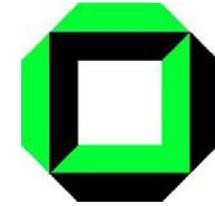




# Das KATRIN Experiment



**bmb+f** - Förderschwerpunkt

Astroteilchenphysik

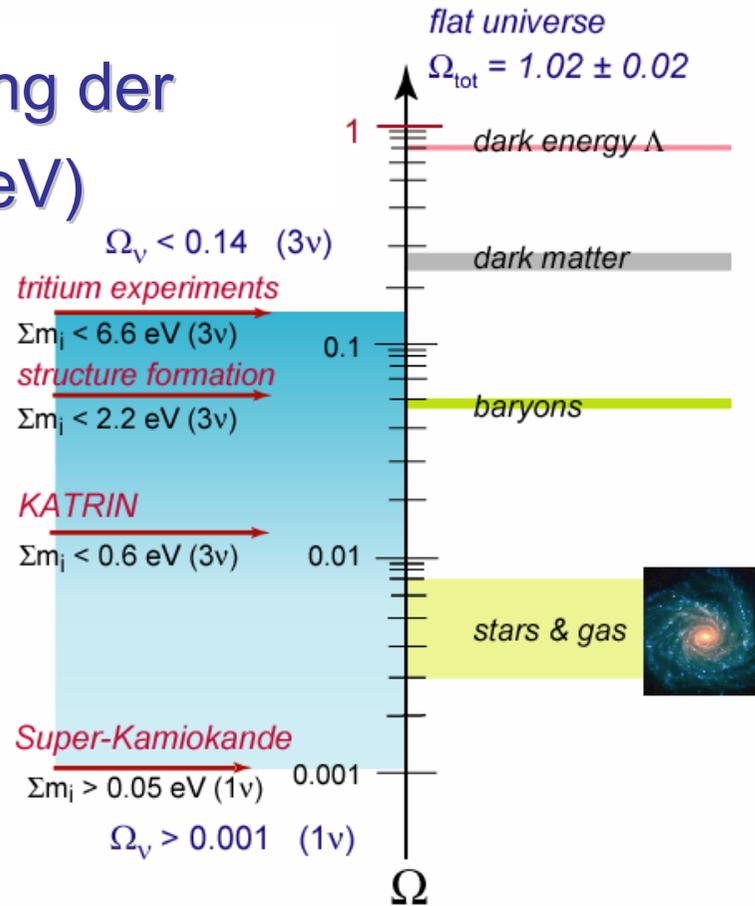
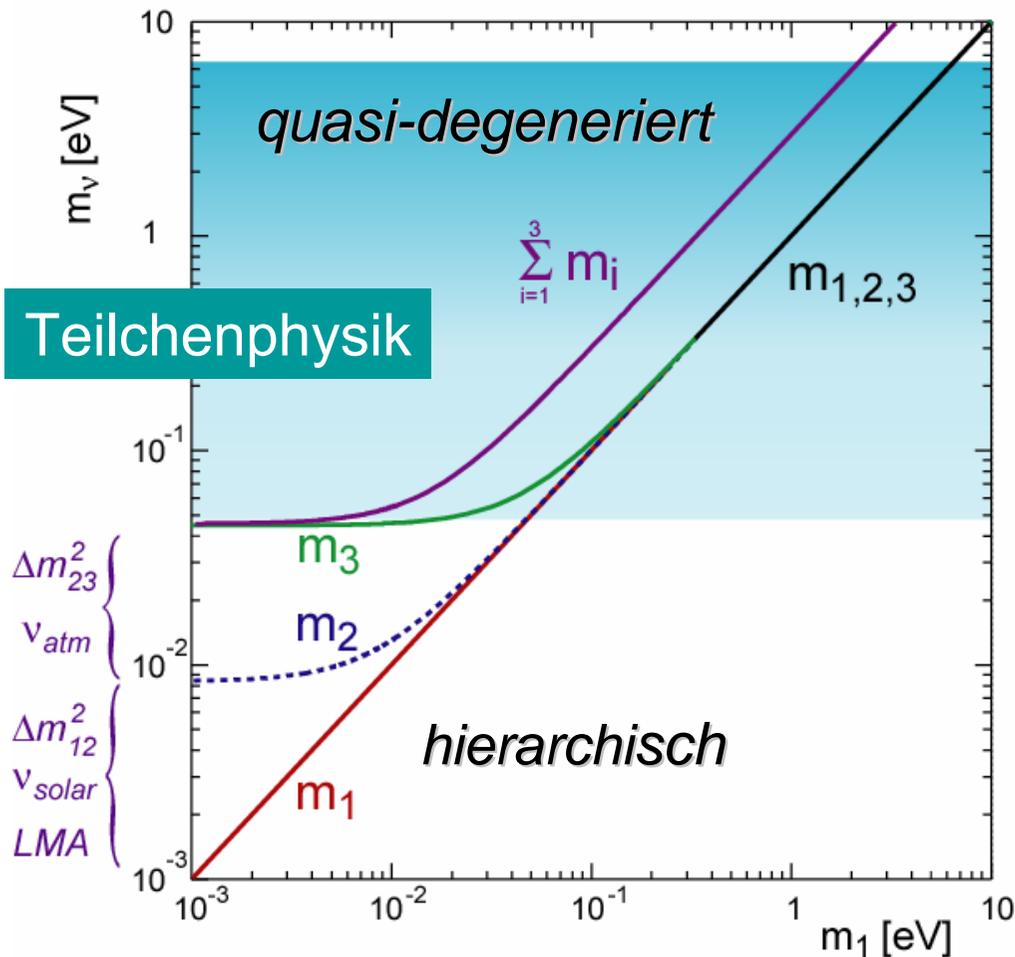
Großgeräte der physikalischen  
Grundlagenforschung



