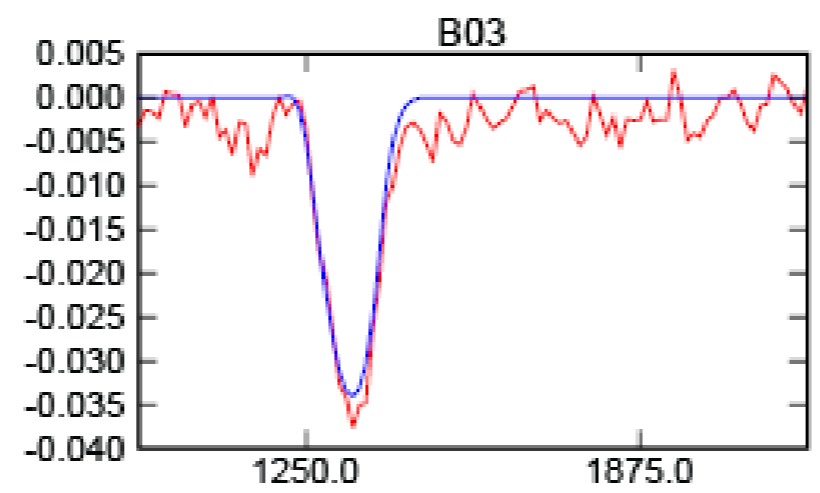
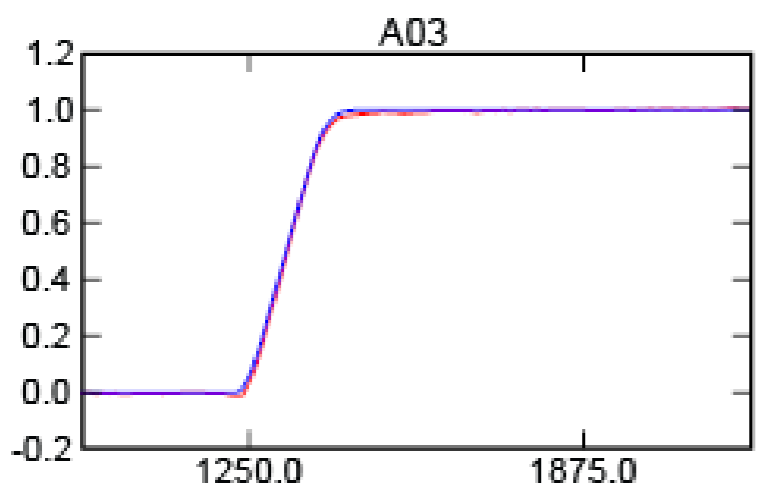
DPG - Bonn  
März 2010



# Advanced GAMMA Tracking Array

$E_\gamma < 0,1 \text{ MeV}$	$0,1 \text{ MeV} < E_\gamma < 8 \text{ MeV}$	$E_\gamma > 8 \text{ MeV}$
Photoeffekt	Compton - Streuung	Paarerzeugung
		
Isolierter Photopeak	verteilte Energiedeponierung	einfache Charakteristik

Gamma Ray Tracking benötigt hohe Ortsauflösung der Interaktionspunkte



Impulsformanalyse (PSA) + 36 fach segmentierte Detektoren

# Impulsformen sind abhängig von:

- Geometrie und Stärke des elektrischen Feldes

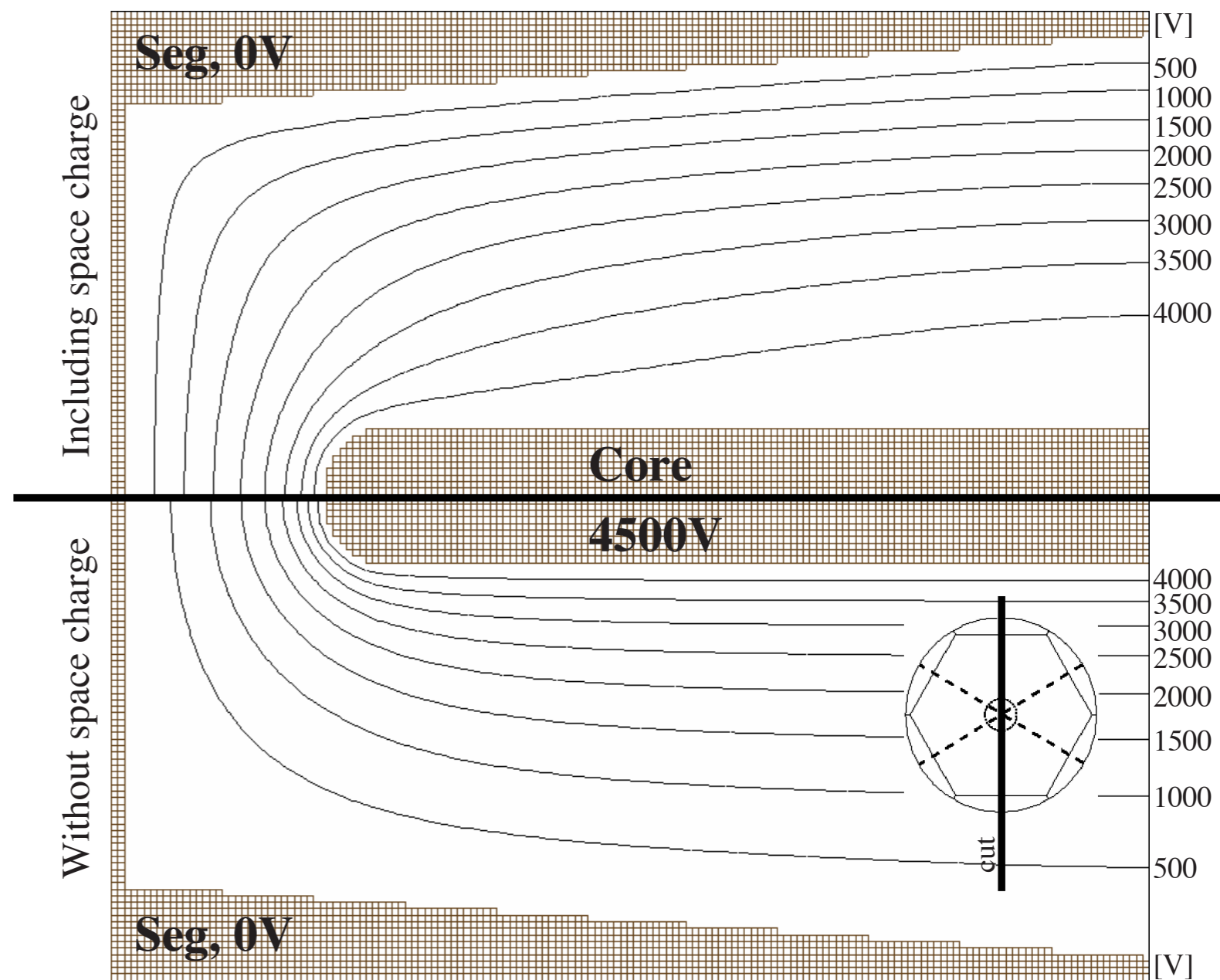
- ✓ Orientierung der Kristallachse

- ? Konzentration von Verunreinigungen

- ✓ Mobilität der Ladungsträger

- ✓ Charakteristika der Vorverstärker

- ✓ Übersprechen



Minibal Detektor

# Kapazitäts-Spannungs-Analyse

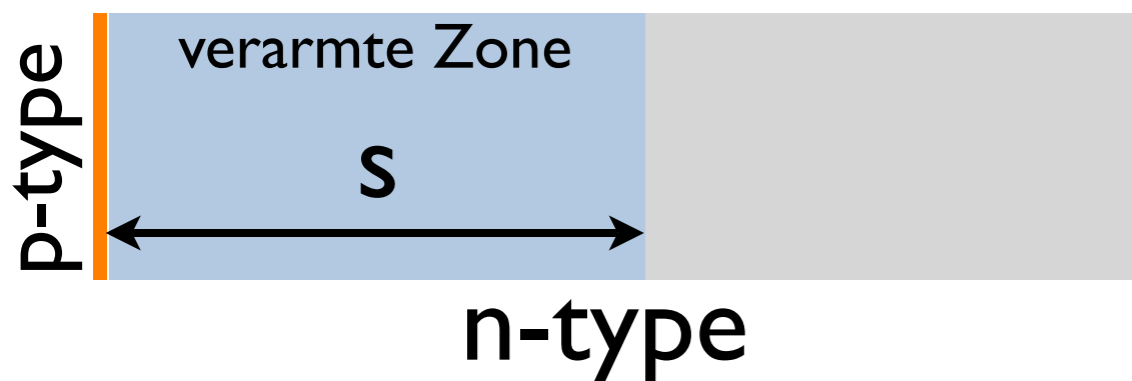
Poissongleichung:

$$\nabla^2 \varphi = -\frac{\rho}{\epsilon}$$

Planare Diode:

$$C = \frac{\epsilon A}{s}$$

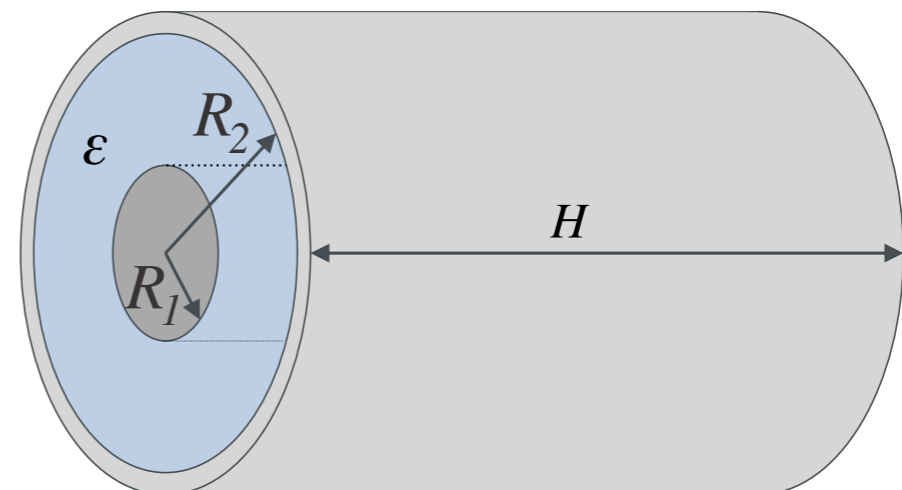
$$N_D = -\frac{C^3}{\epsilon e A^2} \left( \frac{dC}{dV} \right)^{-1}$$



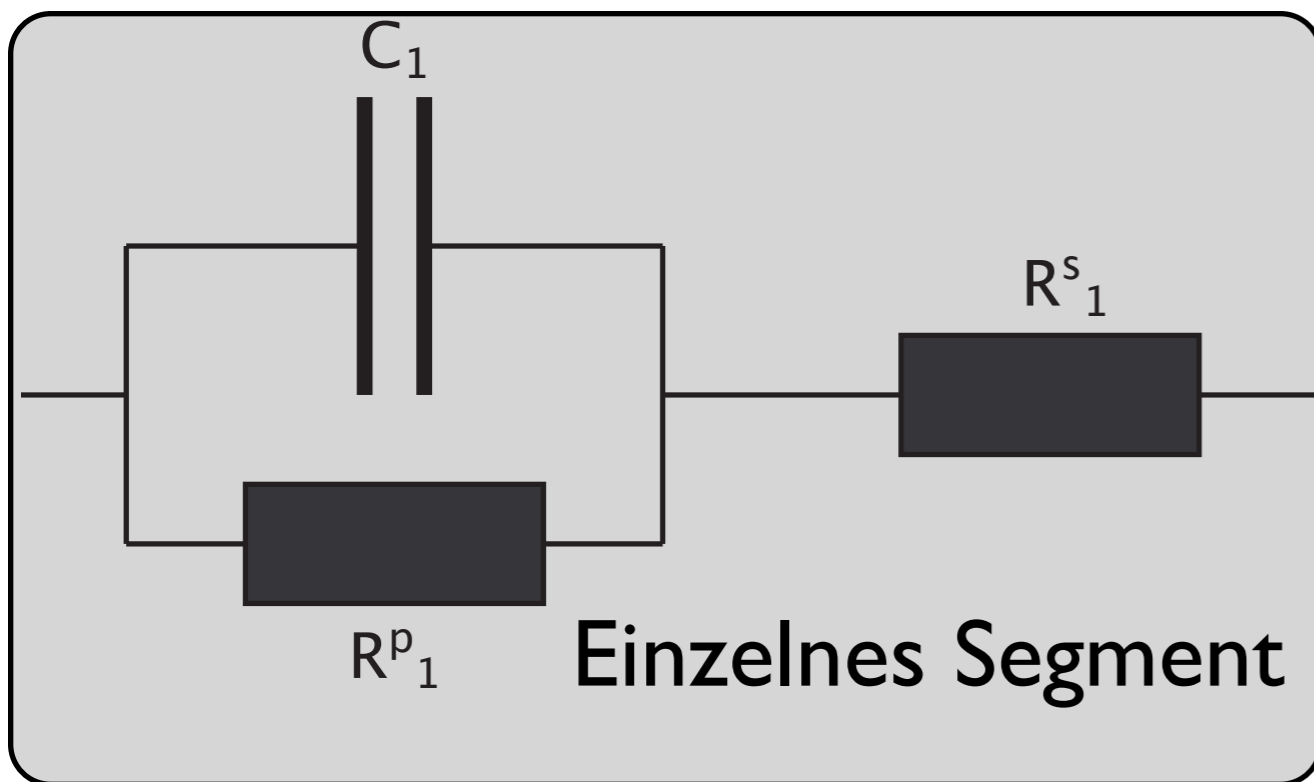
Zylindrische Diode:

$$R_1^2 = R_2^2 e^{-\frac{4\pi\epsilon H}{C}}$$

$$N_D(R_1) = -\frac{C^3 e^{\frac{4\pi\epsilon H}{C}}}{4e\pi^2 H^2 \epsilon R_2^2 \frac{dC}{dV}}$$



