

Das Innenelektrodensystem für das KATRIN-Hauptspektrometer

- Einführung: KATRIN-Experiment
- Status des Hauptspektrometers
- Design und Aufbau der Innenelektrode
- Zusammenfassung und Ausblick

Astroteilchenschule
Obertrubach / Bärnfels, 4. - 12. Oktober 2006

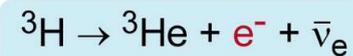
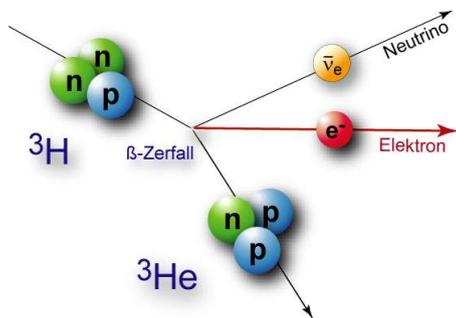
K. Valerius, A. Gebel, V. Hannen, K. Hugenberg, R. Jöhren, H.-W. Ortjohann,
M. Prall, M. Reinhardt, K. Temming, N. Titov, S. Vöcking, Ch. Weinheimer
Institut für Kernphysik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster



bmb+f - Förderschwerpunkt

Astroteilchenphysik

Großgeräte der physikalischen
Grundlagenforschung



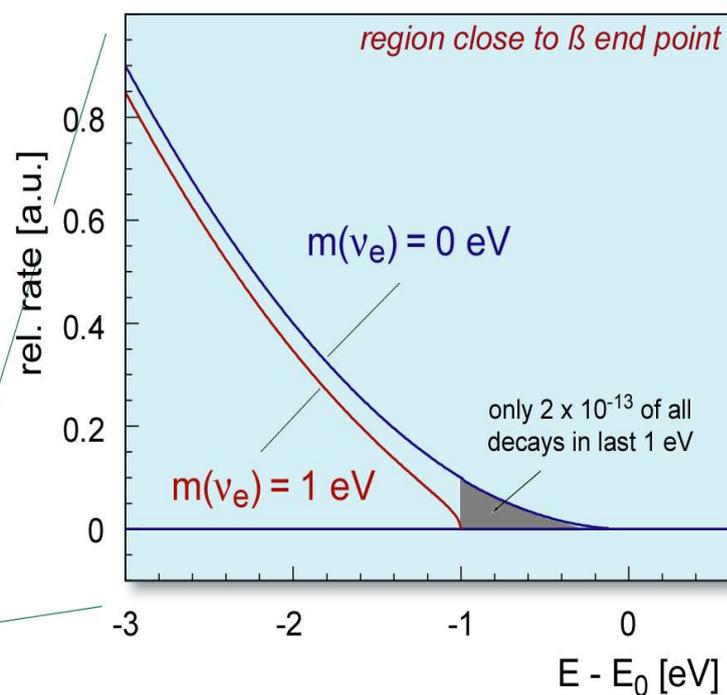
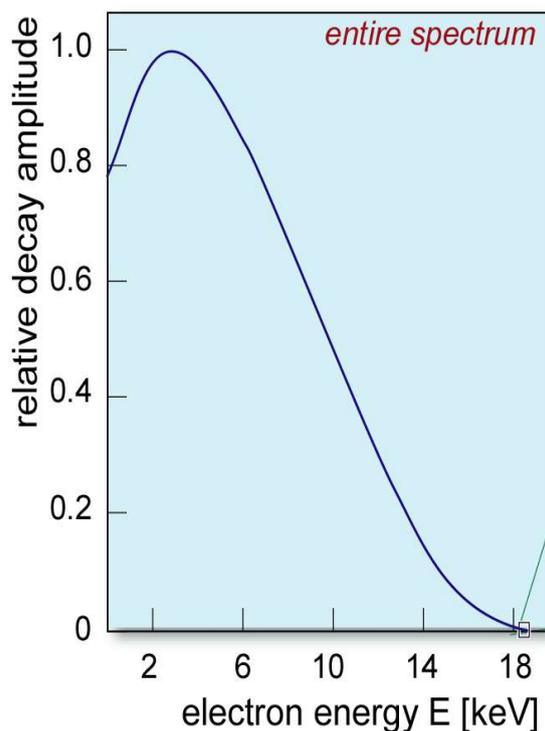
→ Vorlesung G. Drexlin

Tritium:

$$E_0 = 18,6 \text{ keV}$$

$$T_{1/2} = 12,3 \text{ a}$$

übererlaubter Zerfall



→ idealer Emittter für kinematische ν -Massenbestimmung

benötige

- hohe Energieauflösung
- hohe Luminosität
- geringen Untergrund

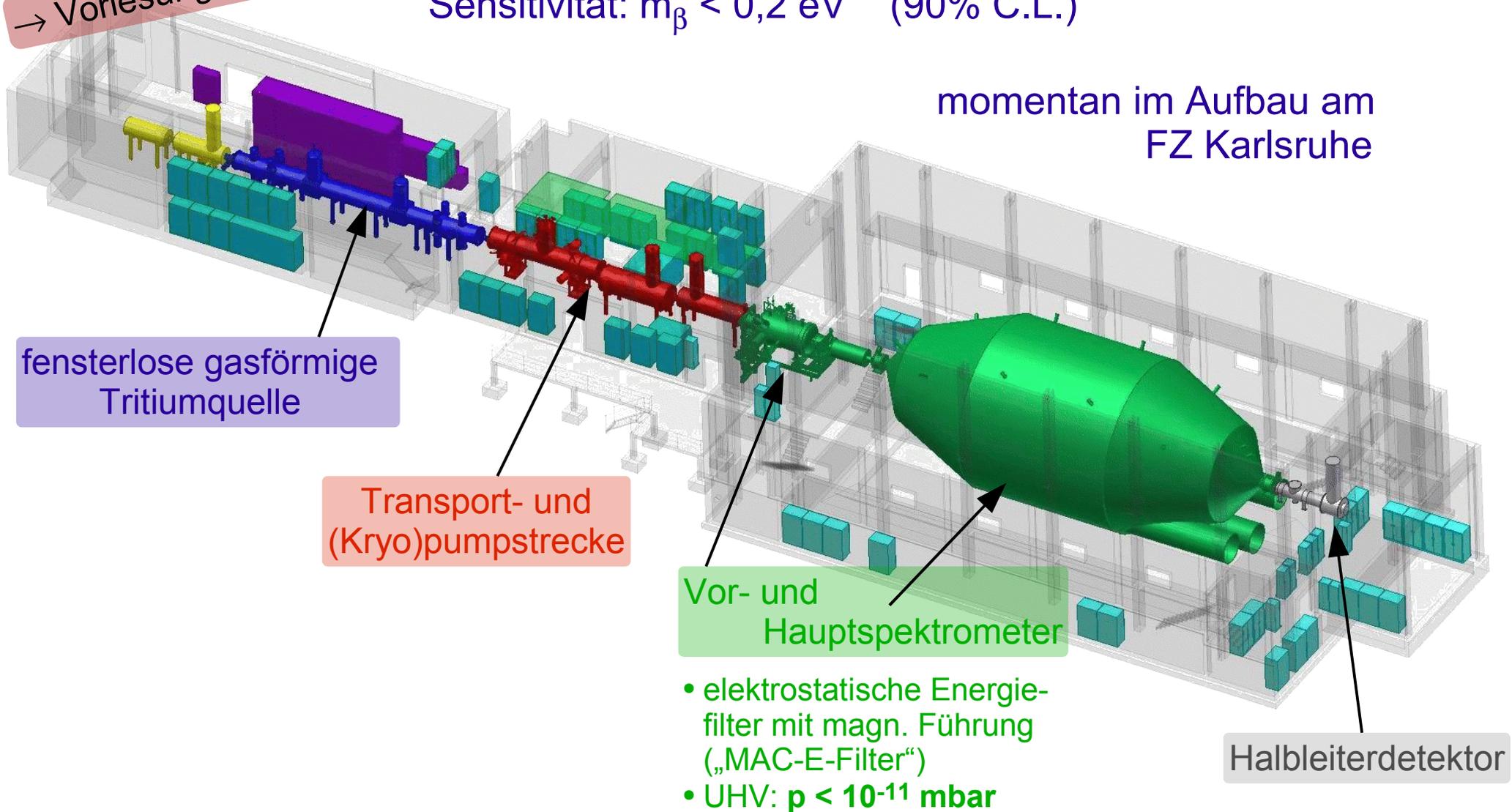
MAC-E-Filter !