- Motivation
- Referenzdesign & Status
- Sensitivität & Ausblick

# Motivation - Astroteilchenphysik

↪ modellunabhängige Bestimmung der  $\nu$ -Masse (Sensitivität  $m_\nu = 0.2 \text{ eV}$ )



$$\Omega_\nu h^2 = \Sigma m_\nu / 93.5 \text{ eV}$$

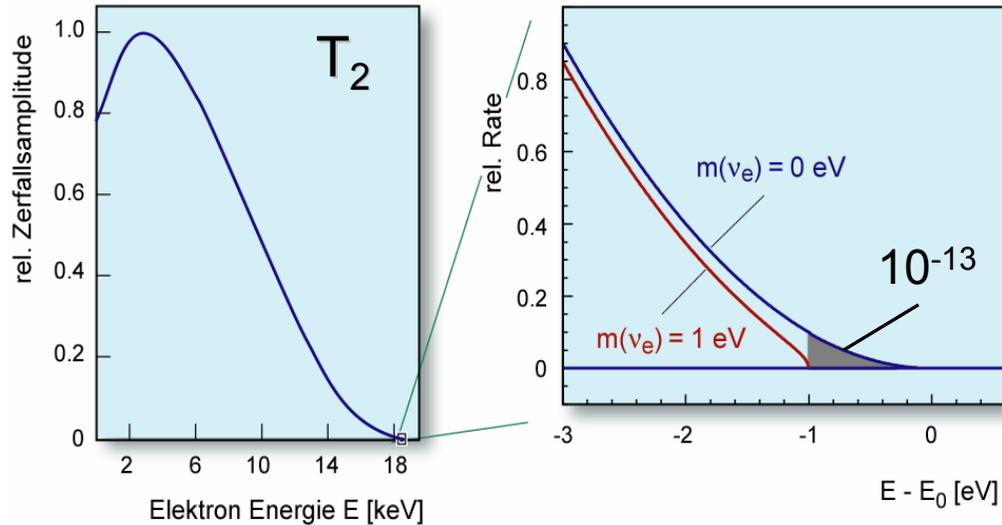
**Kosmologie**



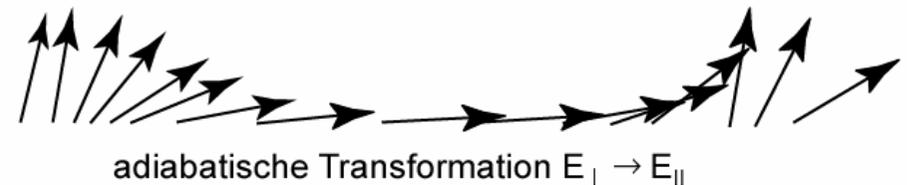
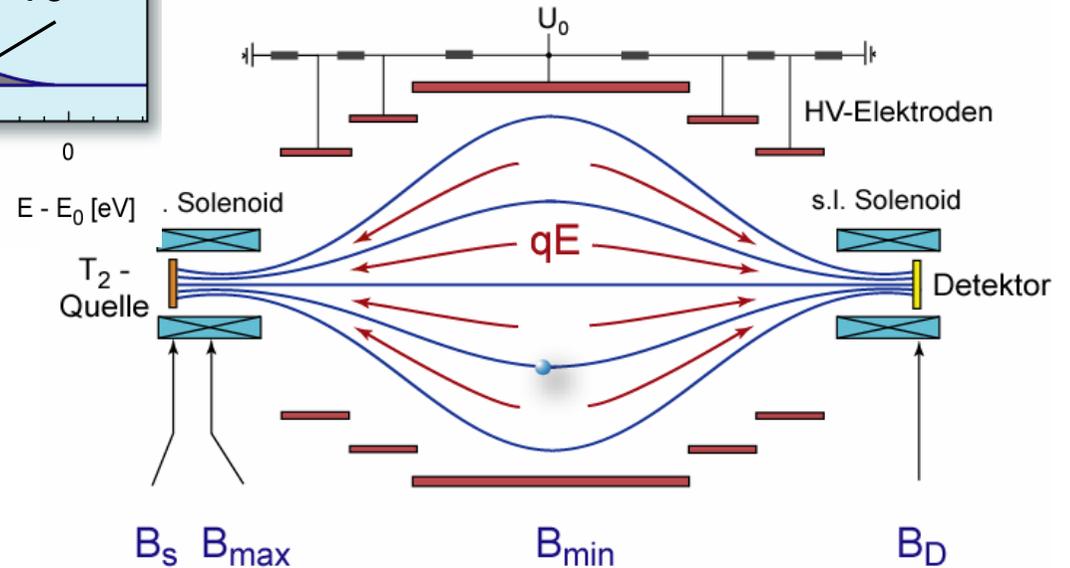
# KATRIN Messprinzip

$$\frac{d\Gamma_i}{dE} = C p (E + m_e) (E_0 - E) \sqrt{(E_0 - E)^2 - m_i^2} F(E) \theta(E_0 - E - m_i)$$