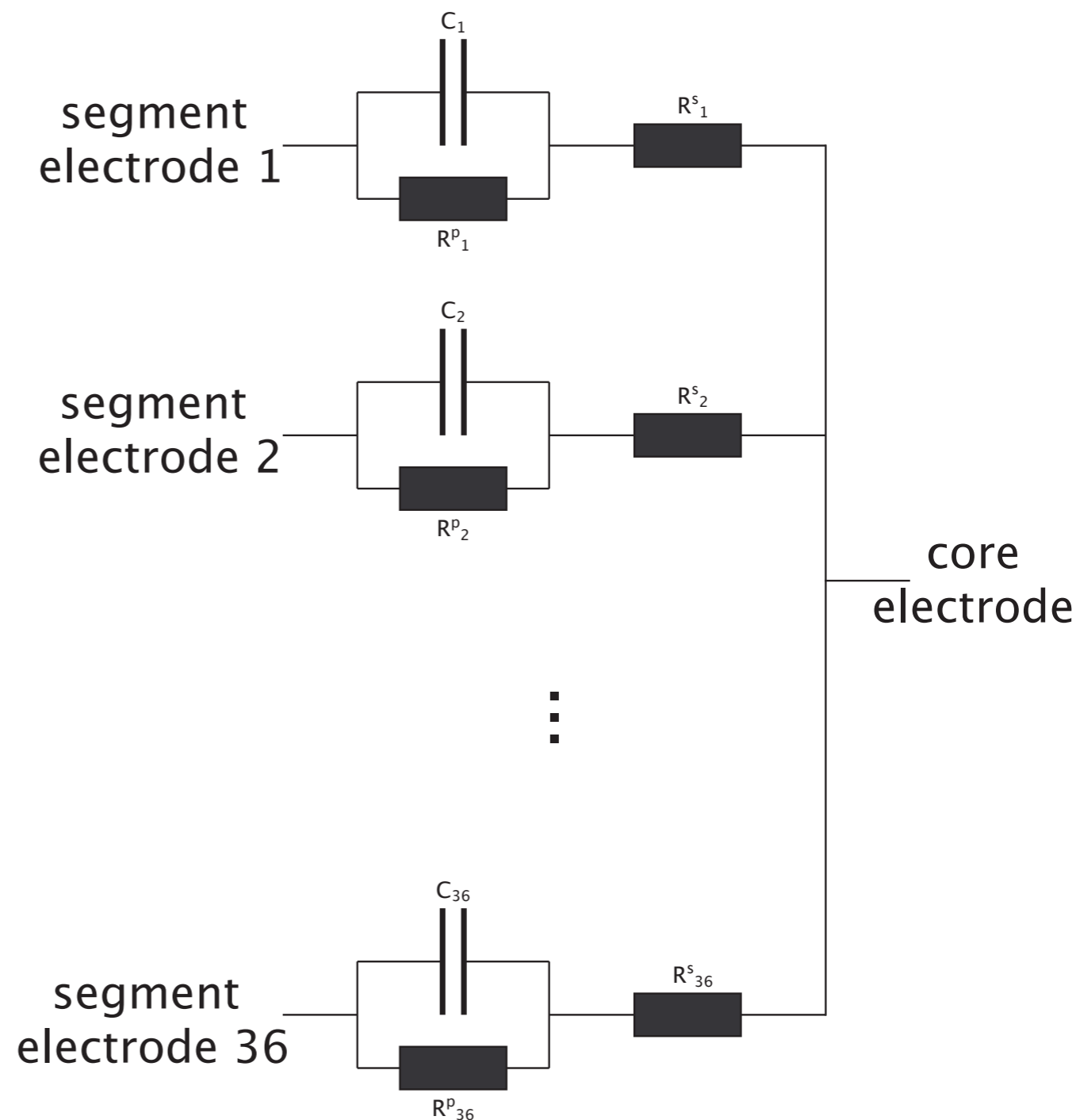
# Modell



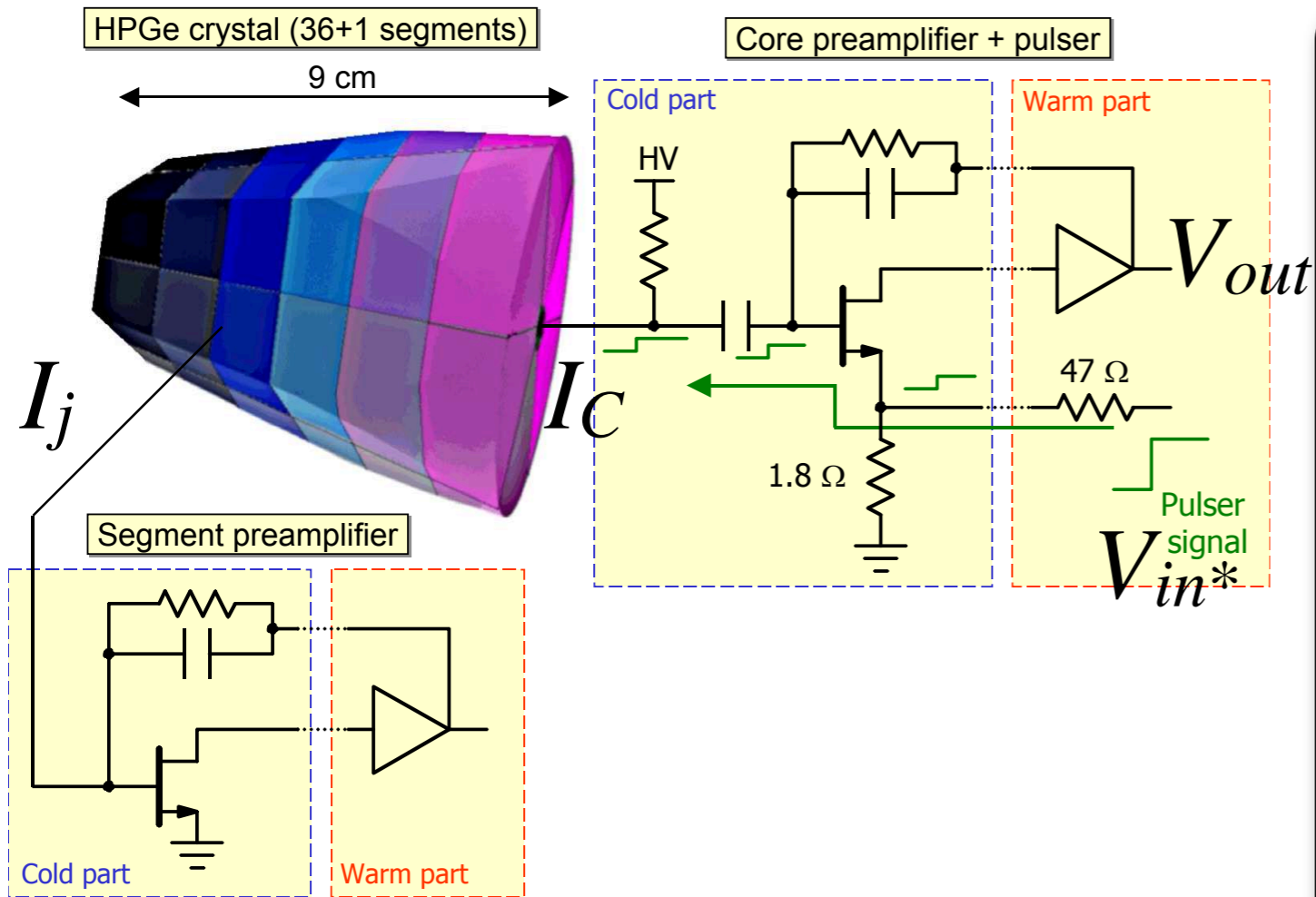
$$36 \text{ pF} < C_{\text{total}} < 3,5 \text{ nF}$$

$$0 \leq R_{\text{total}}^s < 2 \text{ k}\Omega$$

$$R_{\text{total}}^p \sim \text{G}\Omega$$



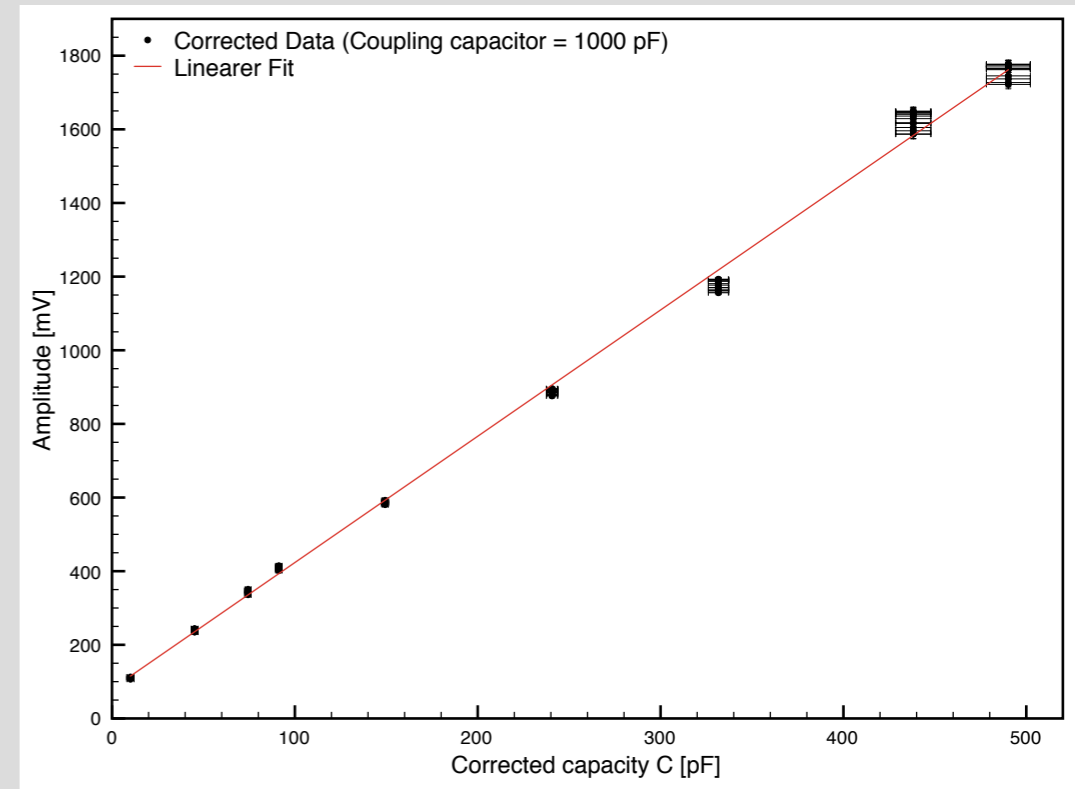
# Kapazitätsmessung mit Hilfe des Pulser



## Vorverstärker (Core)

Pulseramplitude ist linear abhängig von der Kapazität des Detektors  $C_{DET}$

$$V_{out} = \left( \frac{C_{FB} + C_{DET}}{C_{FB}} \right) V_{in}^*$$



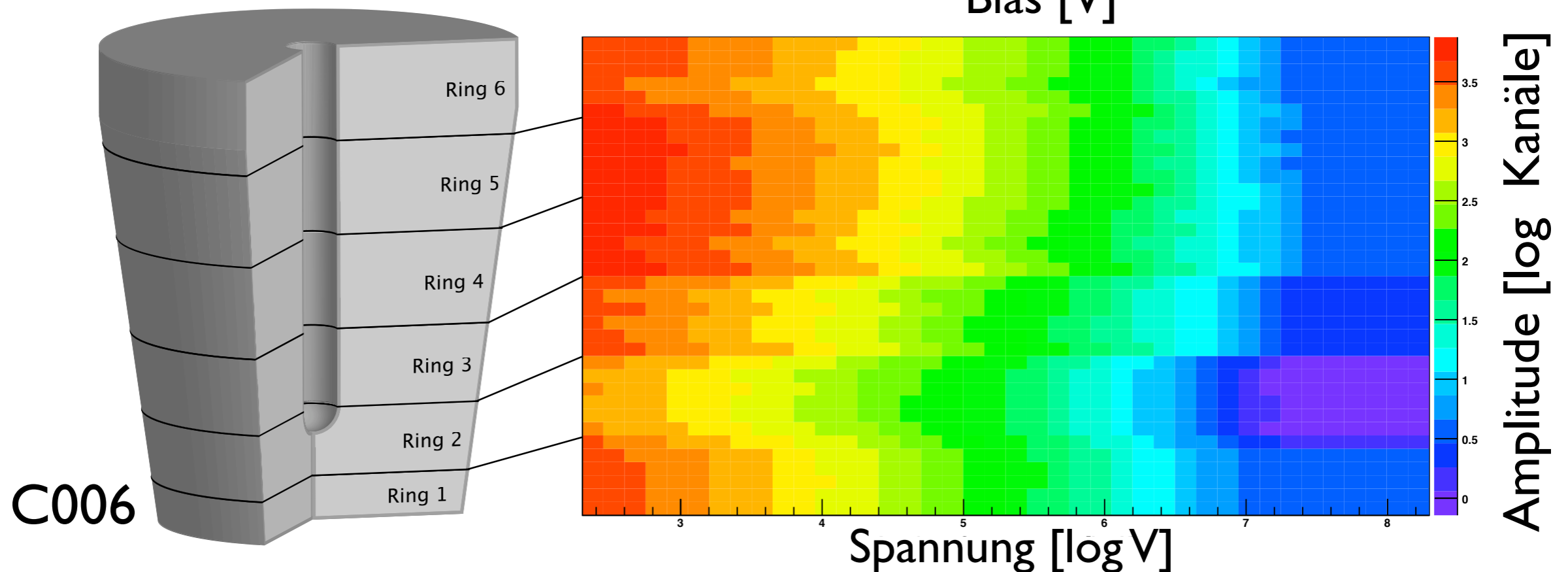
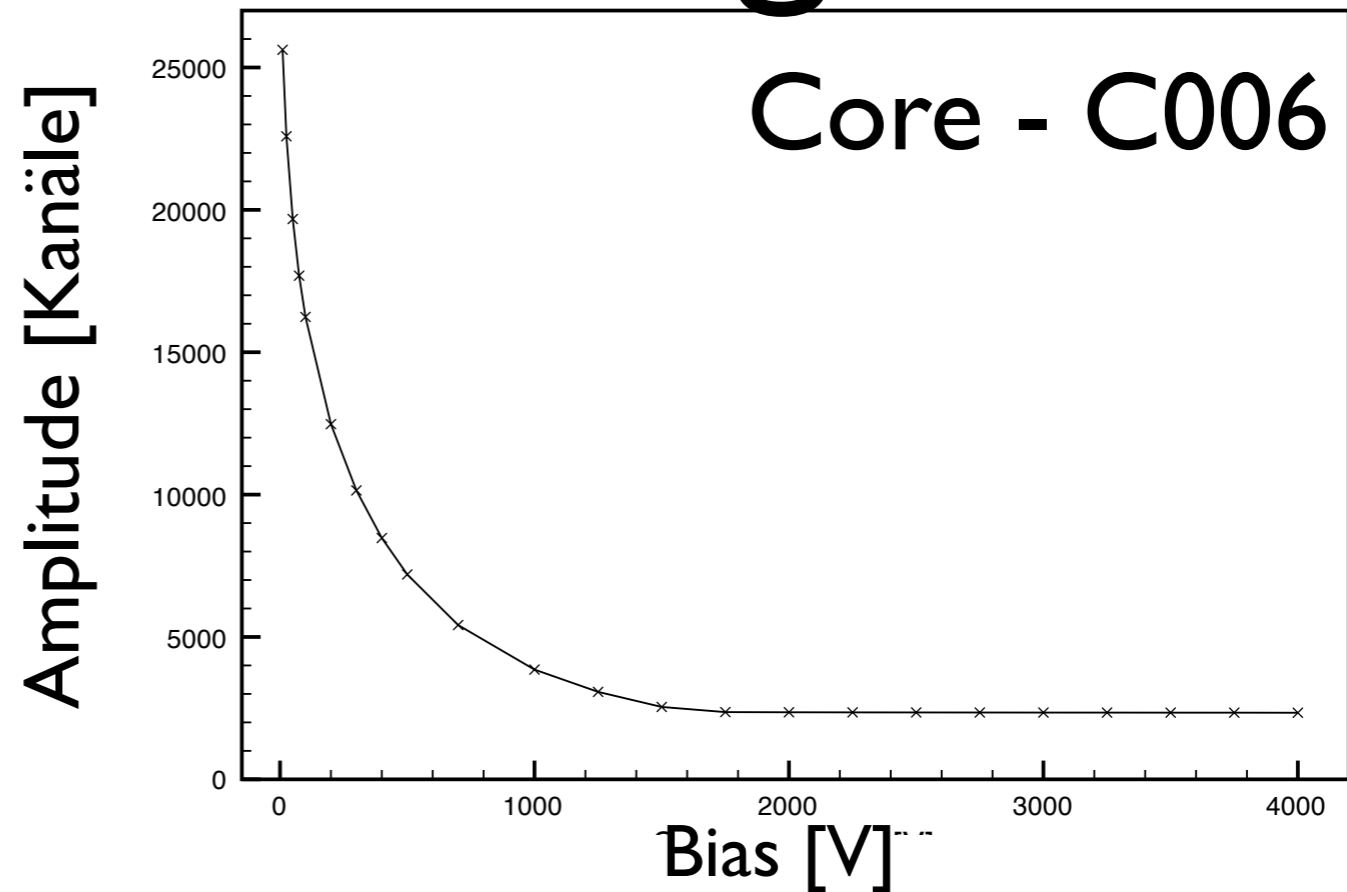
Experimenteller Test mit Ersatzschaltung