Das KATRIN-Experiment

→ Vorlesung G. Drexlin

Ziel: Bestimmung der absoluten Neutrinomassenskala
Sensitivität: $m_{\beta} < 0,2 \text{ eV}$ (90% C.L.)

momentan im Aufbau am
FZ Karlsruhe



Designoptimierung mittels Computersimulationen:

(1) sehr gute Energieauflösung, gegeben durch Magnetfeldverhältnis:

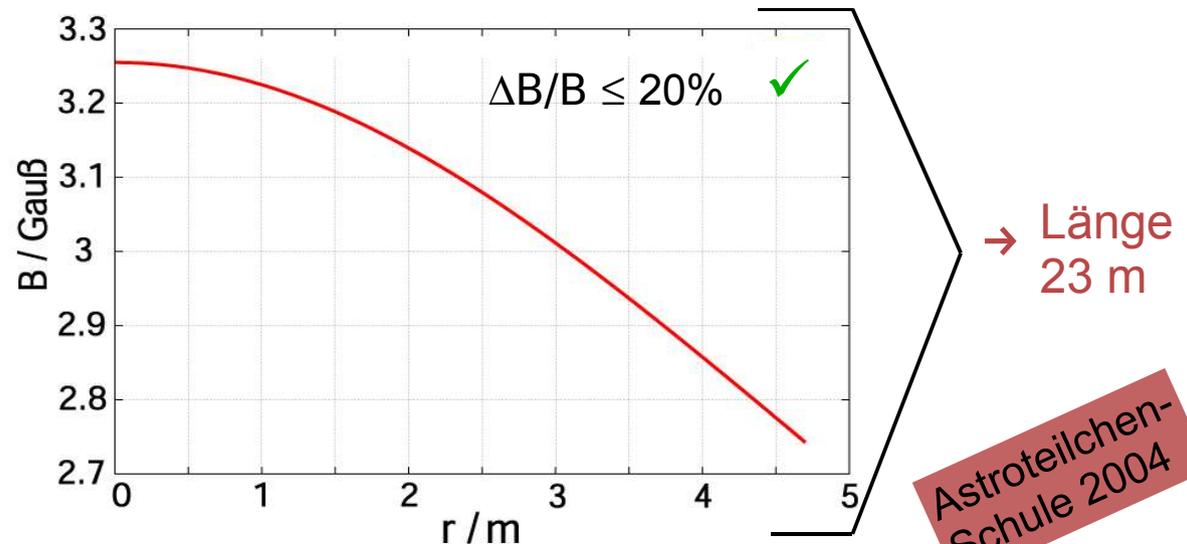
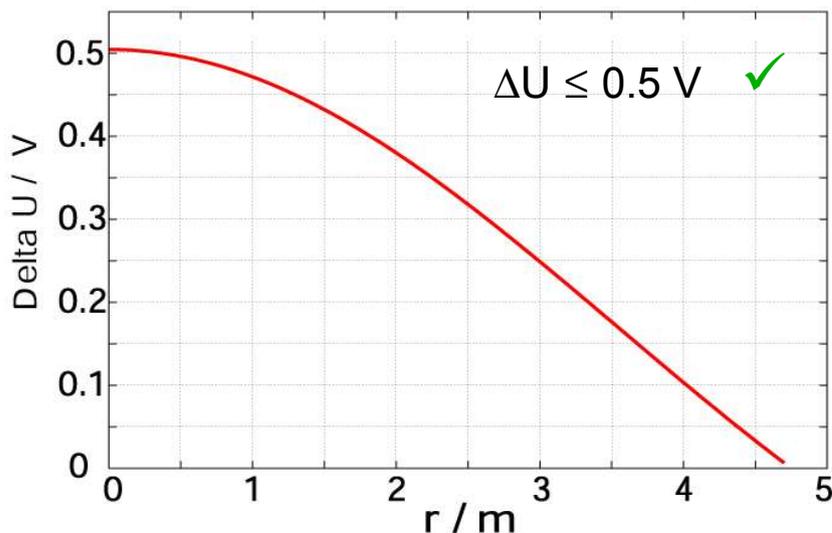
$$\frac{E}{\Delta E} = \frac{B_{max}}{B_{min}} = \frac{A_{analysing\ plane}}{A_{source,\ eff}} = 20000 \quad \rightarrow \text{Querschnittsfläche!}$$

(2) adiabatische Transformation $E_{\perp} \rightarrow E_{\parallel}$: konstantes $\mu = E_{\perp} / B$:

geringe Änderung $\Delta B/B$ über eine Zyklotronschrittlänge \rightarrow Spektrometerlänge!

(3) Transmissionseigenschaften \rightarrow Form, Feldgeometrie!

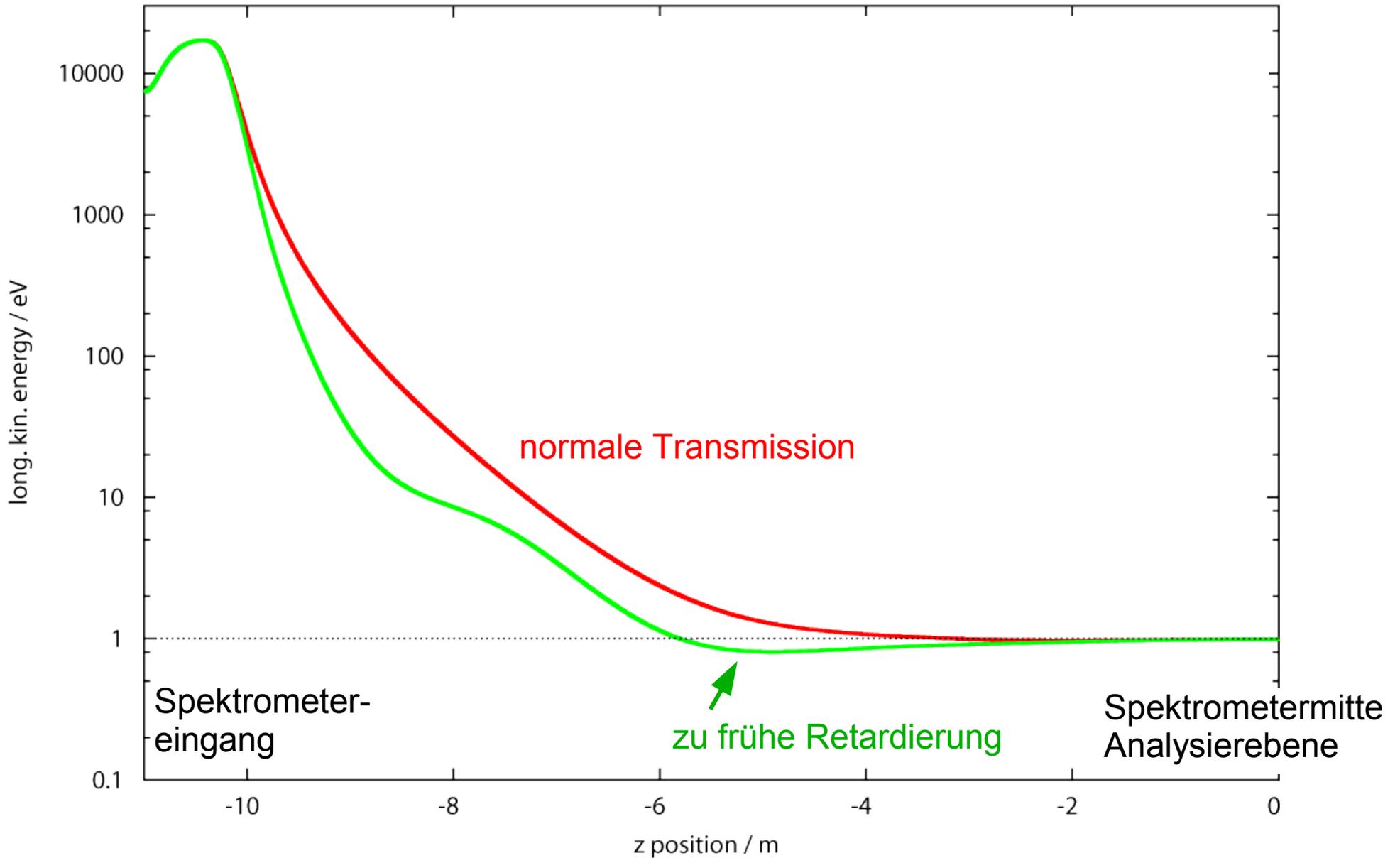
(4) Feldhomogenität in der Analysierebene:



Astroteilchen-
Schule 2004

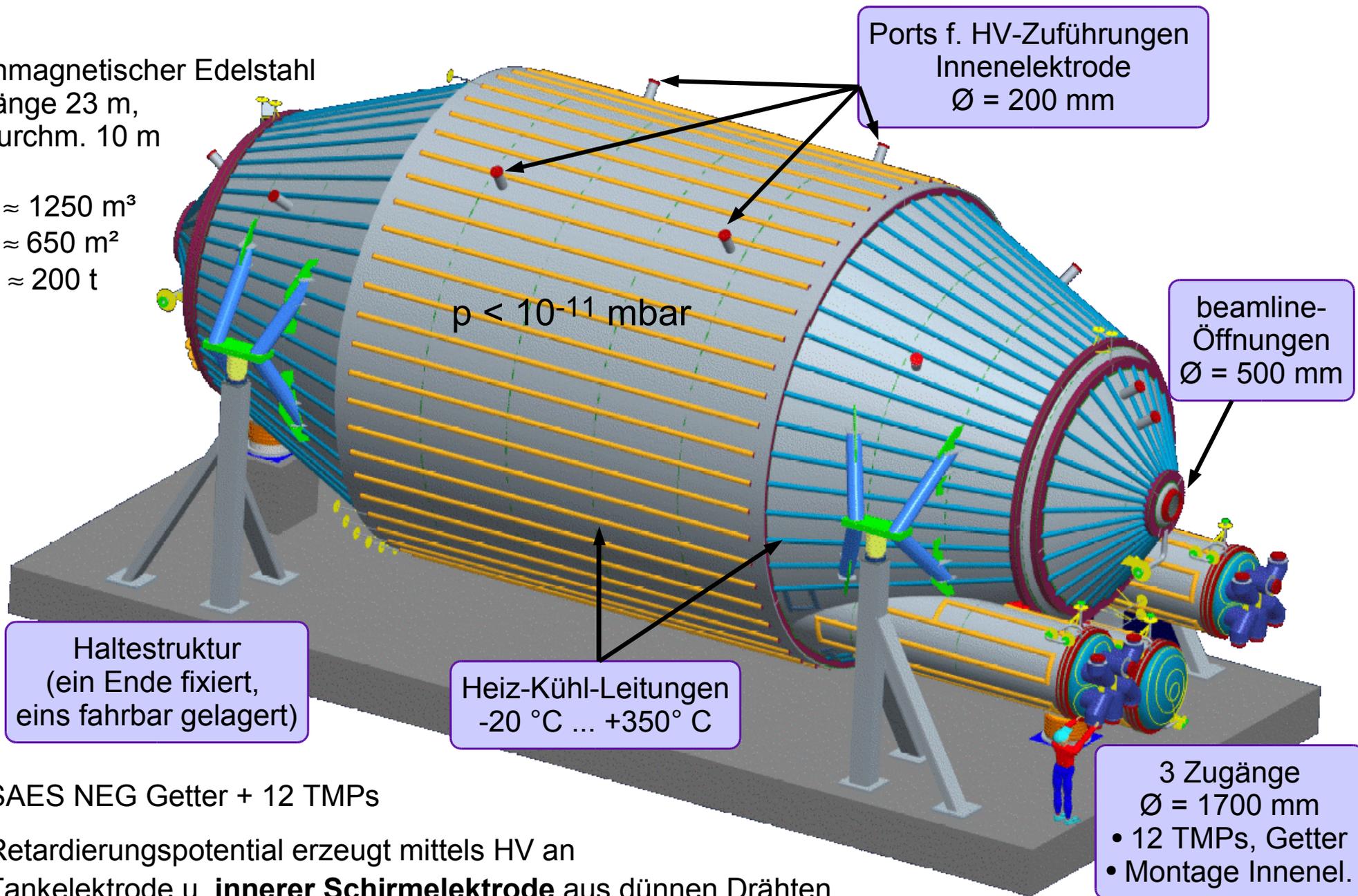
(5) Fallen für geladene Teilchen möglichst vermeiden! (Untergrundzählrate ...)

Zu (3) Transmissionseigenschaften



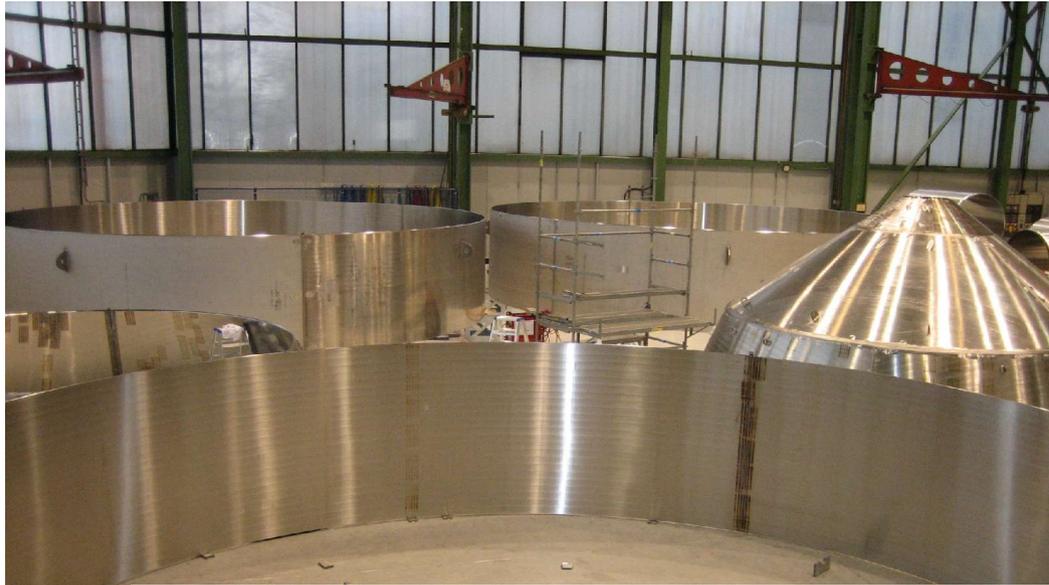
3D-Modell mit Heiz-Kühl-System

- unmagnetischer Edelstahl
- Länge 23 m, Durchm. 10 m
- $V \approx 1250 \text{ m}^3$
- $A \approx 650 \text{ m}^2$
- $m \approx 200 \text{ t}$



- SAES NEG Getter + 12 TMPs
- Retardierungspotential erzeugt mittels HV an
Tankelektrode u. **innerer Schirmelektrode** aus dünnen Drähten

Fertigung des Hauptspektrometers



Deggendorf



28.09.2006
Beginn der Reise nach Karlsruhe

Wozu eine Innenelektrode?

- ▶ Hauptuntergrund in MAC-E-Filtern:
Elektronen aus der Tankwand
(radioakt. Verunreinigungen, kosm. Strahlung)

magnetische Abschirmung:
nur etwa 10^{-6} - 10^{-5} der induzierten
Untergrundelektronen erreichen Flussschlauch

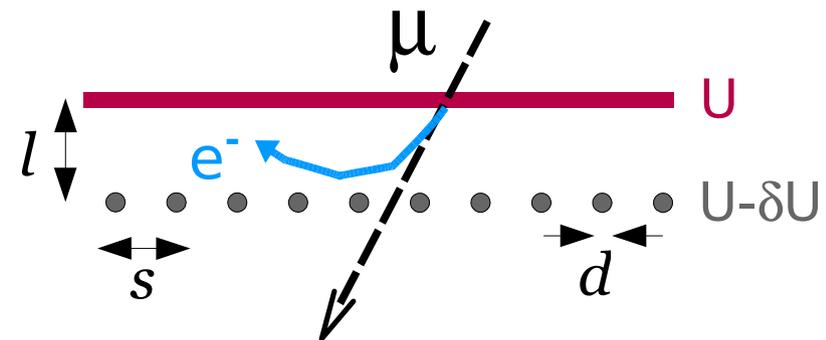
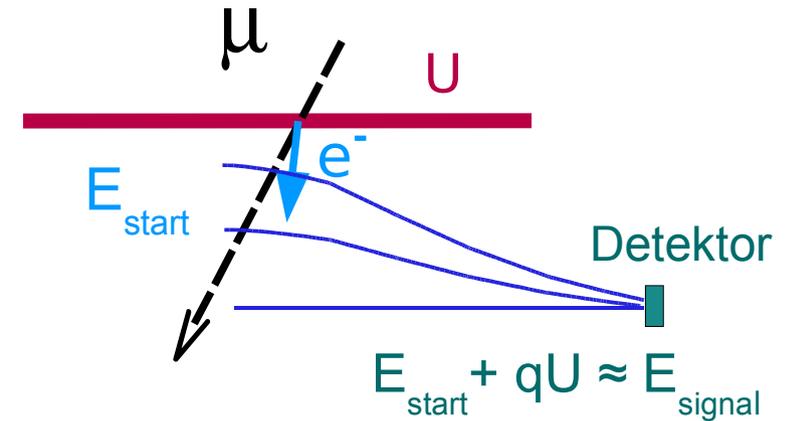
aber: riesige **Oberfläche** $\sim 650 \text{ m}^2$!!

→ ca. 10^5 Myonen / sec

→ **zusätzlich elektrost. Abschirmung:**

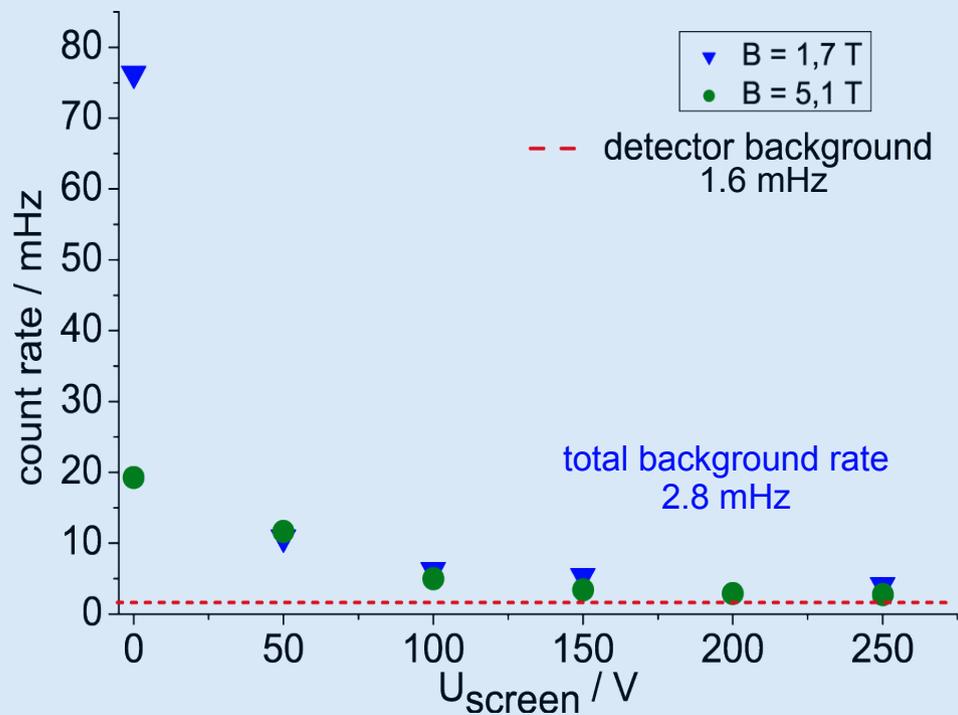
Untergrundreduktion durch
quasi-masselose **Schirmelektrode**
auf negativerem Potential