## Segmentesignale

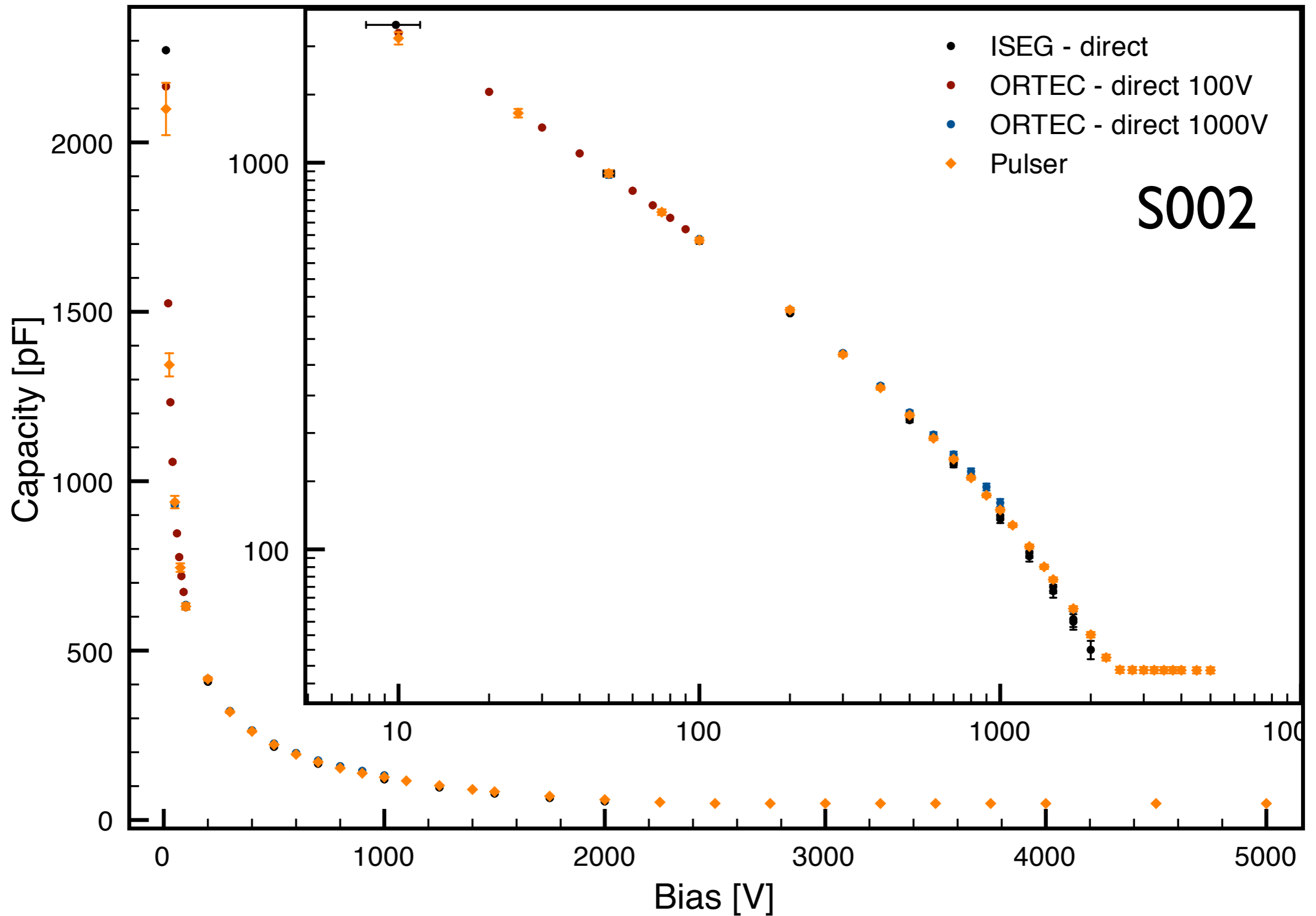
$$I_j = \frac{C_j}{\sum_{i=1}^{36} C_i} I_C$$

# Pulser Messungen

Detektor	Segmente
A003	nein
B003	nein
B005	ja
C005	ja
C006	ja
S002	ja

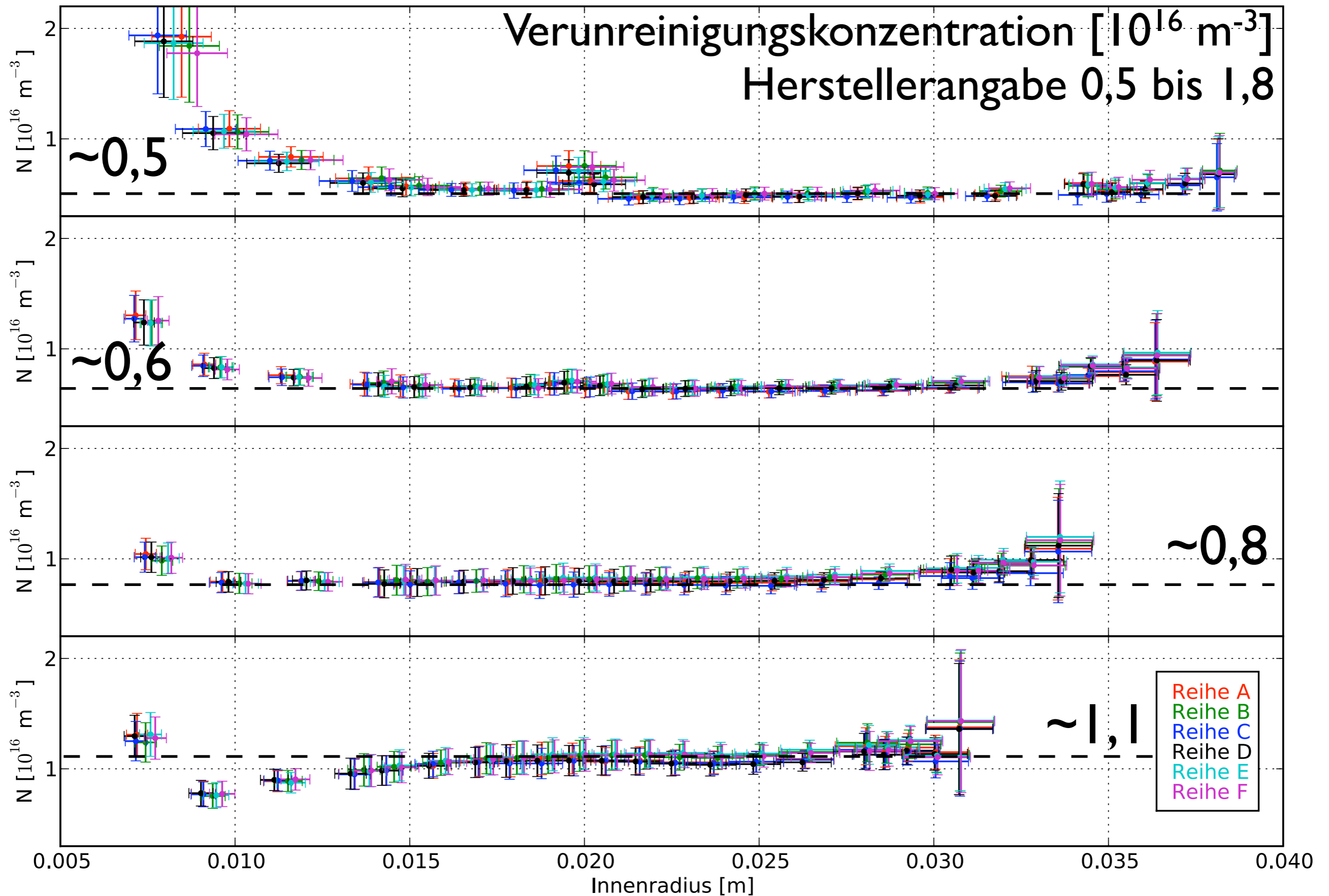


# Vergleich zwischen direkter Messung und Pulsermessung





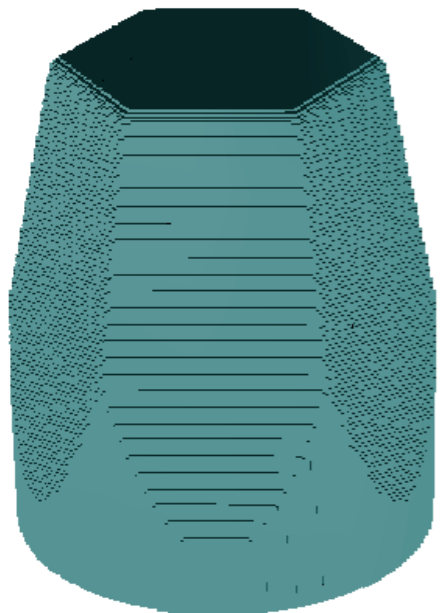
# Verunreinigungskonzentration



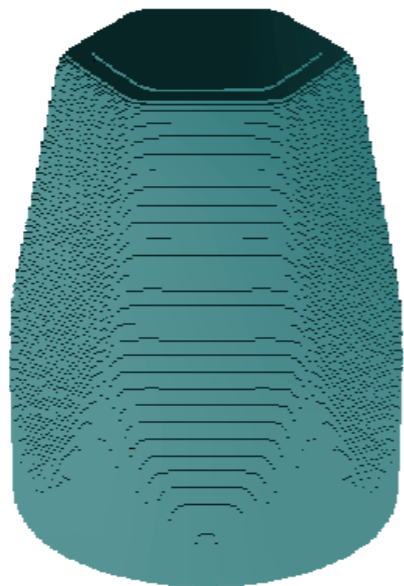
# Simulationen

Iterative Lösung der Poissongleichung

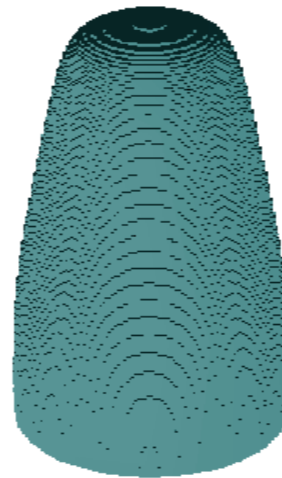
$$\nabla^2 \varphi = - \frac{eN(x)}{\epsilon}$$



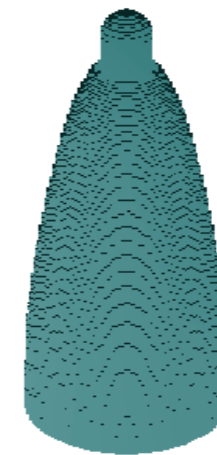
10 V



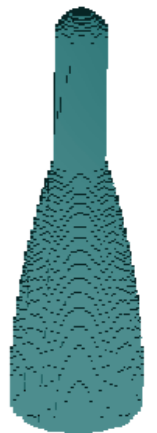
100 V



1000 V



2000 V



3000 V

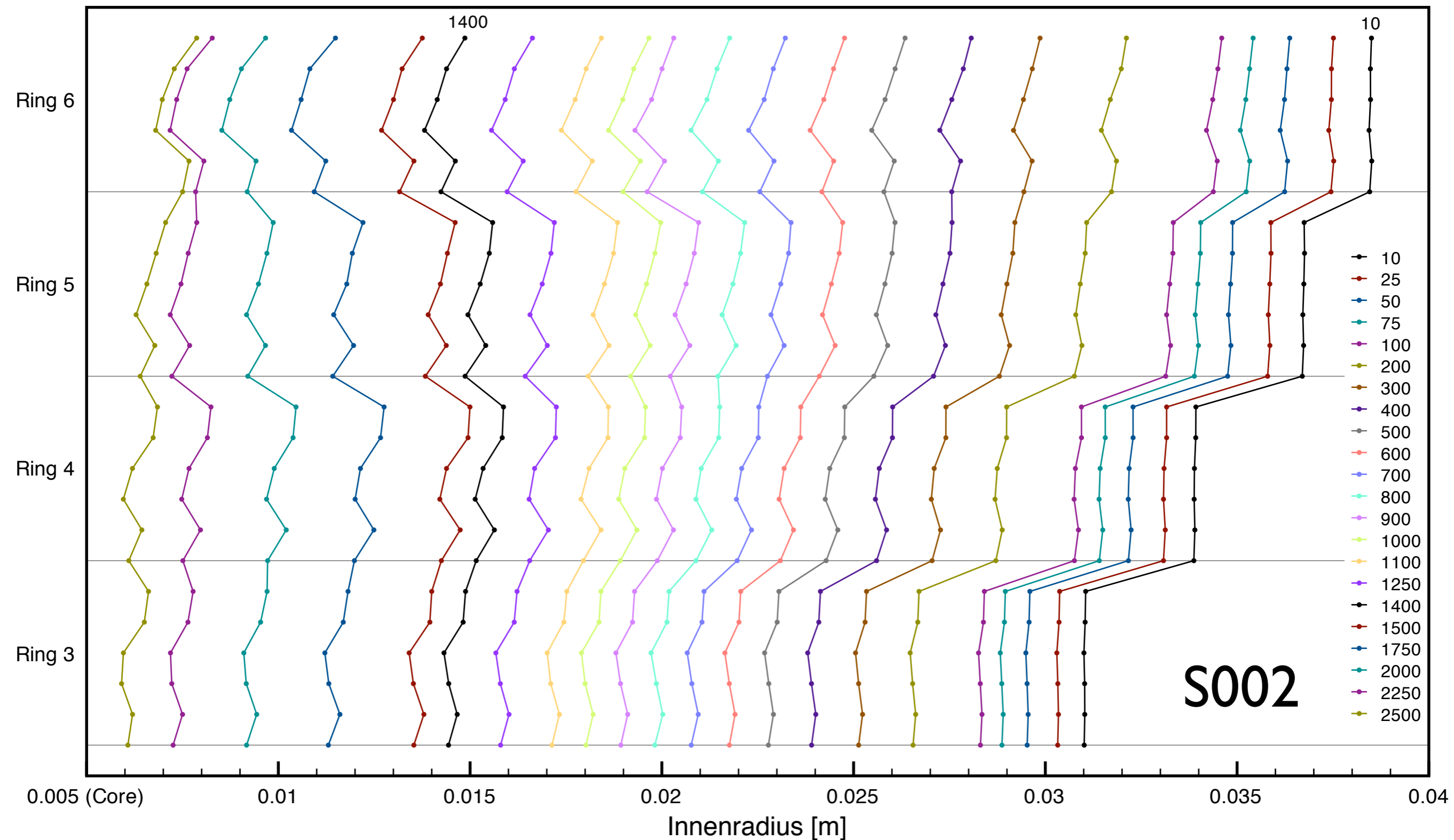
Grenzfläche des bereits verarmten Bereichs

# Zusammenfassung

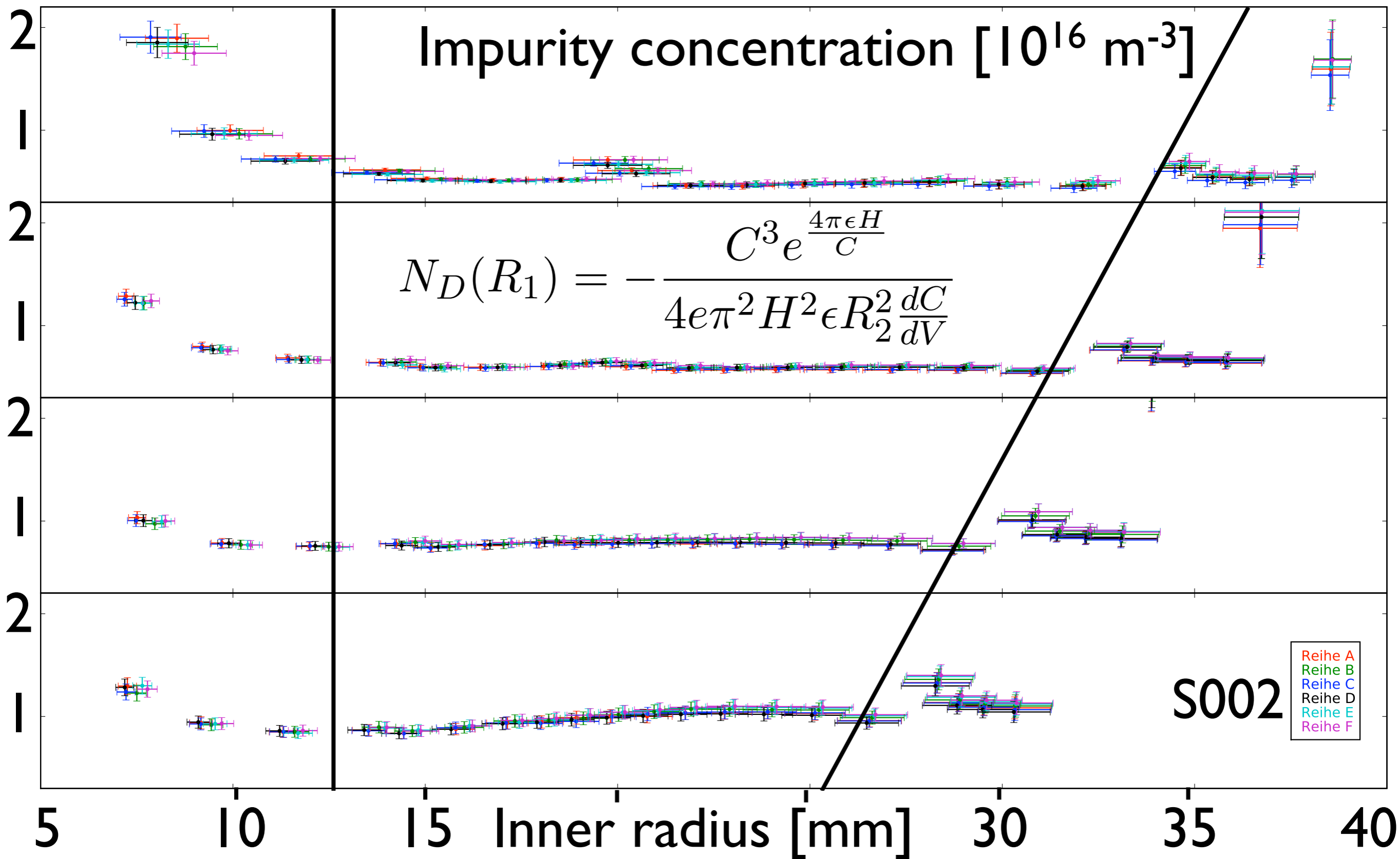
- Neue Methode der Kapazitätsmessung
  - Gute Auflösung
  - Nutzt den Pulser der AGATA Vorverstärker
  - Kristalle können in Test- und Tripelkryostaten vermessen werden
- Verunreinigungskonzentration mit CV-Analyse
  - Gradient wie erwartet und vergleichbar mit Herstellerangaben
  - keine radiale Abhängigkeit
- Computersimulationen

# Danke für die Aufmerksamkeit

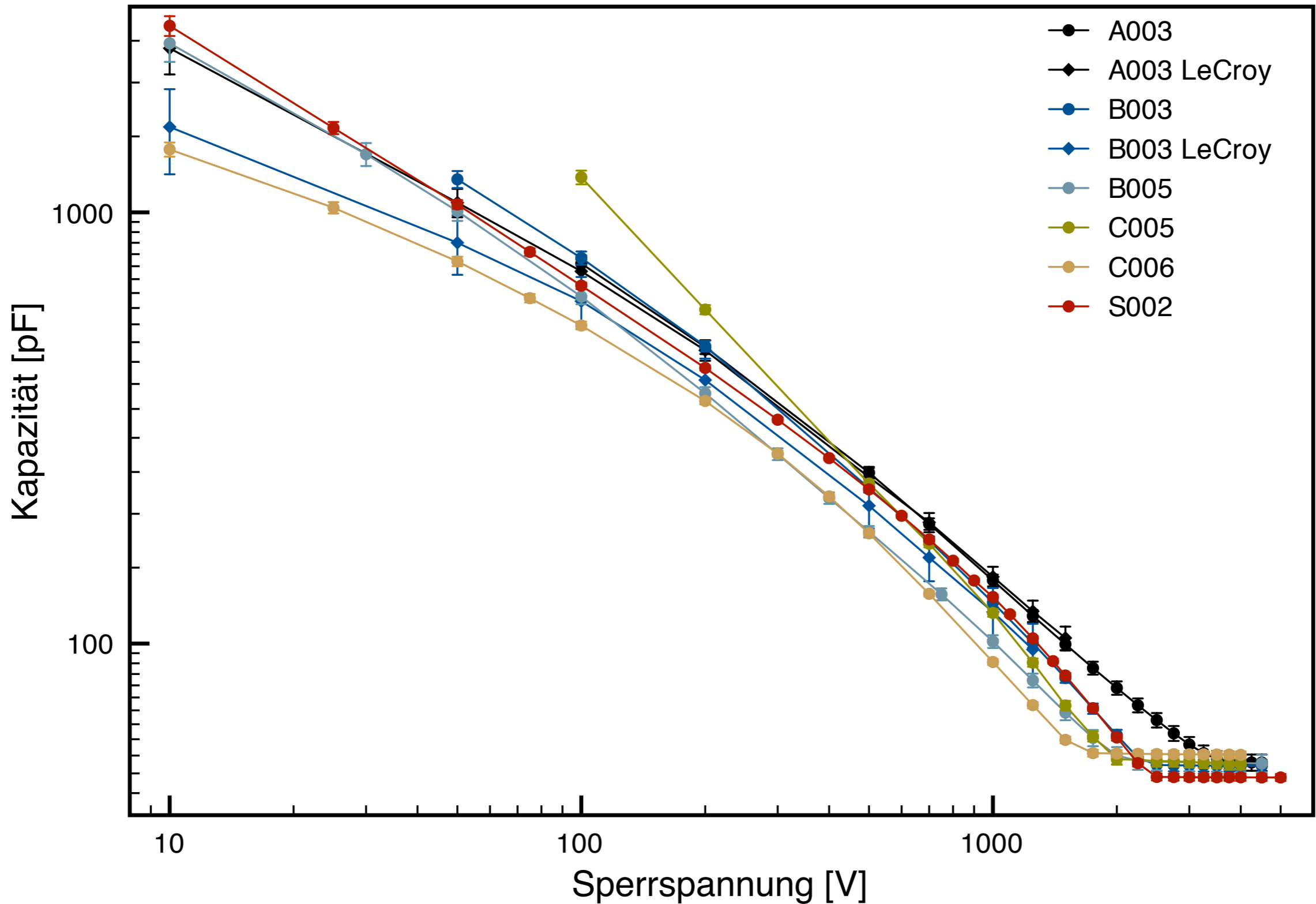
# Ausdehnung der Verarmungszone



# Analysis cylinder symmetry

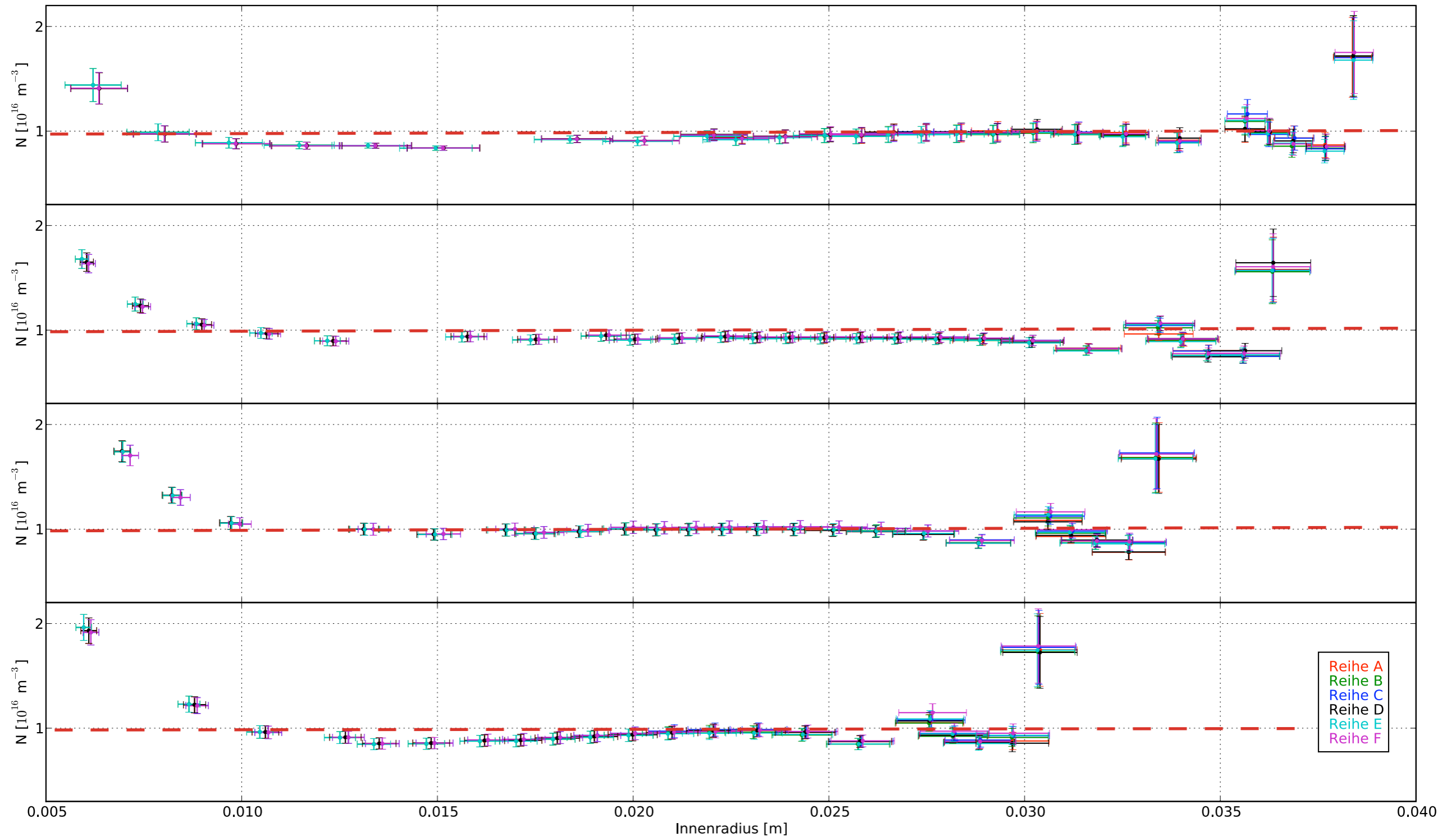


# Kapazitäten aller Detektoren



# Korrektur

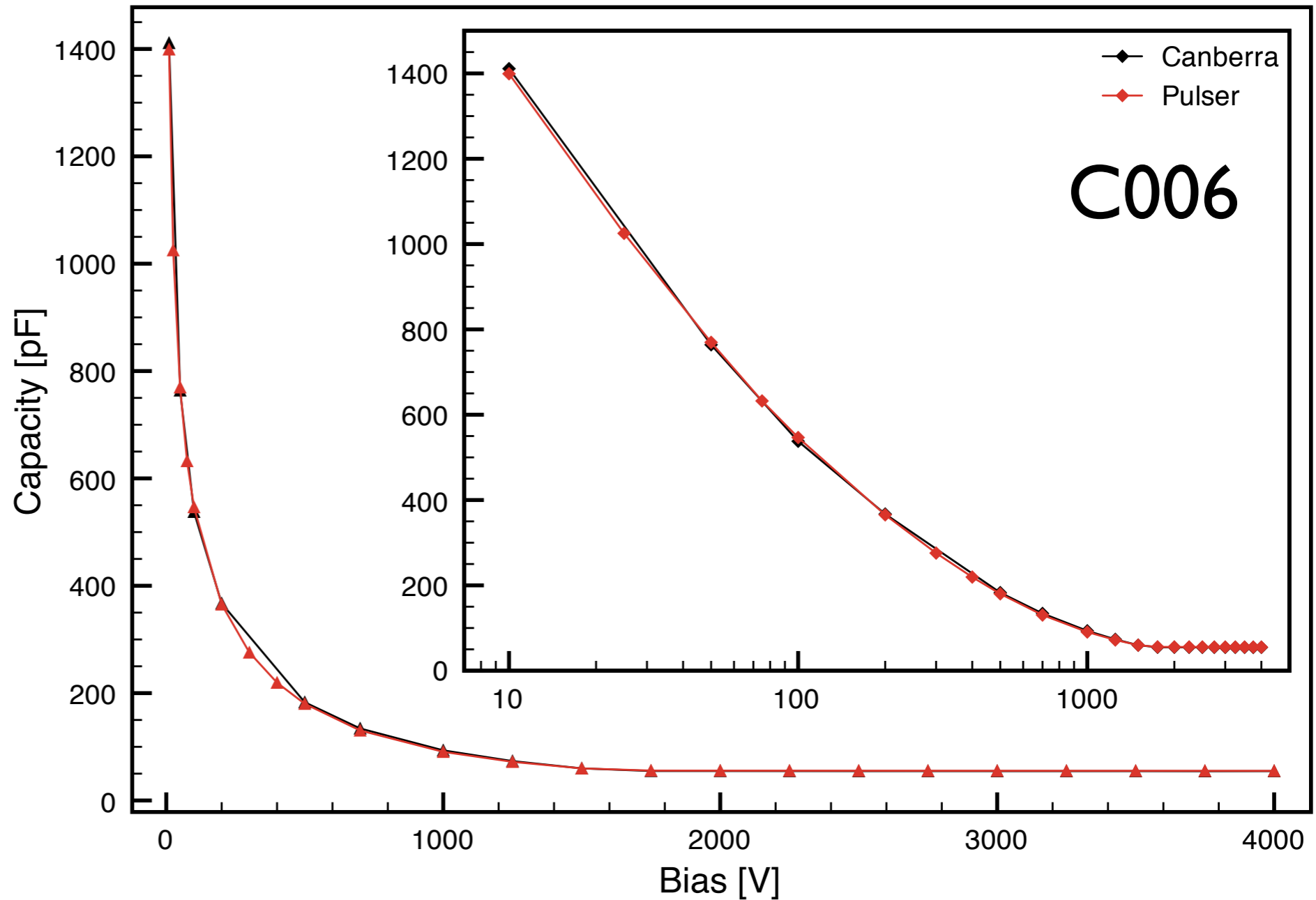
## Computersimulation mit homogener Verunreinigung



# Normalisation

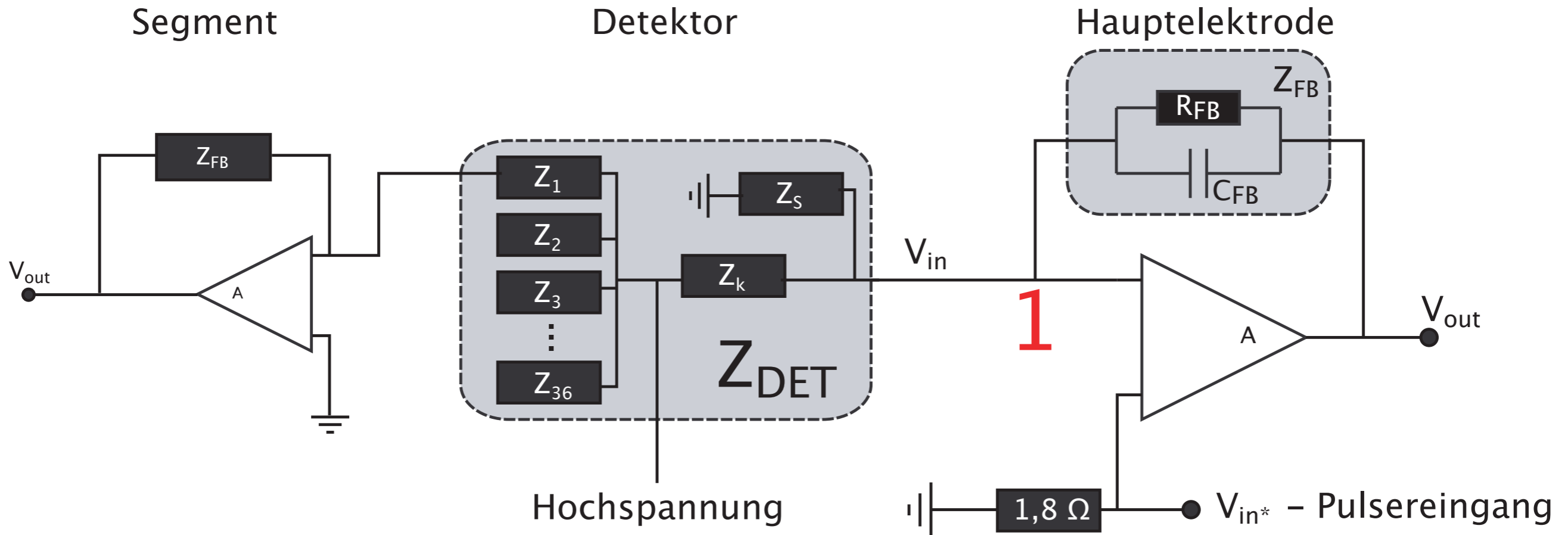
Relative pulser amplitudes are normalised to absolute values in Farad