kleiner Drahtdurchmesser d



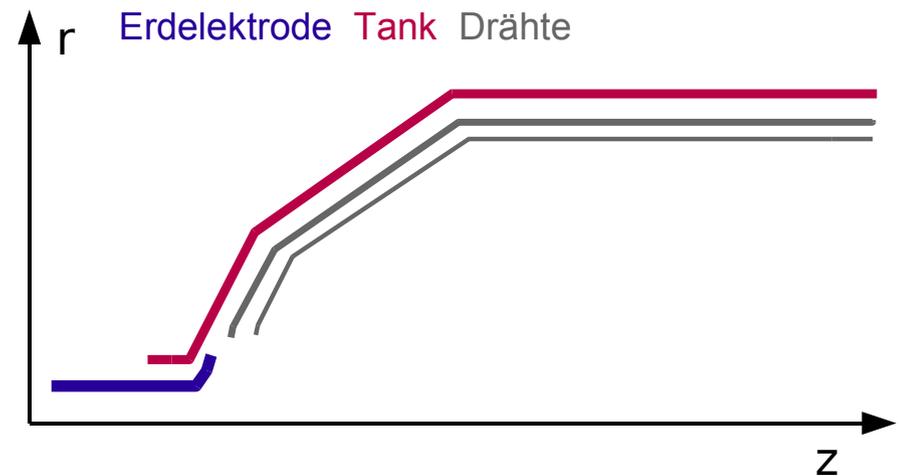
Wozu eine Innenelektrode?

Background suppression **successfully tested**
at the Mainz MAC-E filter:

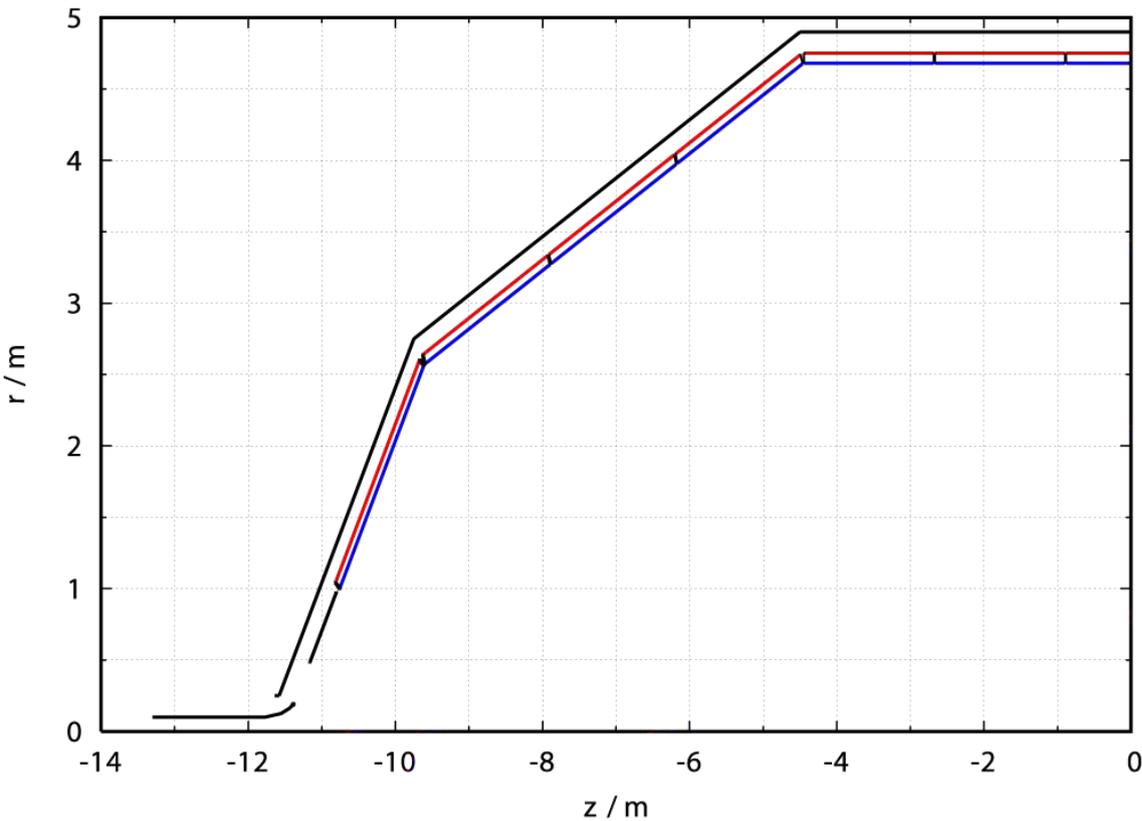


Dipl. thesis B. Ostrick (U Mainz, 2002),
PhD thesis B. Flatt (U Mainz, 2004)

- ▶ Entkopplung des Retardierungspotentials von elektron. Rauschen, **Feinformung**
 - ▶ Mögliche Leerung von **Teilchenfallen** durch kurze el. Dipol-Pulse:
genügend großer Drahtdurchmesser d
- ⇒ **Doppellagen-Drahtelektrode !**



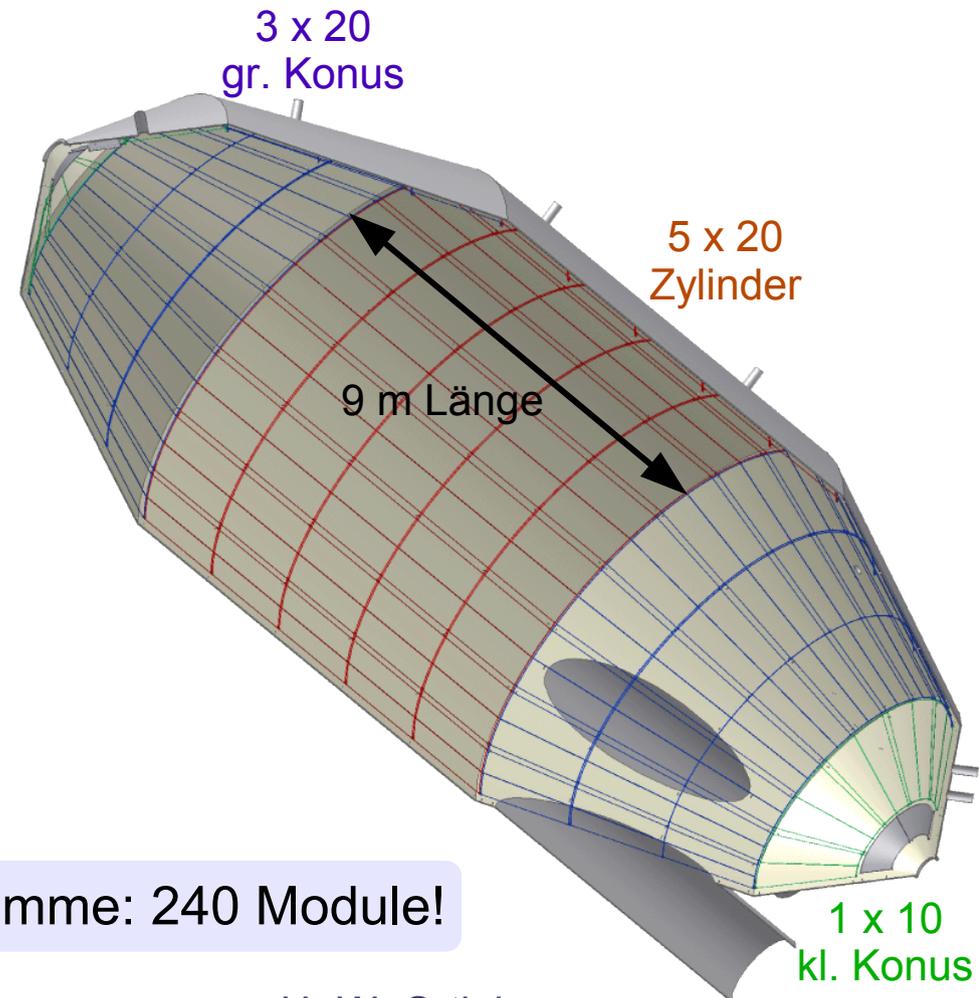
Aufteilung in Module



Tankelektrode: $U = -18,4 \text{ kV}$

1. Drahtlage: $U = -18,5 \text{ kV}$
 Abstand vom Tank: 15 cm
 Drahtdurchmesser: 0,3 mm

2. Drahtlage: $U = -18,6 \text{ kV}$
 Abstand vom Tank: (15 + 7) cm
 Drahtdurchmesser: 0,2 mm

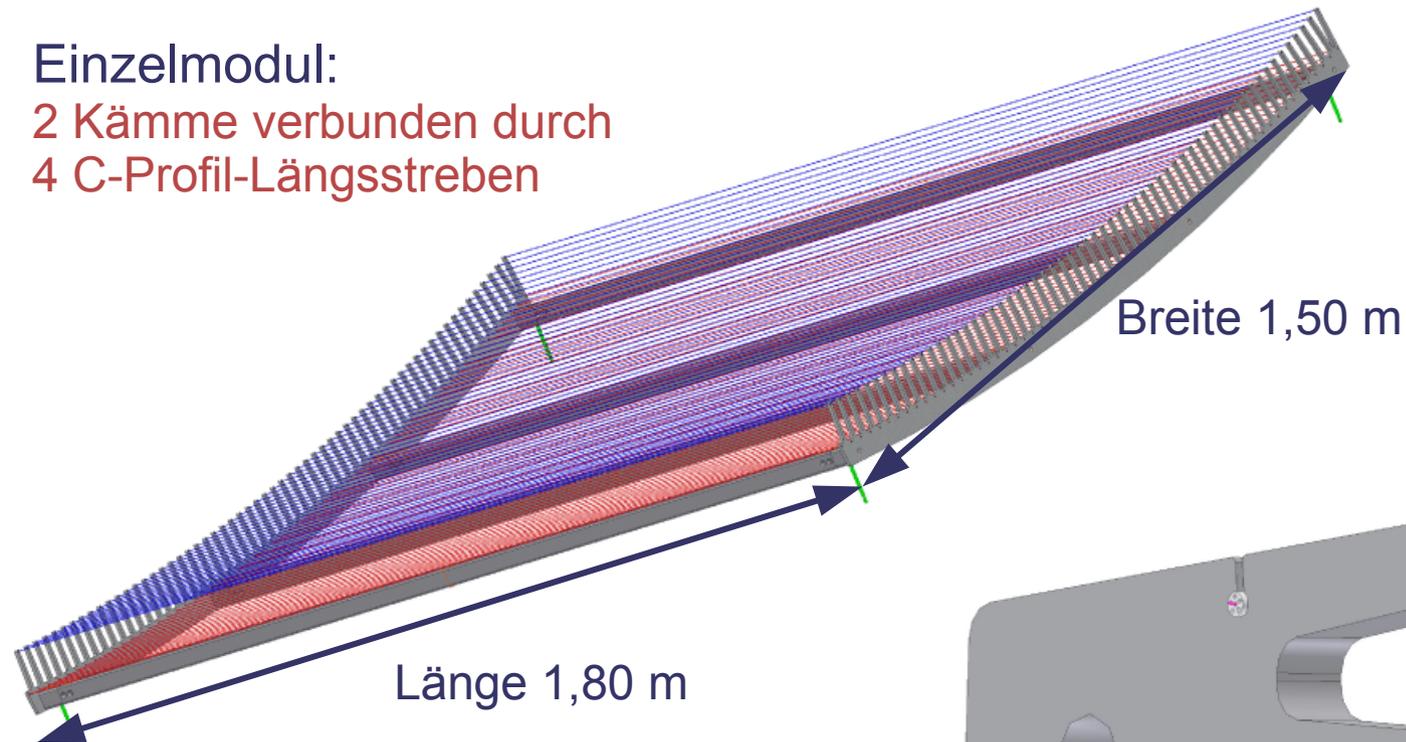


Summe: 240 Module!

H.-W. Ortjohann

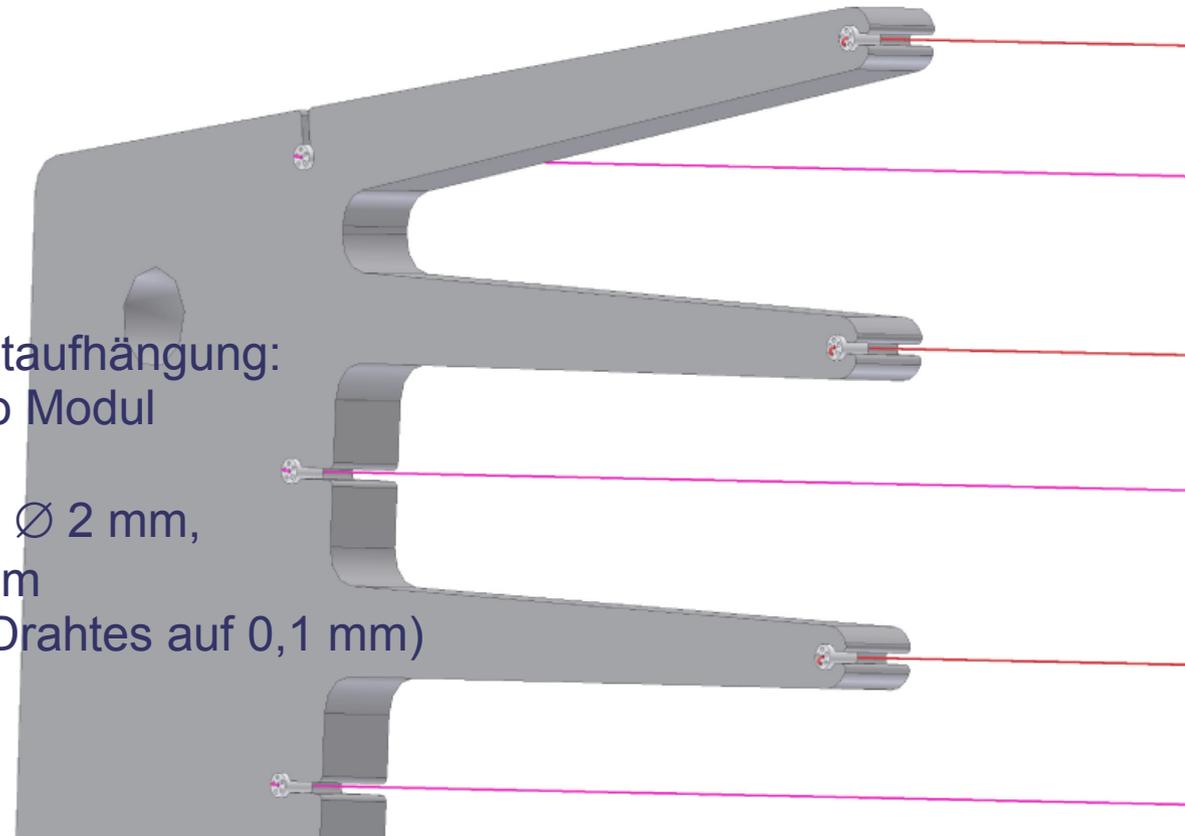
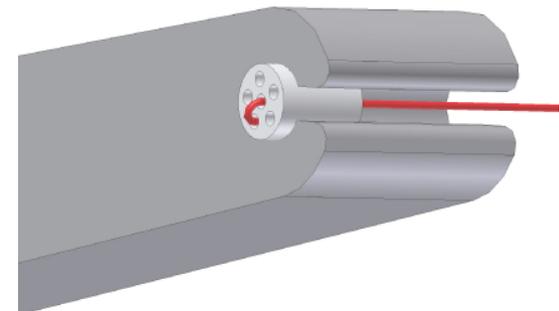
Einzelmodul:

2 Kämme verbunden durch
4 C-Profil-Längsstreben



„Edelstahl-Kamm“:
Herstellung durch
Wasserstrahl- oder
Laserschneiden

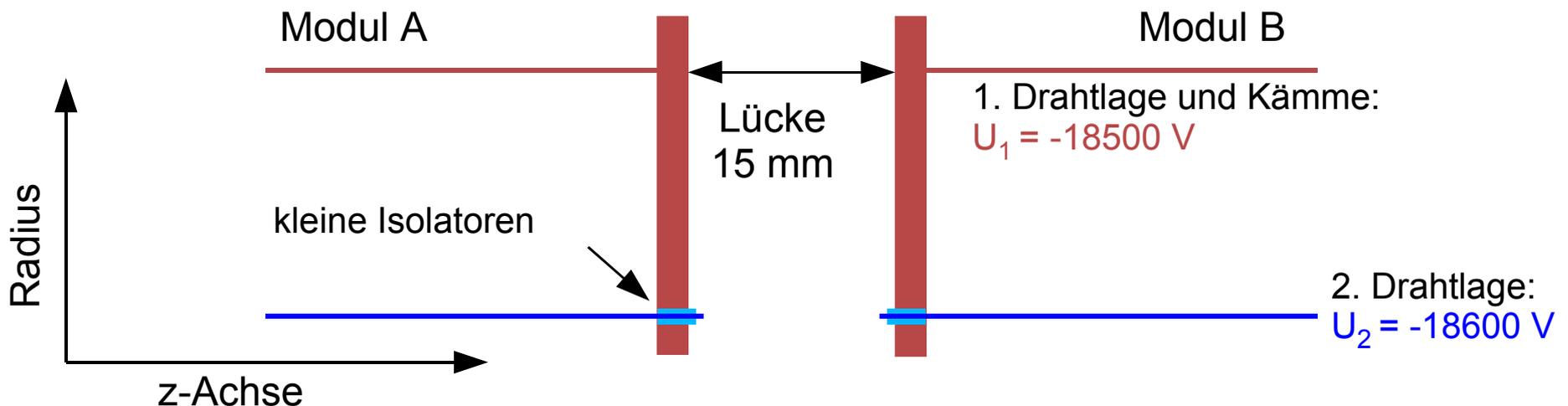
- Löcher für Drahtaufhängung:
2x60 Drähte pro Modul
- 6fach-Kapillare: \varnothing 2 mm,
Löcher \varnothing 0,4 mm
(Fixierung des Drahtes auf 0,1 mm)