Corrections for coupling capacitors are applied





# Kapazitätsmessung mit Hilfe des Pulsers



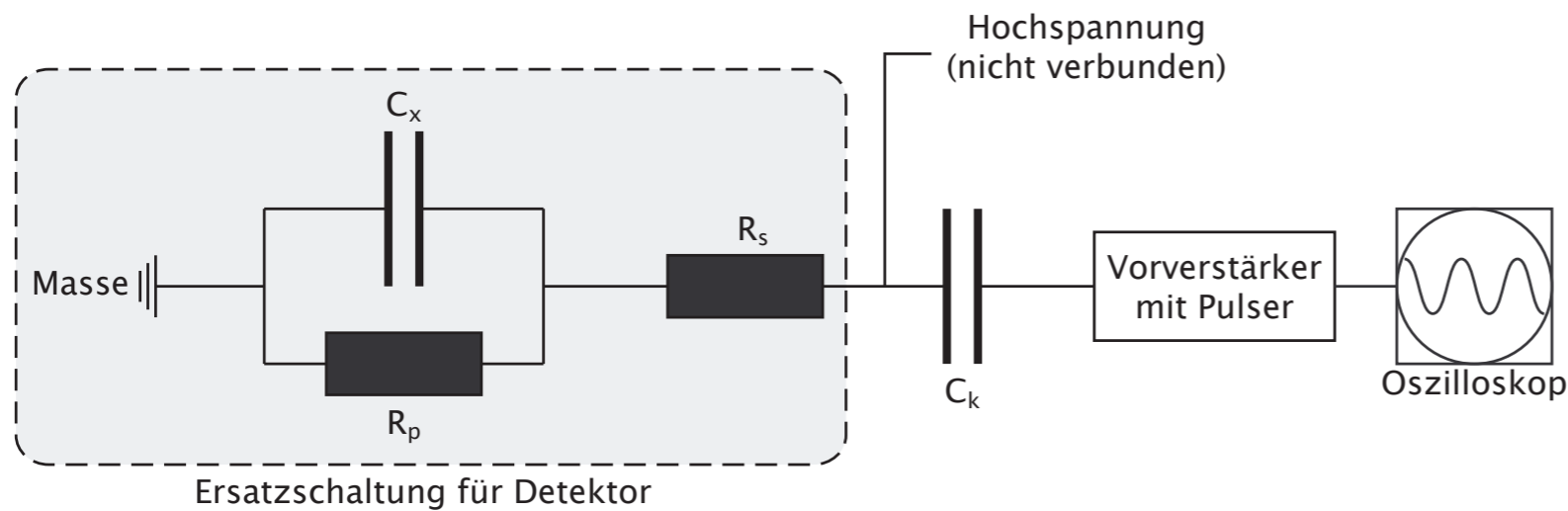
## Core - Vorverstärker

$$V_{out} = \left( \frac{C_{FB} + C_{DET}}{C_{FB}} \right) V_{in}^*$$

## Segment - Signale

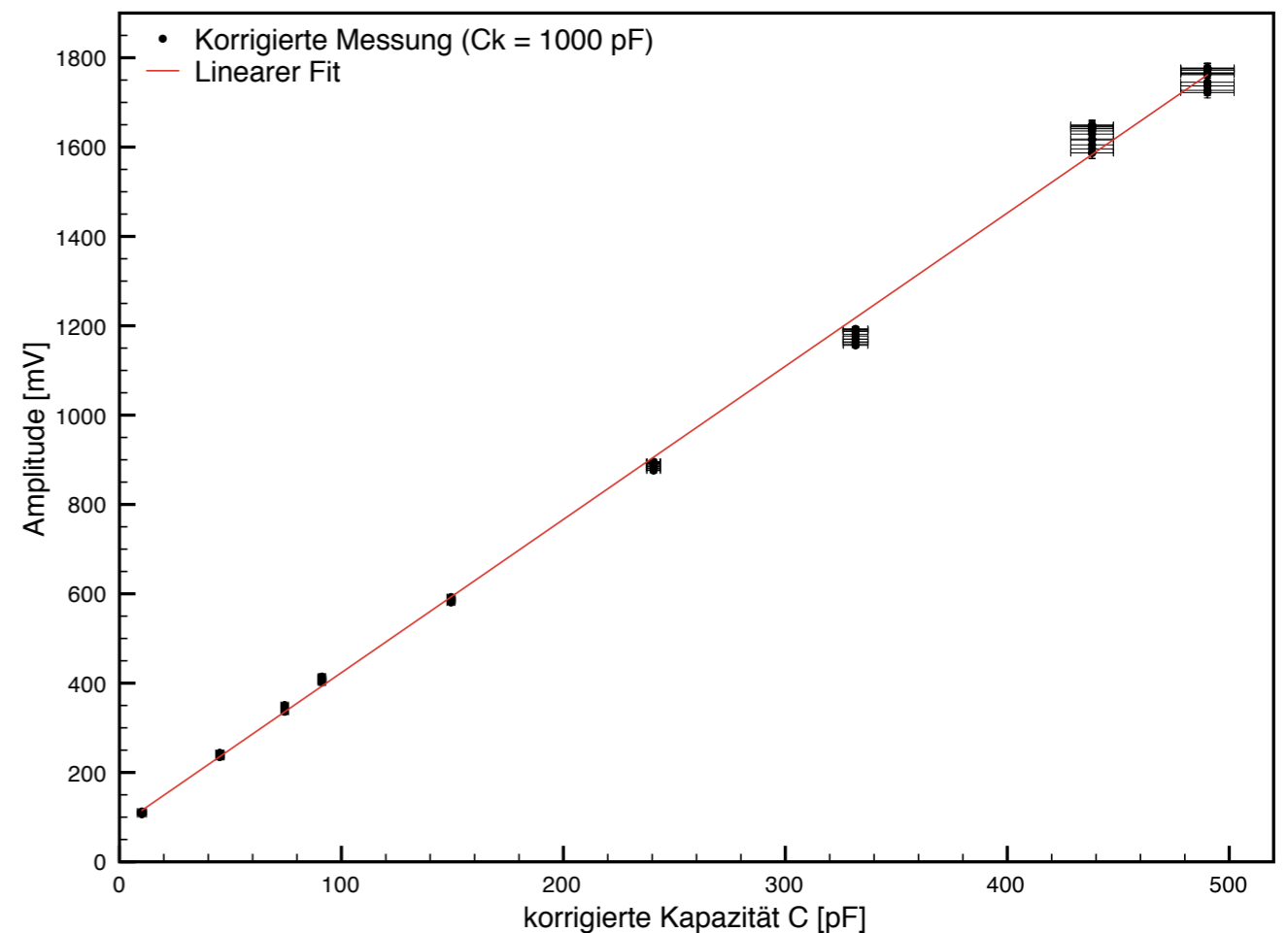
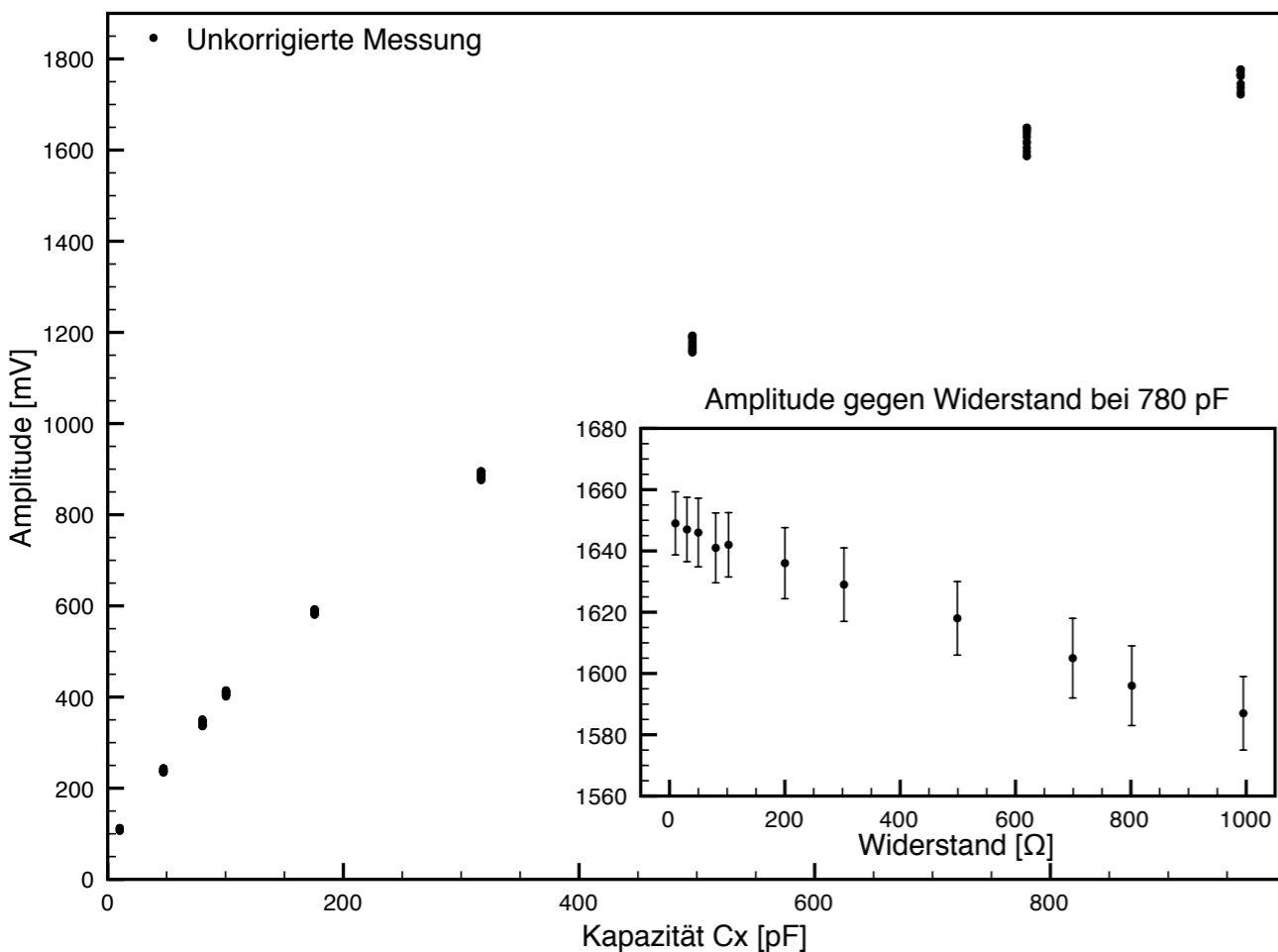
$$I_j = \frac{C_j}{\sum_{i=1}^{36} C_i} I_C$$

# Testmessungen mit Ersatzschaltung

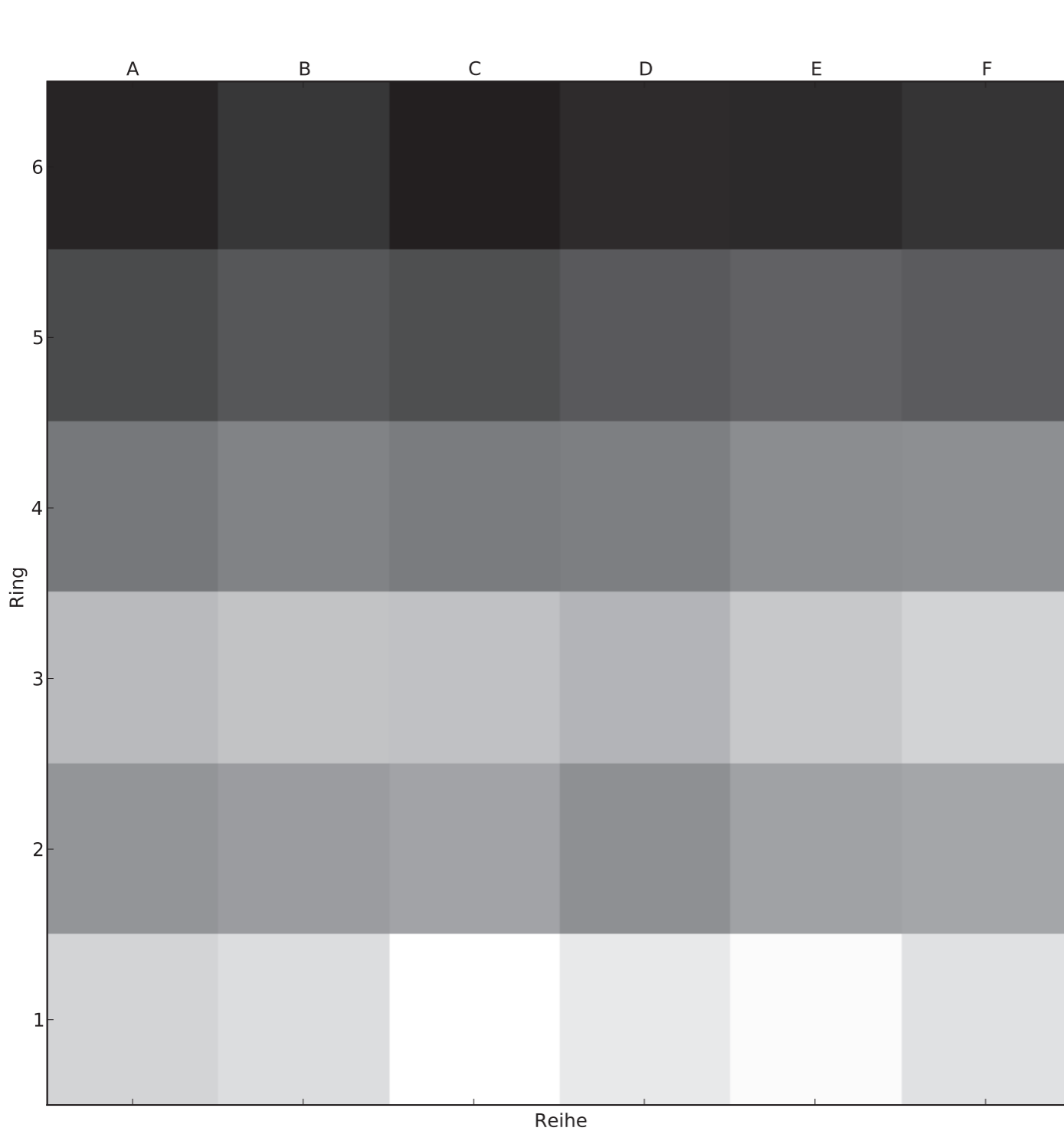


Korrektur des Koppelkondensators nötig

$$C = \frac{C_x \cdot C_k}{C_x + C_k}$$

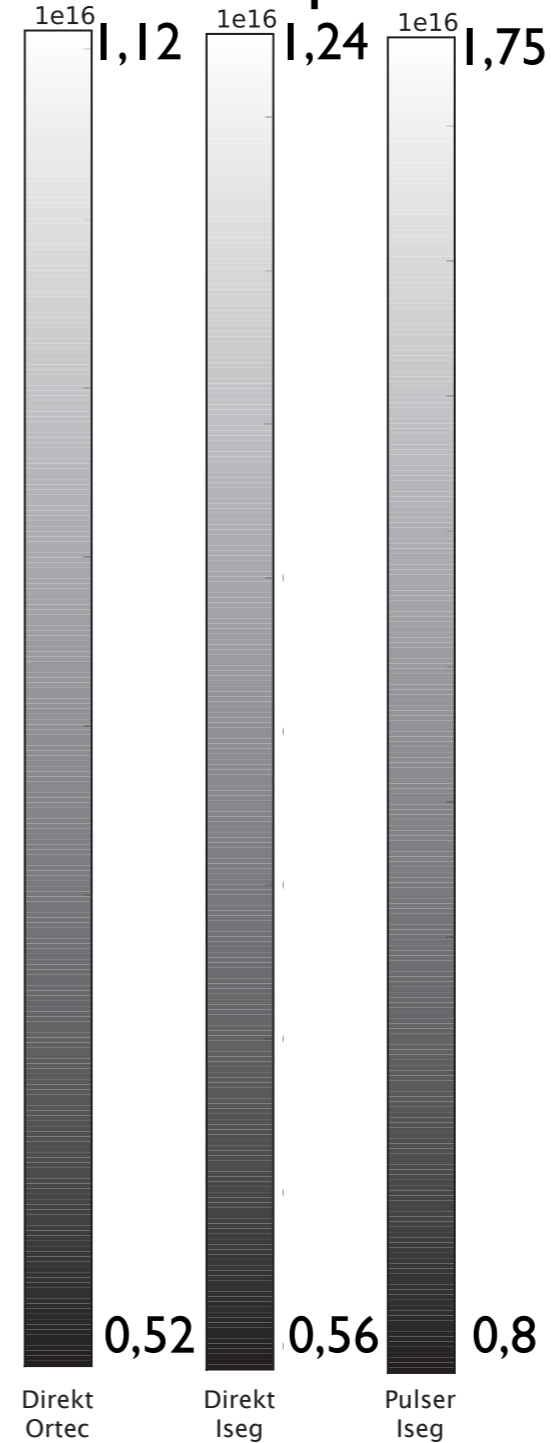


# Surface analysis



S002

$10^{16}$  Atoms per  $m^3$



At 10 V:

$$C = \frac{\epsilon}{s} \simeq \sqrt{\frac{e\epsilon N_D}{2V}}$$



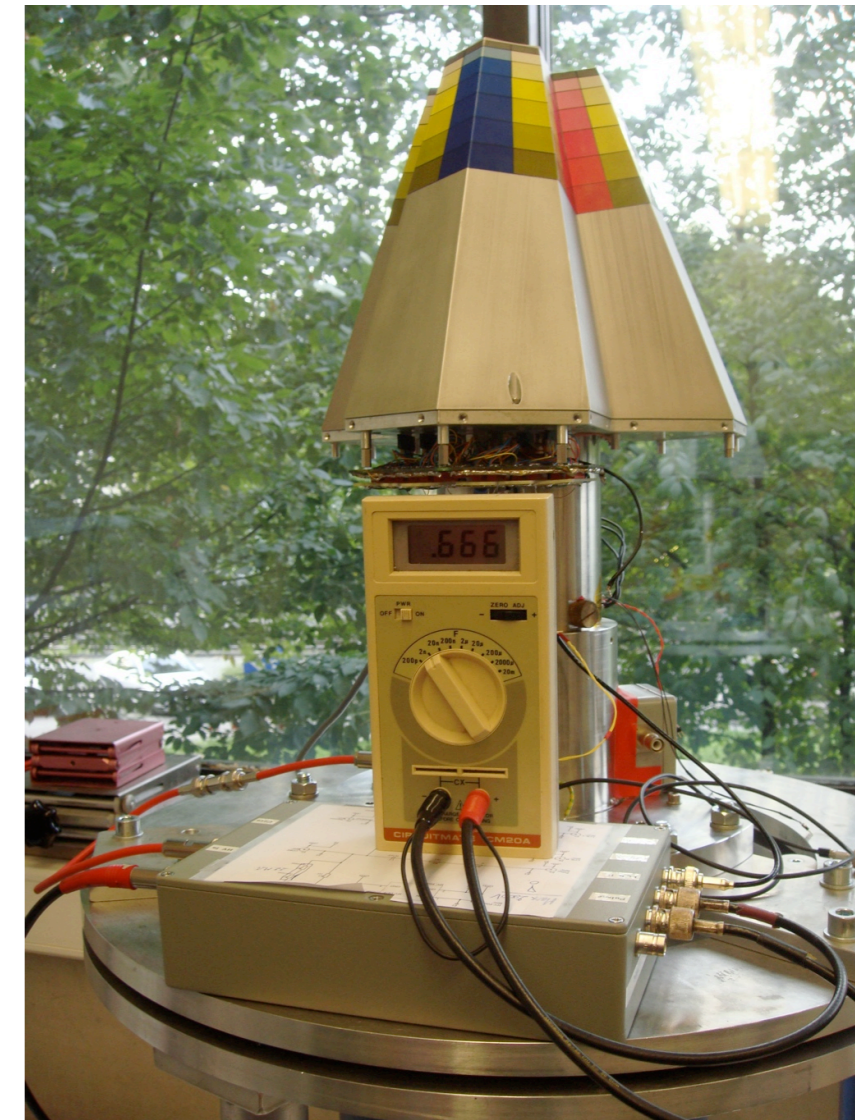
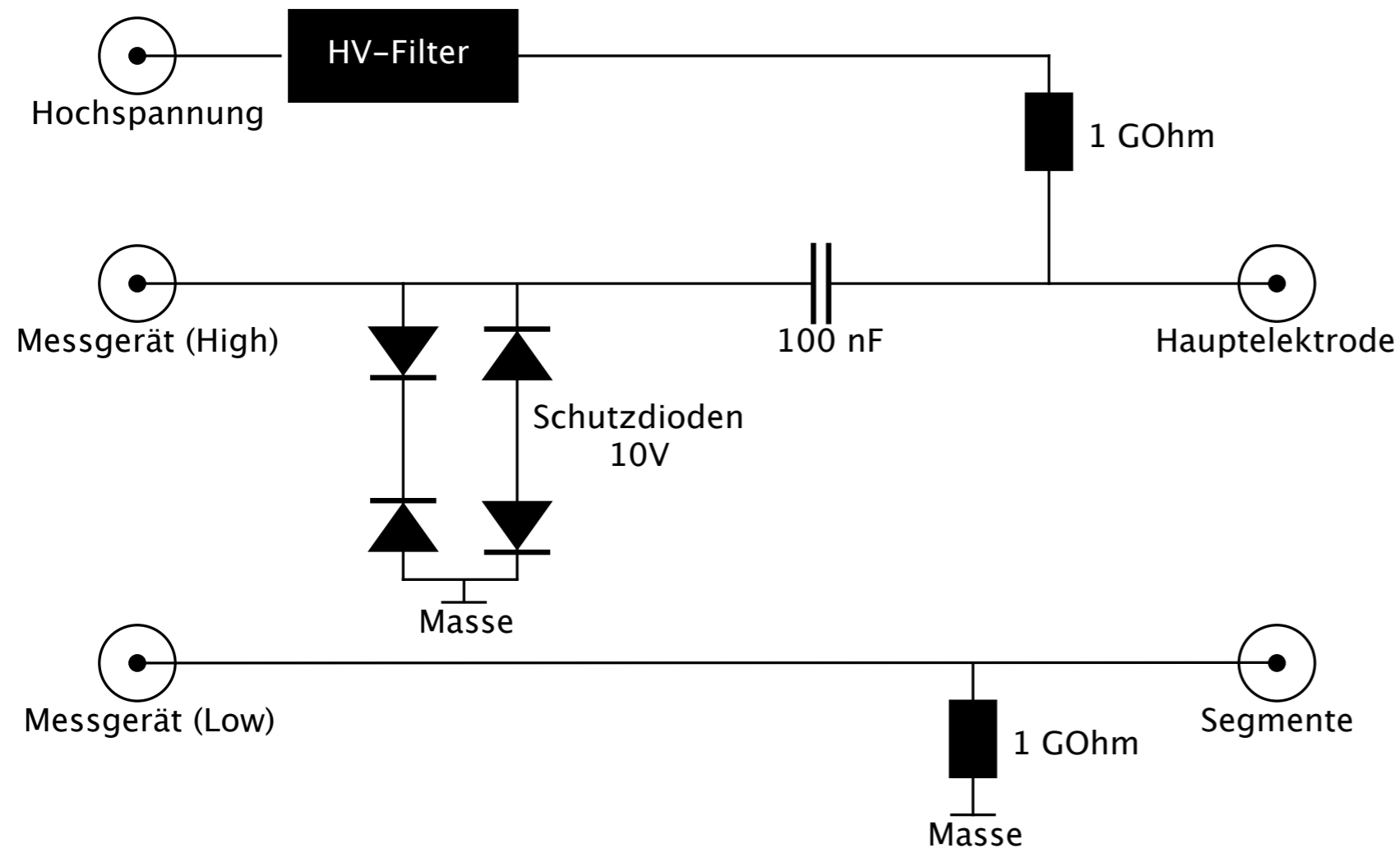
$$N_D \simeq \frac{2VC^2}{e\epsilon A^2}$$

producer info:

0.5 l (Ring 6)

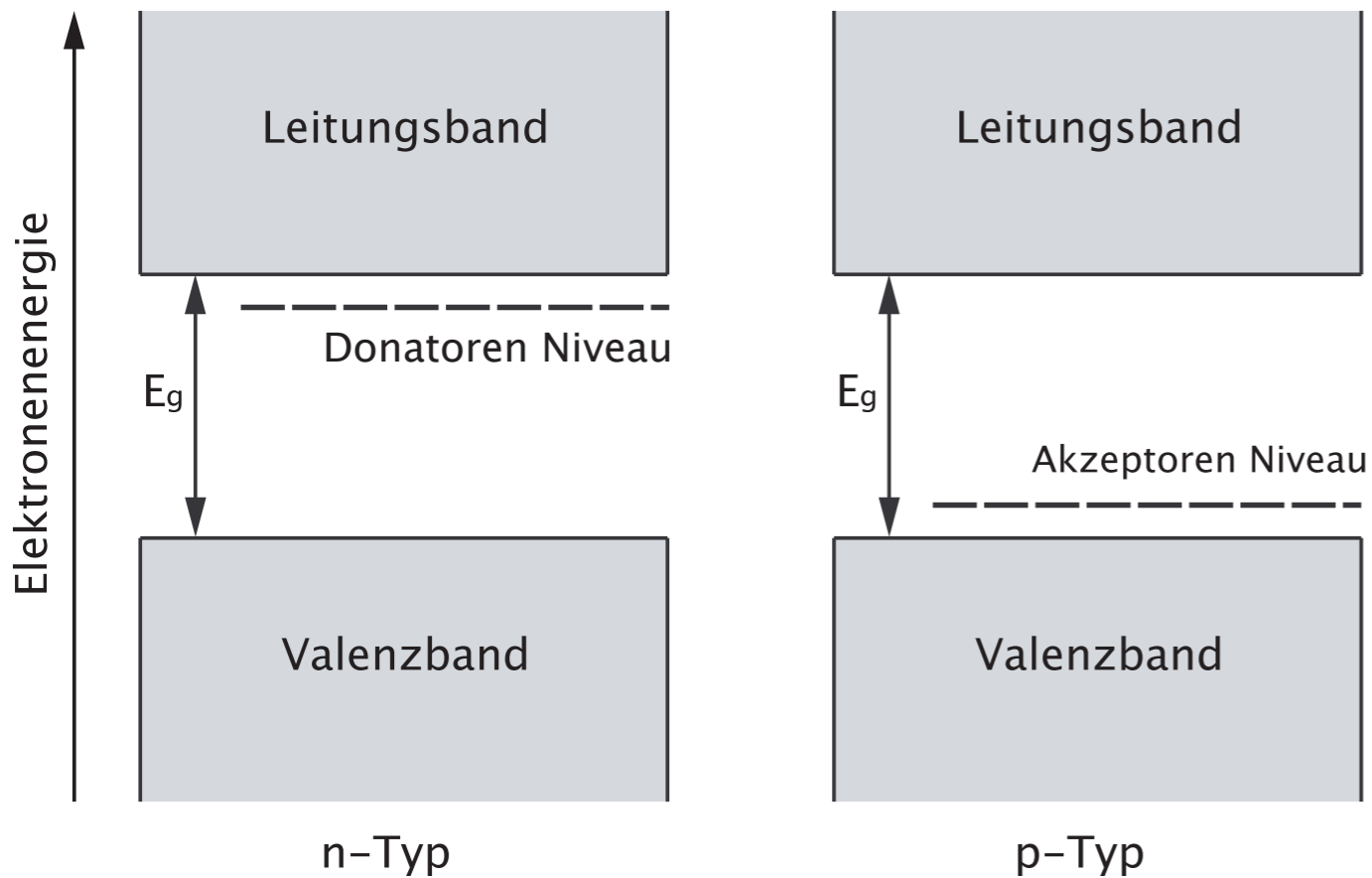
1.80 (Ring 1)

# Direkte Messung



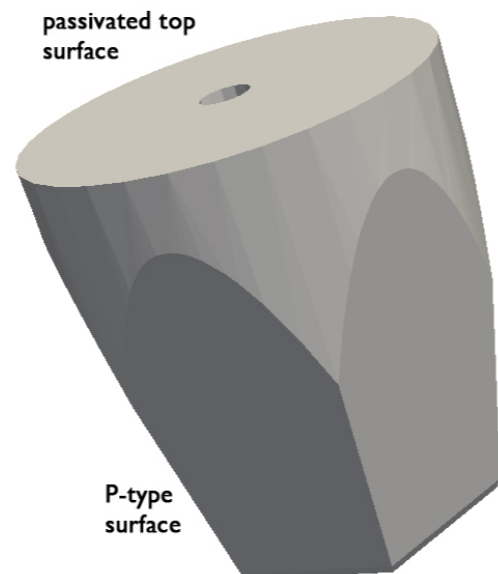
Kapazitätsmessgeräte müssen geschützt werden

# Halbleiter und Verunreinigungen



	<b>14</b> Si Silicium 28,086 2/8/4	<b>32</b> Ge Germanium 72,59 2/8/18/4
<b>Elektronen - Lochpaar [eV]</b>	<b>3,76</b>	<b>2,96</b>
<b>Energielücke [eV]</b>	<b>1,1</b>	<b>0,7</b>
<b>Dielektrische Konstante</b>	<b>12</b>	<b>16</b>
<b>Mobilität Elektron bei 300 / 90 K [cm<sup>2</sup> / Vs]</b>	1350 / 20 000	3900 / 40 000
<b>Mobilität Loch bei 300 / 90 K [cm<sup>2</sup> / Vs]</b>	480 / 10 000	1900 / > 50 000

Ein AGATA-Detektor ist aus n-Typ Germanium mit einer Verunreinigungskonzentration von  $0,4$  bis  $1,8 \times 10^{16}$  Atomen pro Kubikmeter (99,99 %).



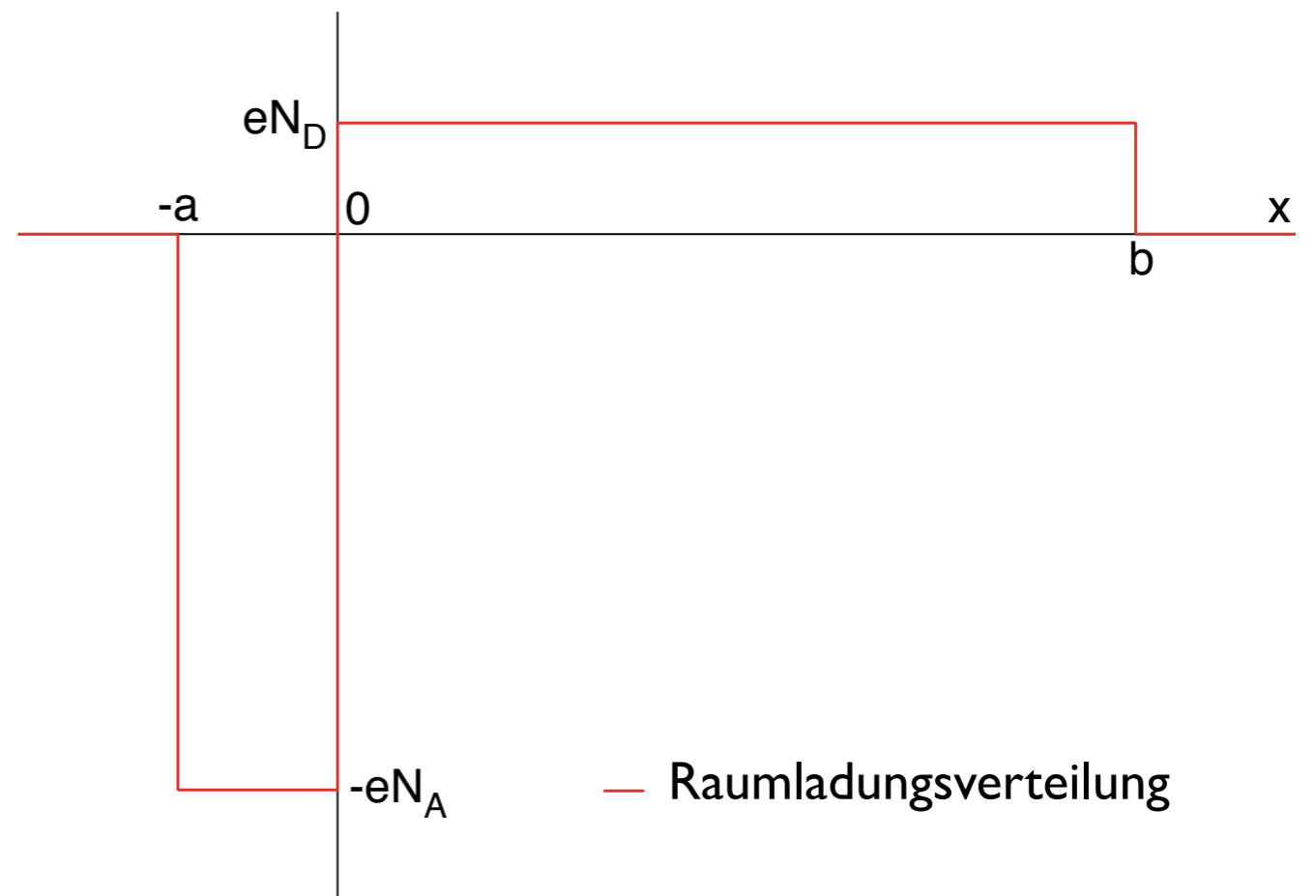
# pn-Übergang

- Elektronen auf der n-Typ Seite wandern zur p-Typ Seite
- Löcher auf der p-Typ Seite entsprechend zur n-Typ Seite
- Spannung in Sperrrichtung