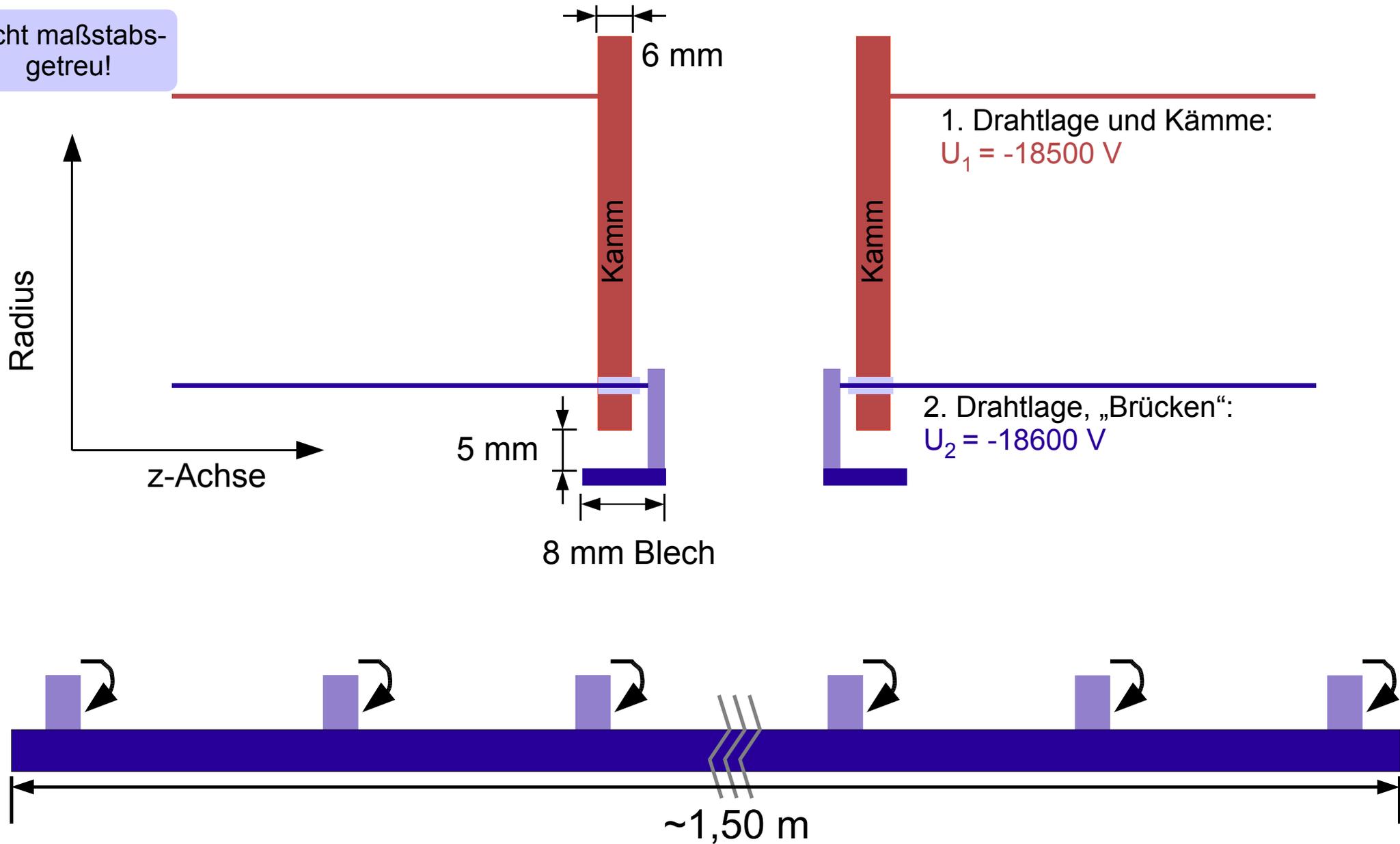
H.-W. Ortjohann

3 verschiedene Ursachen für Beeinträchtigung des el. Potentials:

- ◆ **axiale Stäbe** (C-Profile) auf **-18,5 kV**, 4 pro Modul:
→ *abgeschirmt* durch Drähte auf -18,6 kV
→ nur geringe Störung, ~ 2 mV im Flussschlauchinneren
- ◆ **Vollmetallkämme** auf **-18,5 kV**, Spitzen *nicht voll abgeschirmt* durch Drähte!
2 Kämme pro Modul
- ◆ **Lücken zwischen benachbarten Modulen** in axialer (z-) Richtung

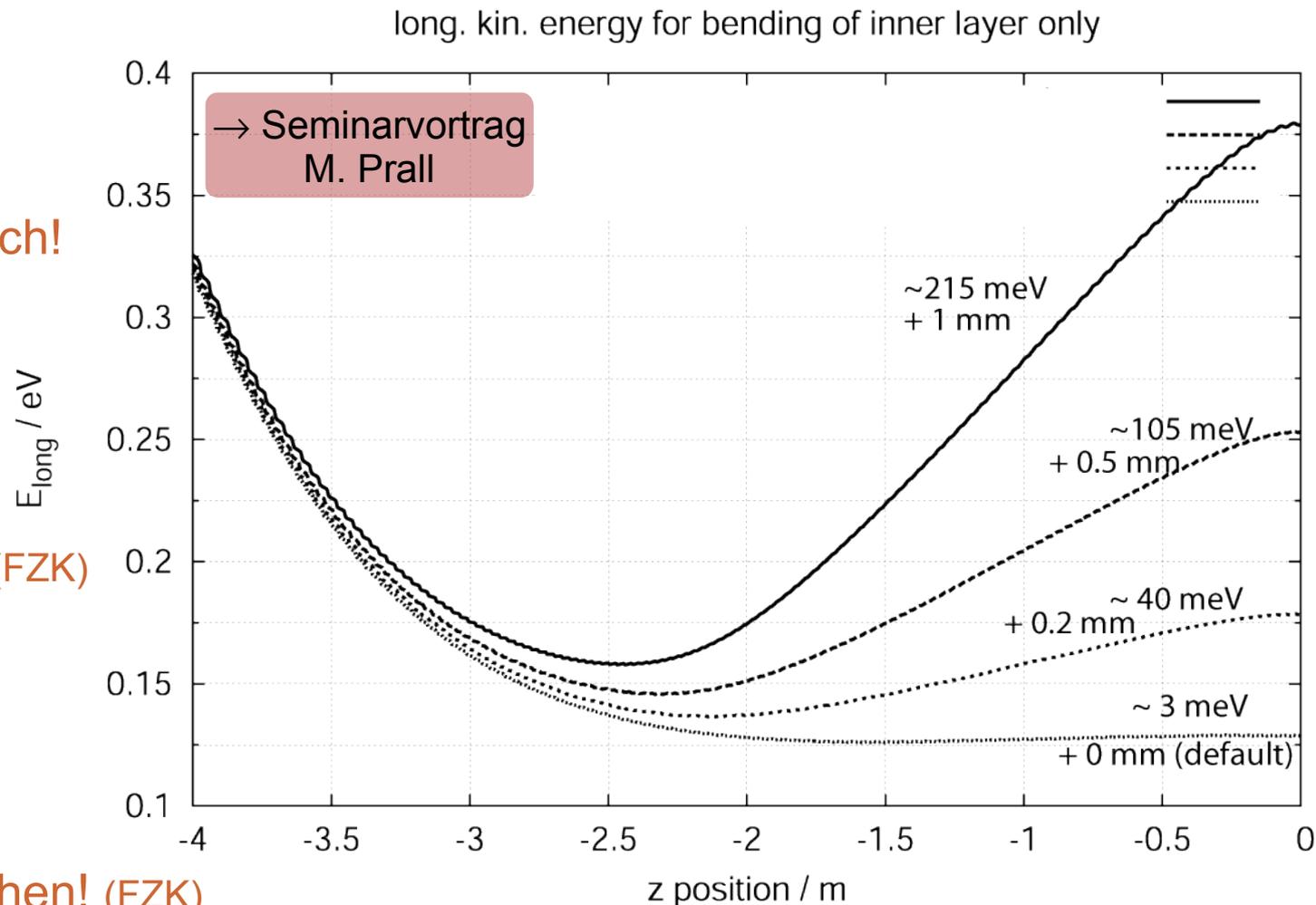


nicht maßstabs-
getreu!