## Poissongleichung

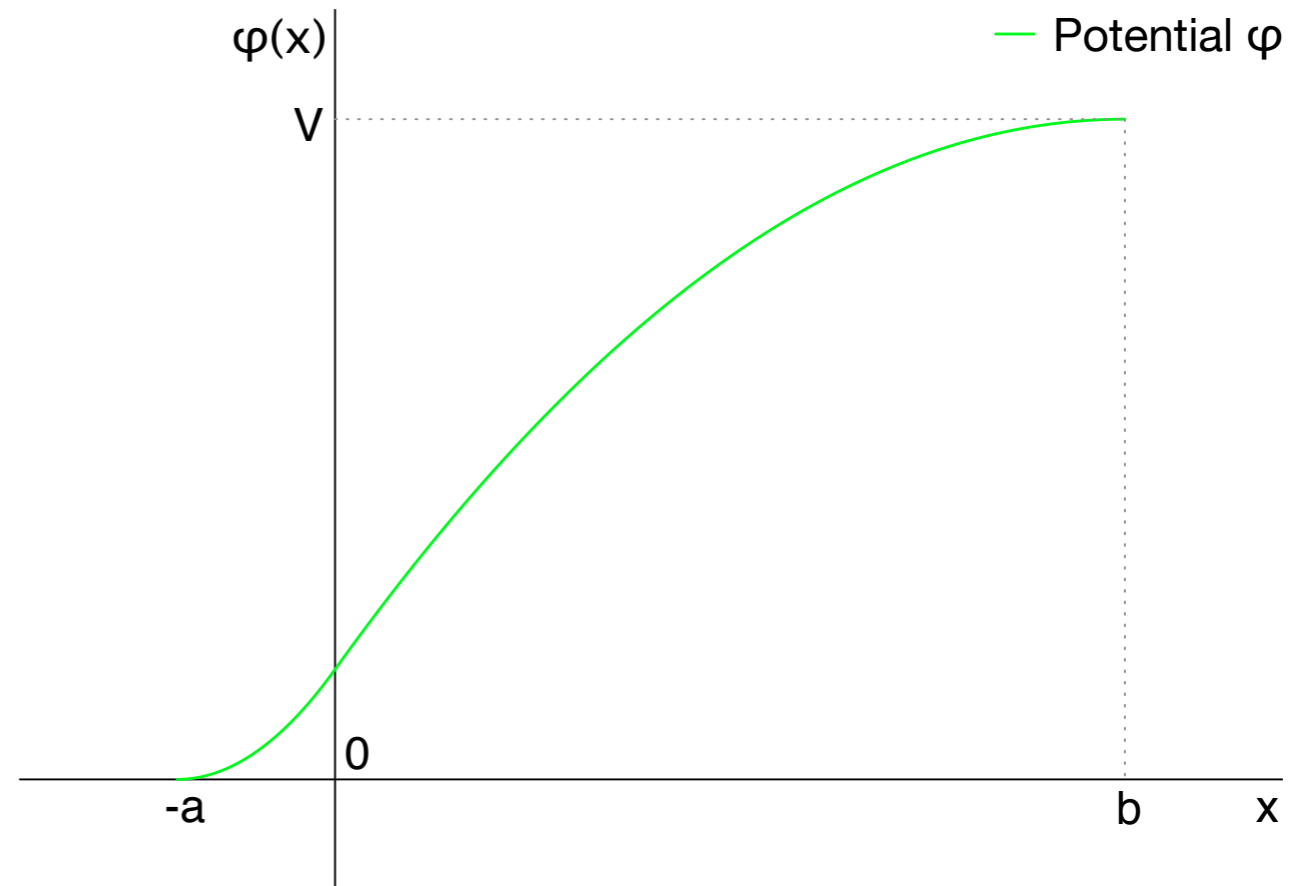
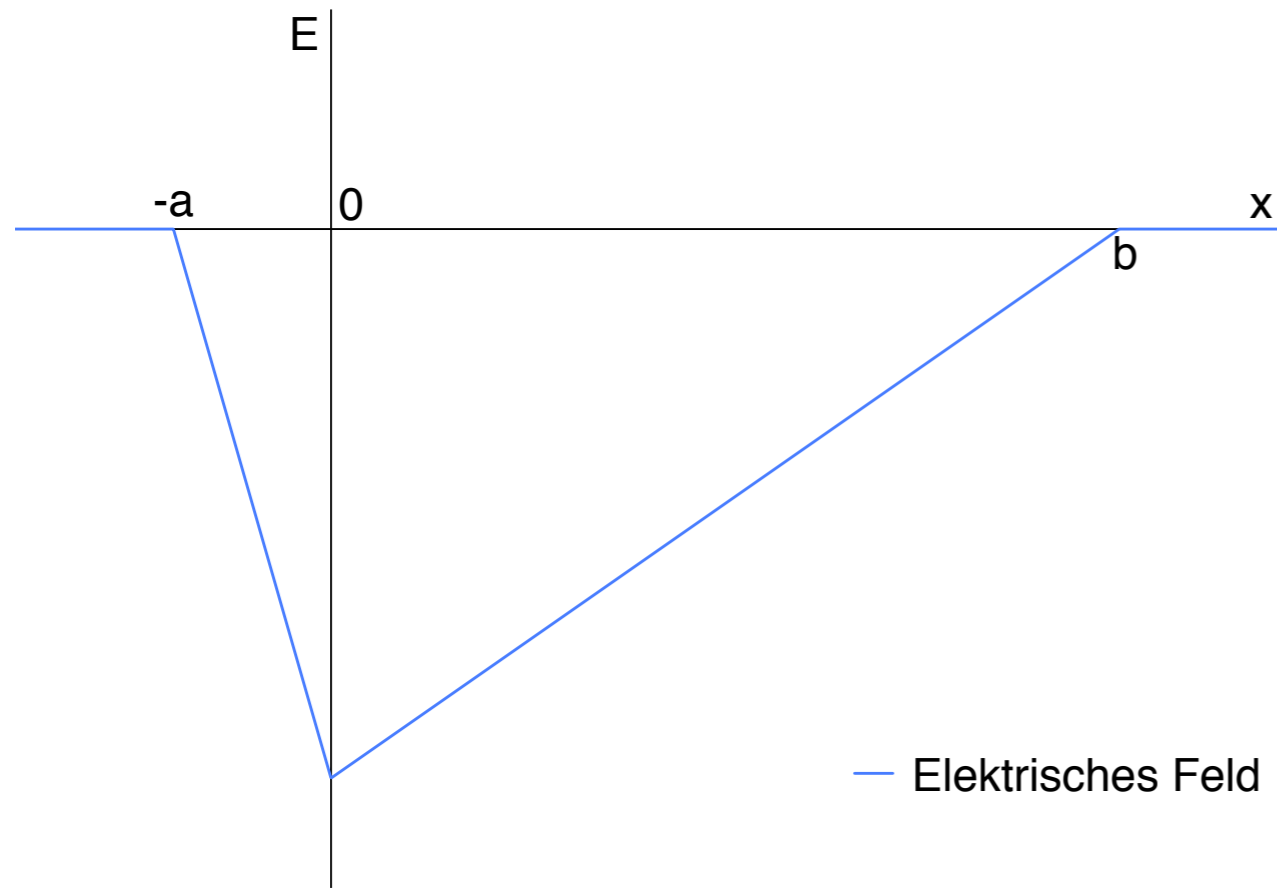
$$\nabla^2 \varphi = -\frac{\rho}{\epsilon}$$

$$\frac{d^2 \varphi}{dx^2} = \begin{cases} +\frac{eN_A}{\epsilon} & (-a < x \leq 0) \\ -\frac{eN_D}{\epsilon} & (0 \leq x < b) \end{cases}$$



$$\rho(x) = \begin{cases} -eN_A & (-a < x \leq 0) \\ eN_D & (0 \leq x < b) \end{cases}$$

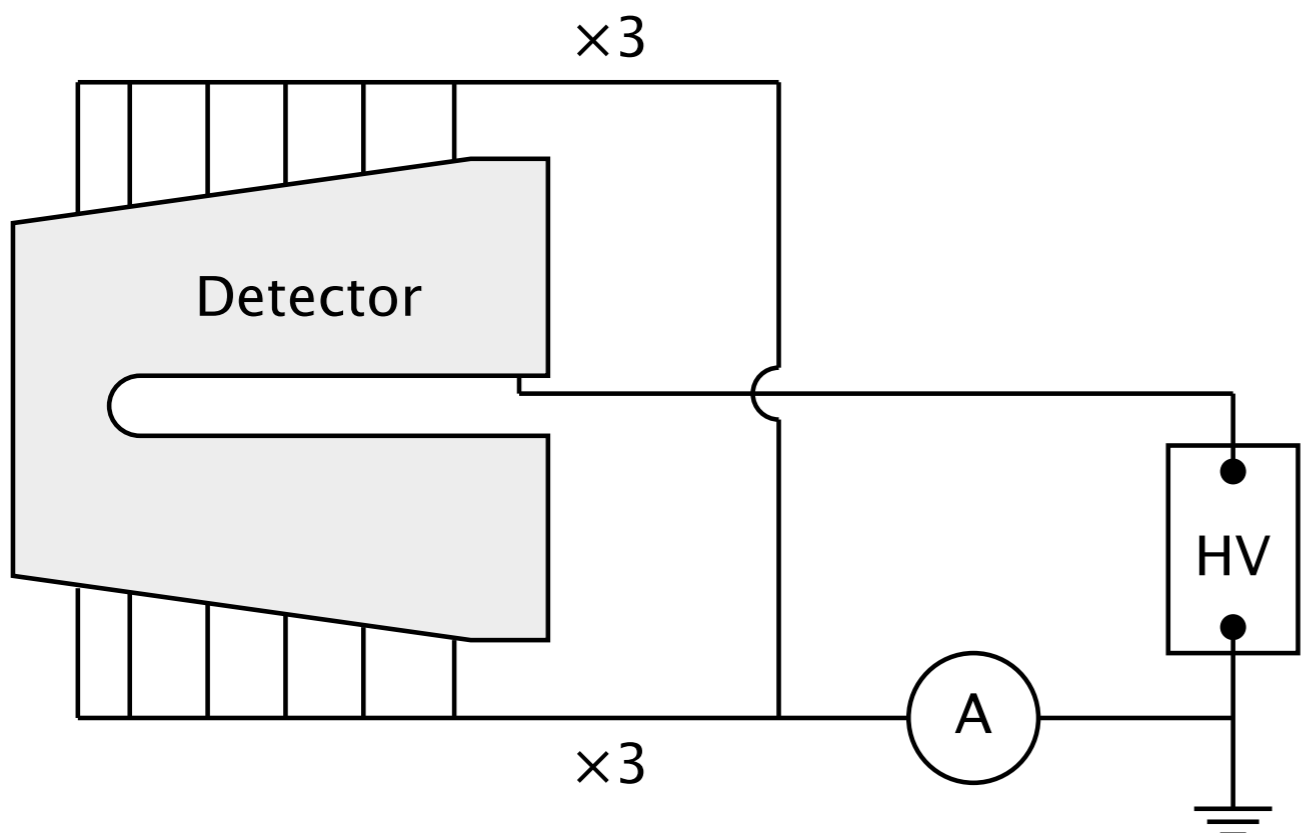
# pn-Übergang



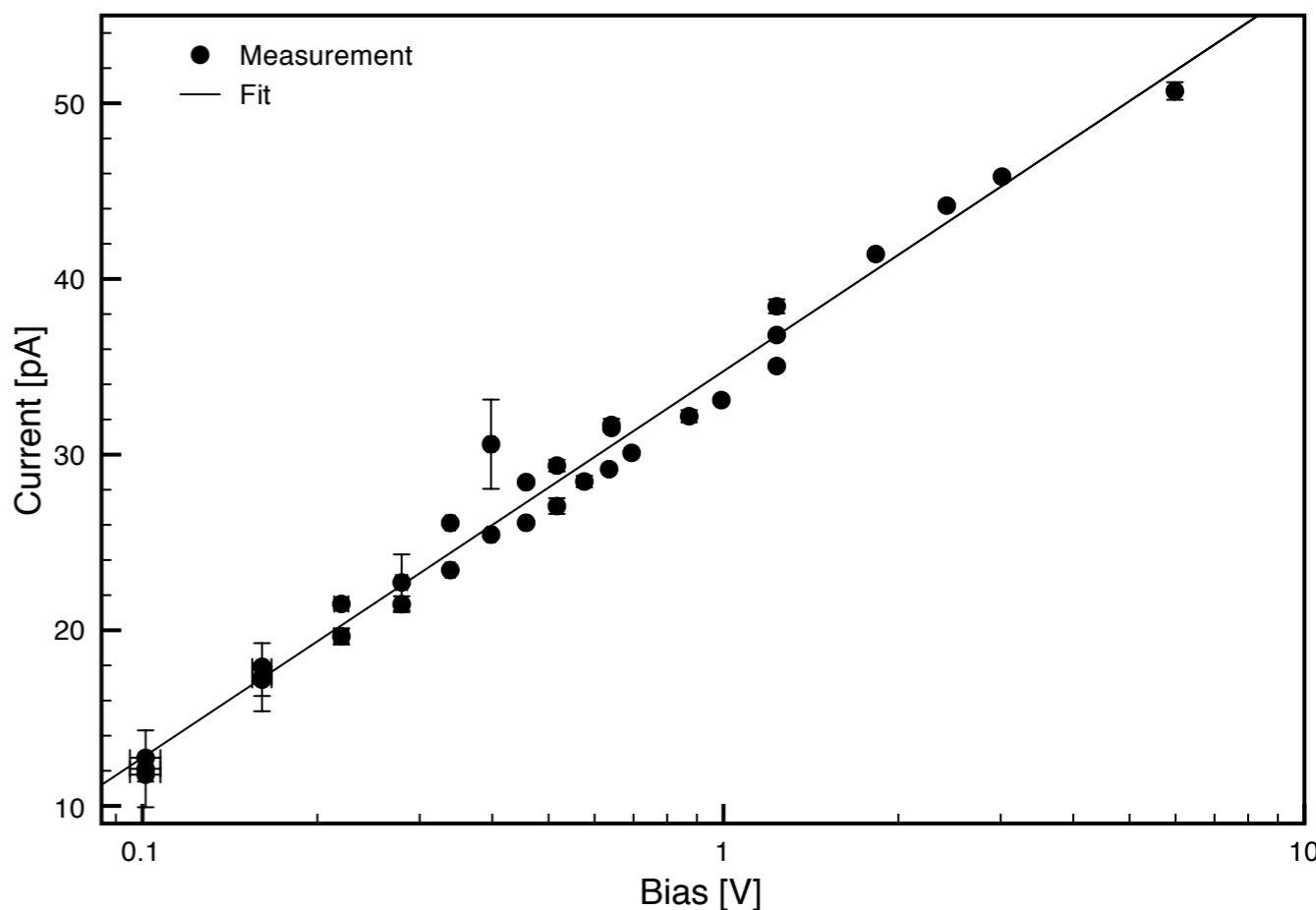
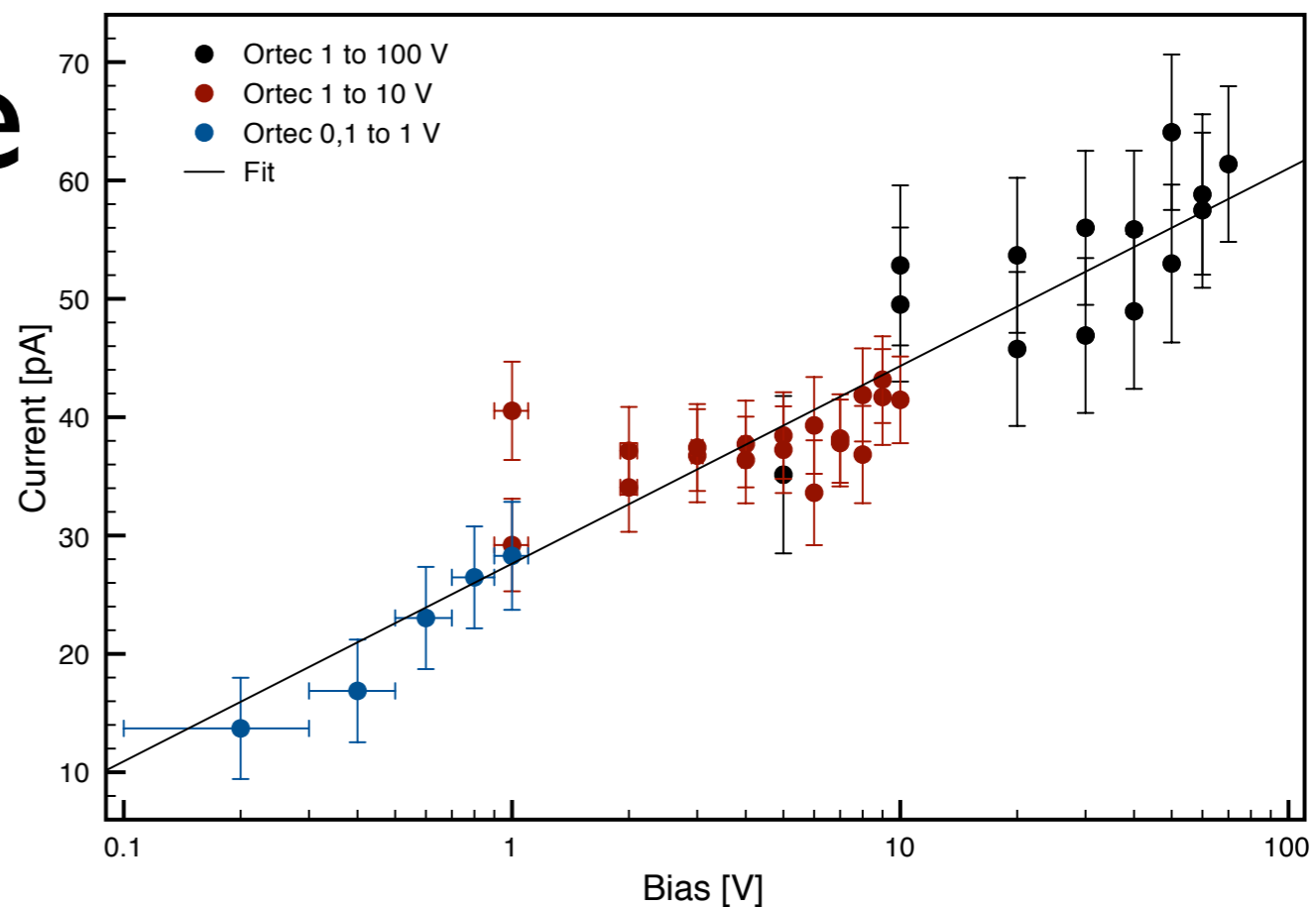
$$\frac{d\varphi}{dx} = \begin{cases} +\frac{eN_A}{\epsilon}(x+a) & (-a < x \leq 0) \\ -\frac{eN_D}{\epsilon}(x-b) & (0 \leq x < b) \end{cases} \quad \varphi(x) = \begin{cases} +\frac{eN_A}{2\epsilon}(x+a)^2 & (-a < x \leq 0) \\ -\frac{eN_D}{2\epsilon}(x-b)^2 + V & (0 \leq x < b) \end{cases}$$