Computersimulationen: *Was passiert, wenn ...*

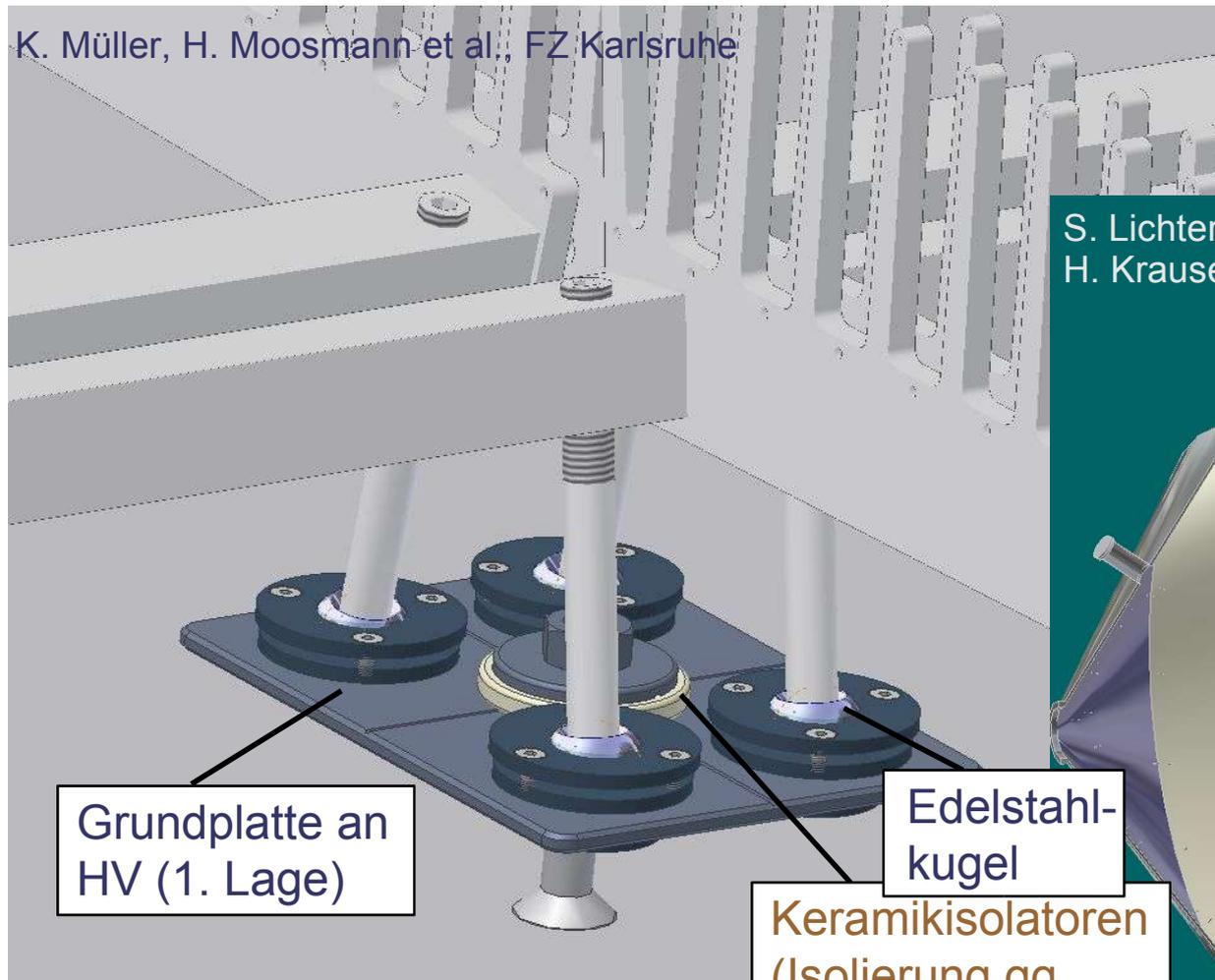
- ... die Drähte innerhalb eines Moduls unter ihrem Eigengewicht durchhängen?
→ Durchbiegung < 0.2 mm auf 1,80 m Drahtlänge erlaubt!
- ... die Drähte innerhalb eines Moduls fehlpositioniert sind?
→ strenge QA erforderlich!
- ... Haltepunkte der Module falsch positioniert werden?
→ Toleranzausgleich durch Montagesystem! (FZK)
- ... der Tank baubedingt von der „Idealform“ abweicht?
→ Halterung muss Abweichungen ausgleichen! (FZK)



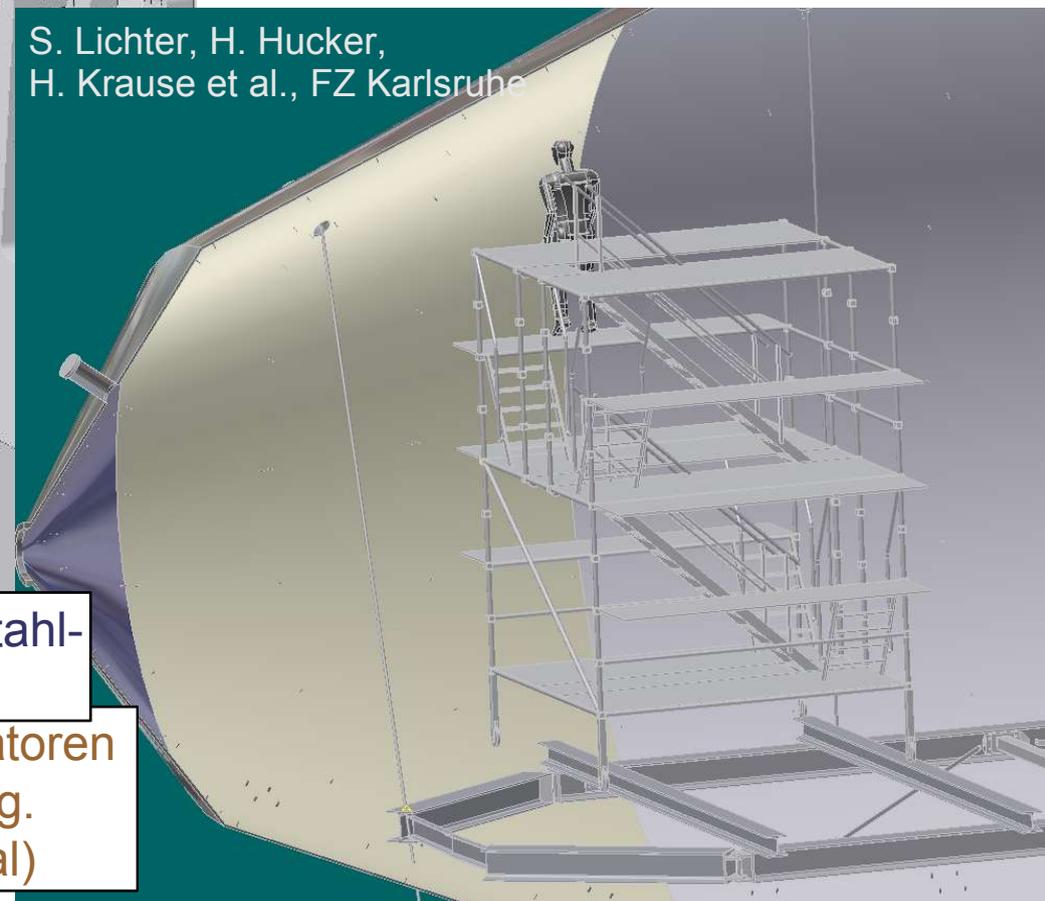
- Erste Komponenten von KATRIN bereits vor Ort am FZK: Vorspektrometer → Vakuum- und EMD-Tests
- Ankunft des Hauptspektrometers am FZK: Ende 2006, anschließend umfangreiches Testprogramm
- Innenelektrodendesign:
Zylinder-Module → finetuning, Konus-Module → Entwurf!
- Realistischere Simulationen mit Haltestrukturen
→ Potentialstörungen untersuchen & kompensieren
- Modul-Waschmaschine, Vakuumteststand im Aufbau
- Automatisierte Messmaschine
- Massenfertigung der Module in Münster,
Transport nach Karlsruhe und Einbau bis Ende 2007

Montage der Module

- Halterung für jeweils 4 aneinandergrenzende Module auf einer Grundplatte
- Grundplatten mit M10-Bolzen am Tank befestigt

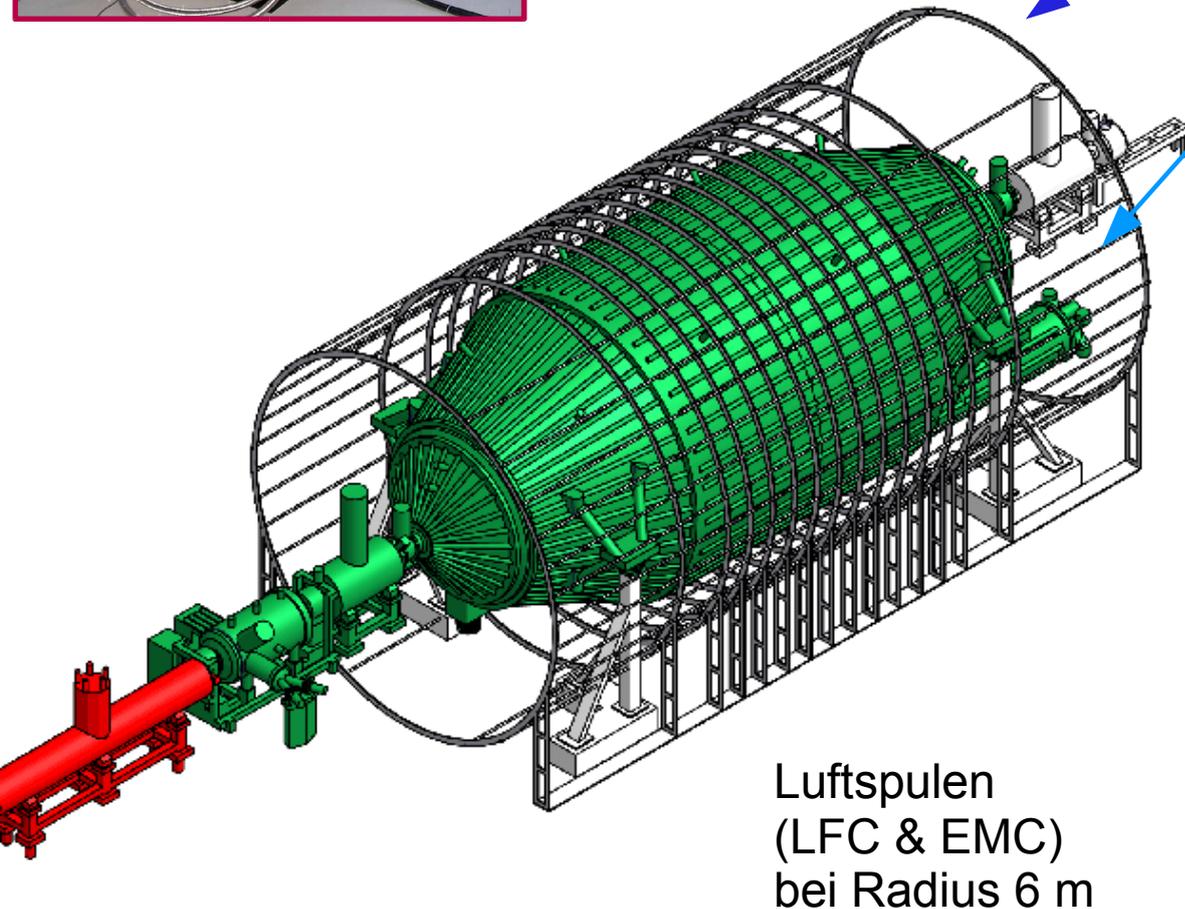
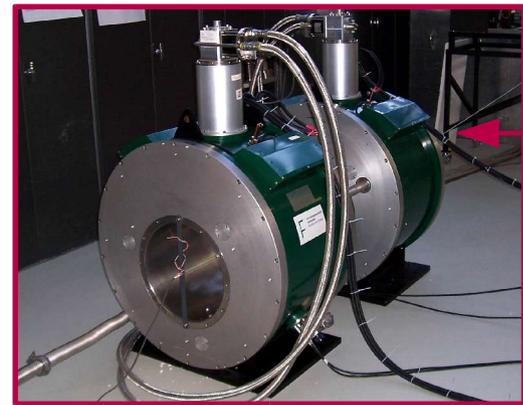


Sukzessive Montage der Module im Tank mit mobilem Gerüst

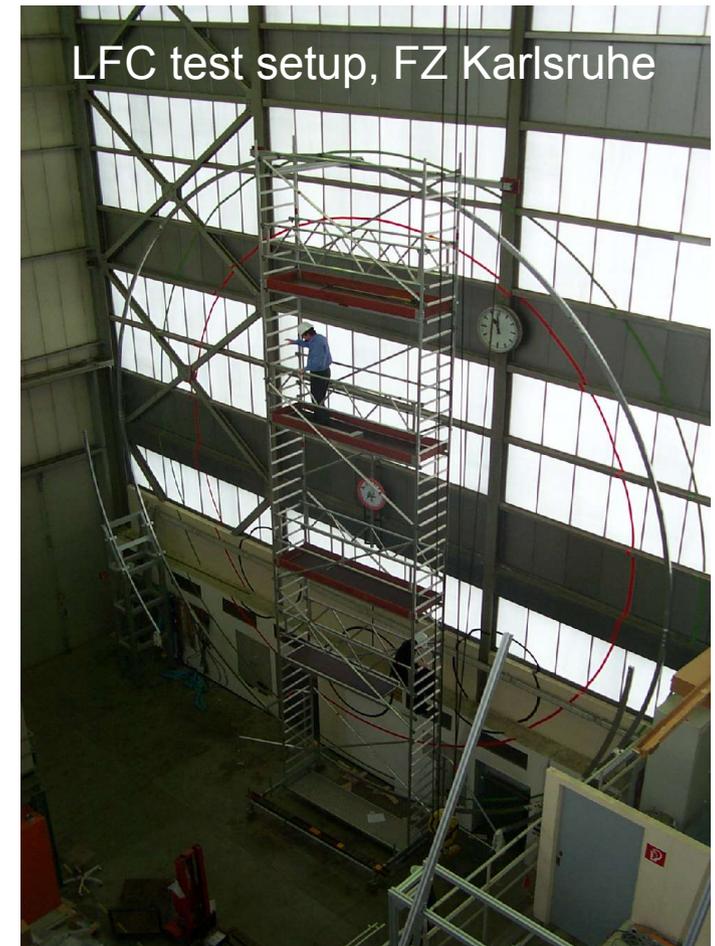


Magnetfeldkonfiguration

- 1) supraleitende Solenoiden am Ein- und Ausgang, $B = 3.5 \text{ T}$
(Foto: Vorspektromettermagnete)
- 2) low-field Korrekturspulen (LFC, radiale Homogenität)
- 3) Kompensation Erdmagnetfeld (EMC, axial, $\cos\theta$ -Anordnung)
2 Sätze für horiz. und vert. Korrektur



Luftspulen
(LFC & EMC)
bei Radius 6 m

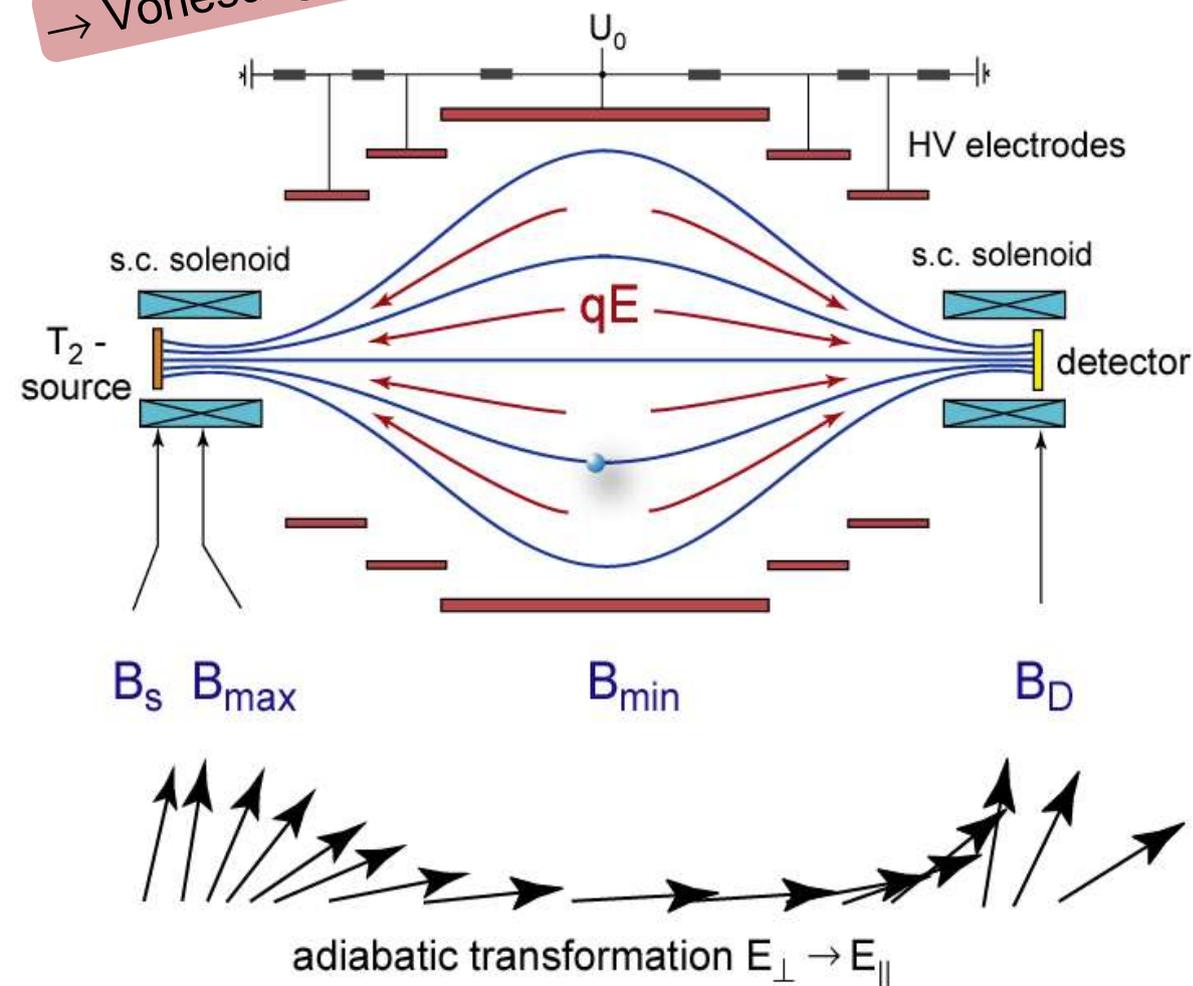


LFC test setup, FZ Karlsruhe

Magnetic Adiabatic Collimation with Electrostatic Filter

→ Vorlesung G. Drexlin

A. Picard et al., Nucl. Instr. Meth. B 63 (1992)



- stark inhomogenes magnetisches Führungsfeld:
→ Gradientenkraft:
Transformation $E_{\perp} \rightarrow E_{\parallel}$
da $\mu = E_{\perp} / B = const.$
- Elektronenimpuls \parallel Magnetfeld
→ elektrost. Retardierungsfeld zur Analyse von E_{\parallel}

- hohe Energieauflösung
 $\Delta E = E \cdot B_{min} / B_{max} \approx 1 \text{ eV}$
- magn. adiab. Kollimation
→ große Raumwinkelakzeptanz
- integrierender Filter (Hochpass), scharfe Transmissionsfunktion ohne Ausläufer