# Characteristic curve

Detector S002  
in the symmetric  
triple cryostat

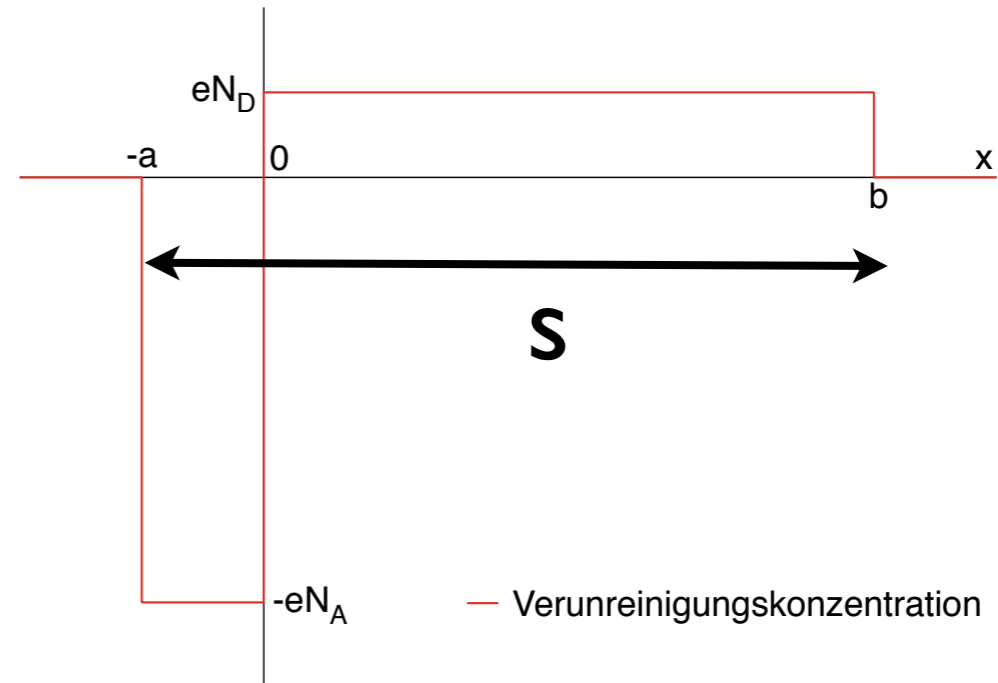
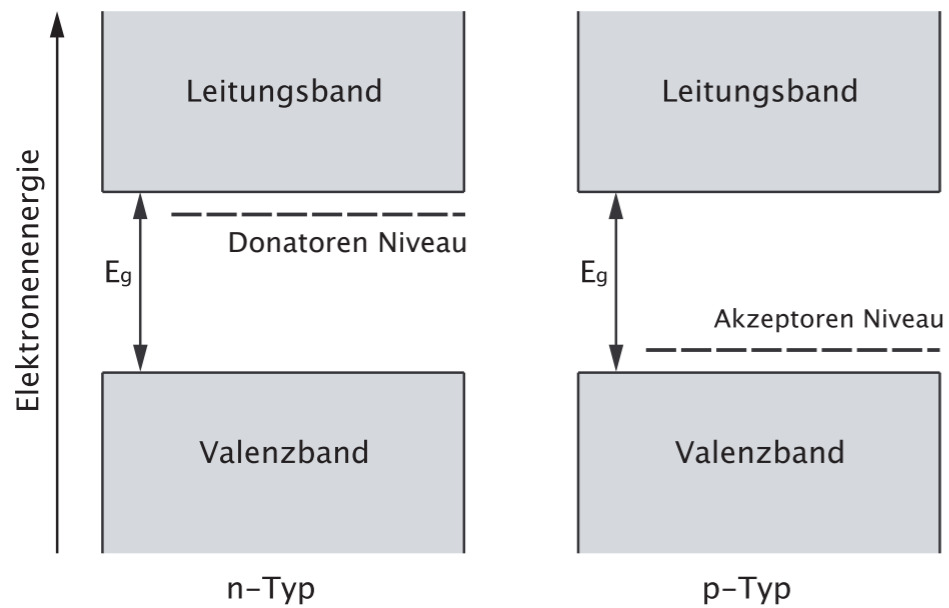


above 10 V:  $R_{\text{total}}^{\text{P}} > 200 \text{ G}\Omega$





# pn-Übergang und Verarmungszone



- Poissonsgleichung

$$\nabla^2 \varphi = -\frac{\rho}{\epsilon}$$

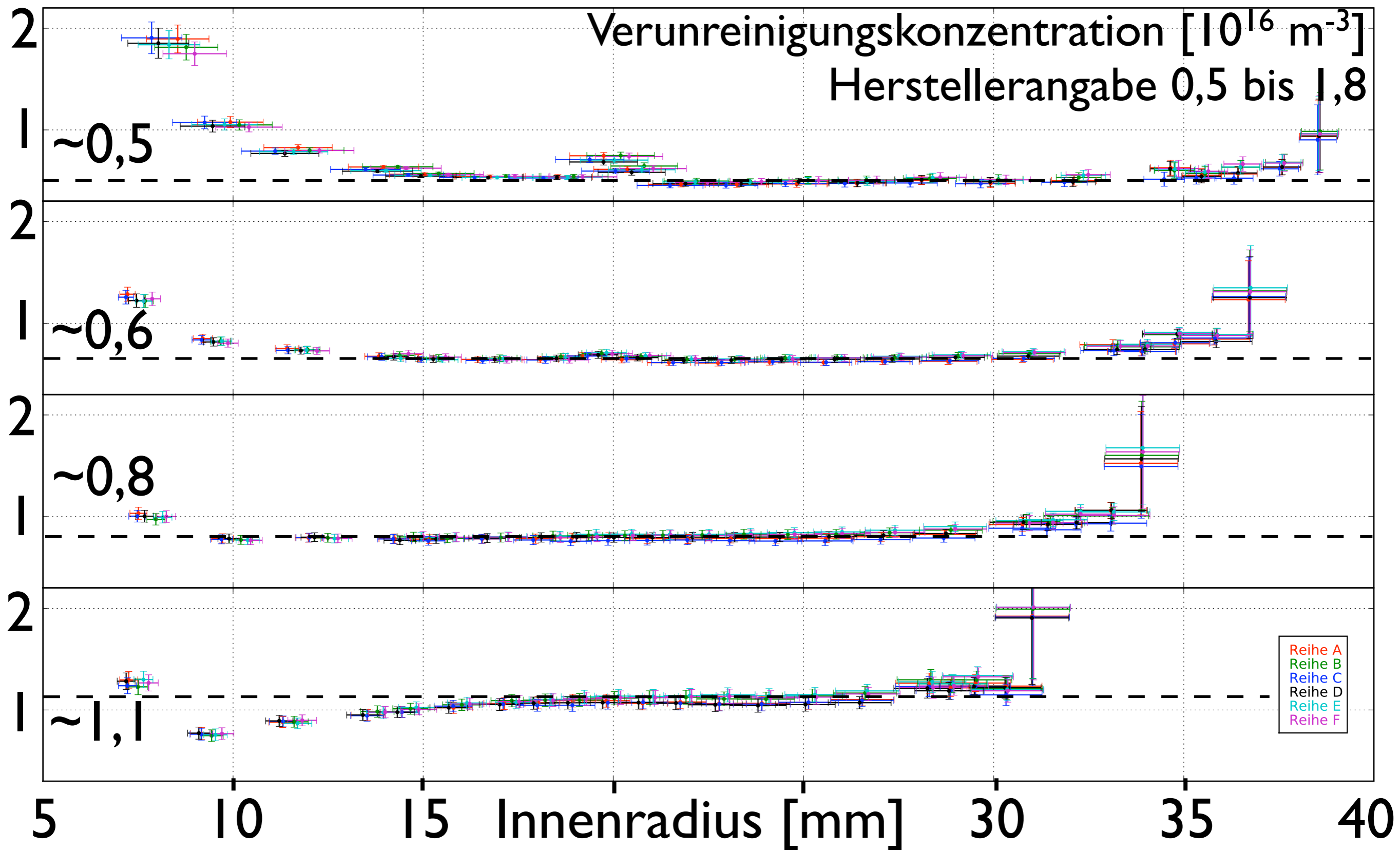
- Breite der Verarmungszone

$$s \approx \sqrt{\frac{2\epsilon V}{eN_D}}$$

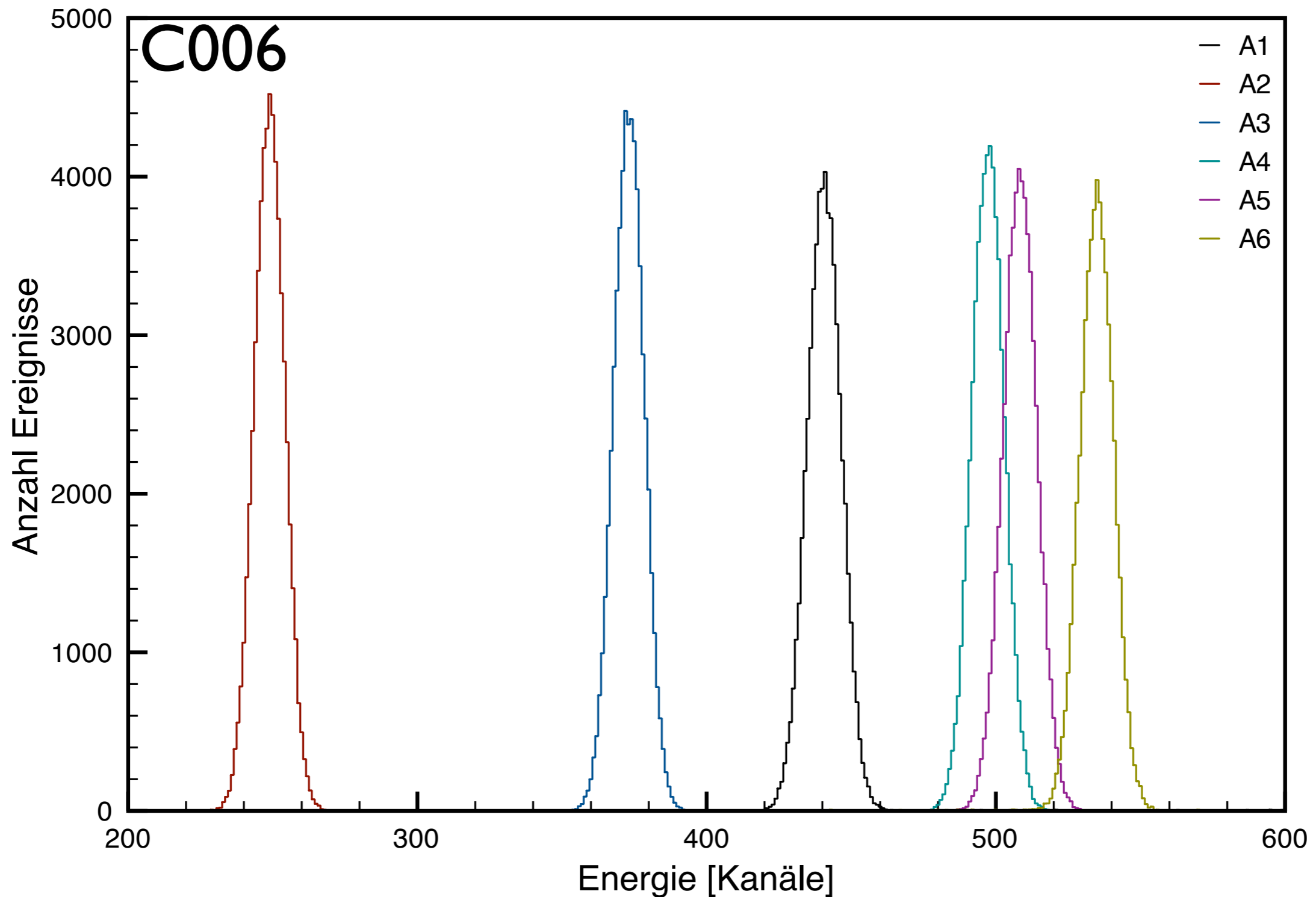
- Kapazität gegeben durch

$$C = \frac{\epsilon}{s} \approx \sqrt{\frac{e\epsilon N_D}{2V}}$$

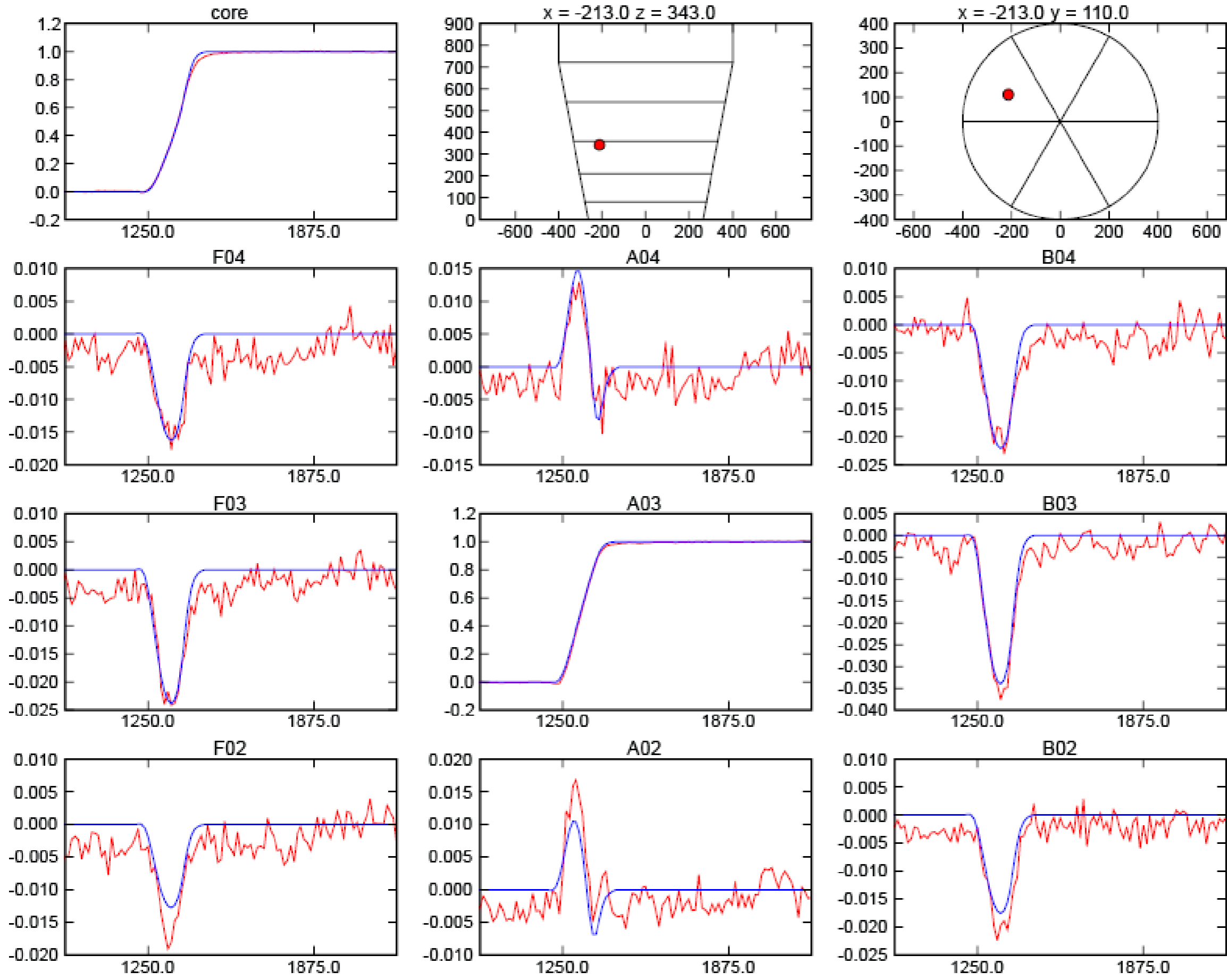
# Korrigierte Verunreinigungskonzentration



# Pulsermessung



# Positionsbestimmung mit Hilfe der Impulsform-Analyse



Simulierte Impulsformen ADL Köln

Gemittelte Impulsformen des Liverpool Scannings