exp. Observable =  $m_\nu^2$



$E_0 = 18.6 \text{ keV}$   
 $T_{1/2} = 12.3 \text{ y}$



## Magnetfeld:

adiab. Führung der Elektronen

## Elektrisches Feld:

präzise Energieanalyse

wichtig: magnetische

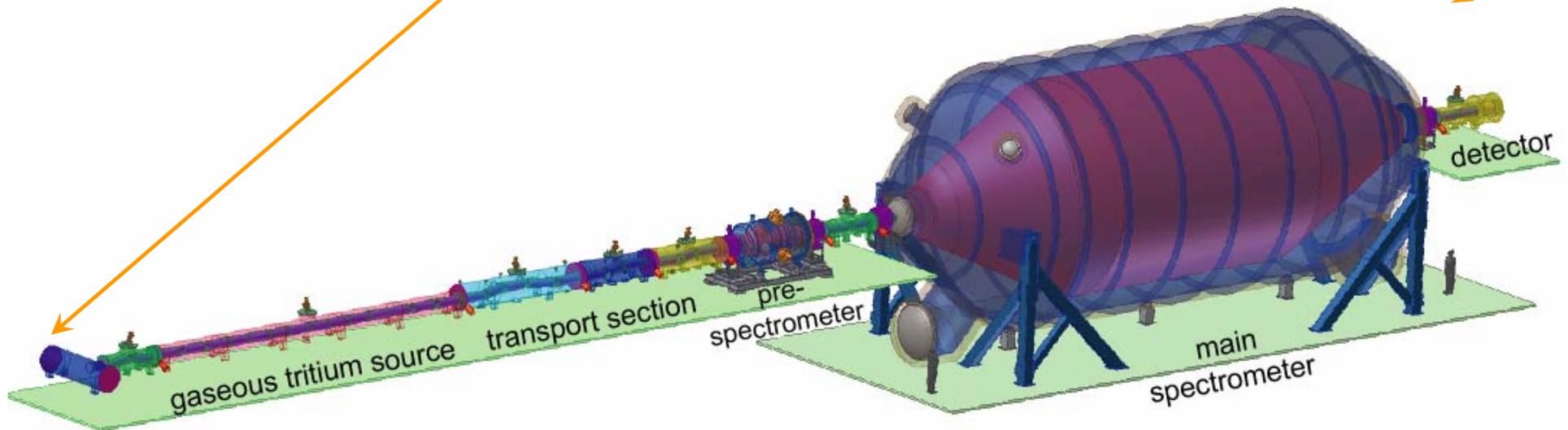
adiabatische Kollimation!

# Das KATRIN Experiment



*Karlsruhe Tritium  
Neutrino Experiment*

im Aufbau am Tritiumlabor  
Karlsruhe (TLK) am  
Forschungszentrum  
Karlsruhe

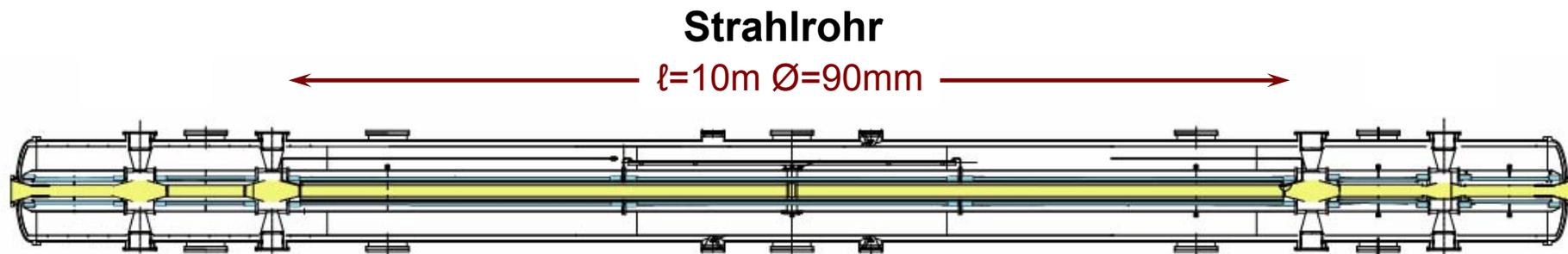


# Fensterlose Tritiumquelle - Auslegung

molekulare gasförmige  $\beta$ -Quelle maximaler Luminosität ( $10^{11}$   $\beta$ /s)

- integrales Designkriterium: Säulendichte  $\rho d = 5 \times 10^{17}$  Moleküle /  $\text{cm}^2$

Präzision:  $\pm 0.1\%$



Einzelkriterien:

- Magnetfeld  $B = 3.6 \text{ T } (\pm 2\%)$
- Tritiuminjektion  $5 \times 10^{19} \text{ Mol/s } (= 4.7 \text{ Ci/s } = 1.7 \cdot 10^{11} \text{ Bq/s } = 40 \text{ g / d})$
- Temperatur  $T = 27\text{-}30\text{K } \Delta T \leq 30 \text{ mK}$
- Pumpleistung  $12.000 \text{ l / s}$

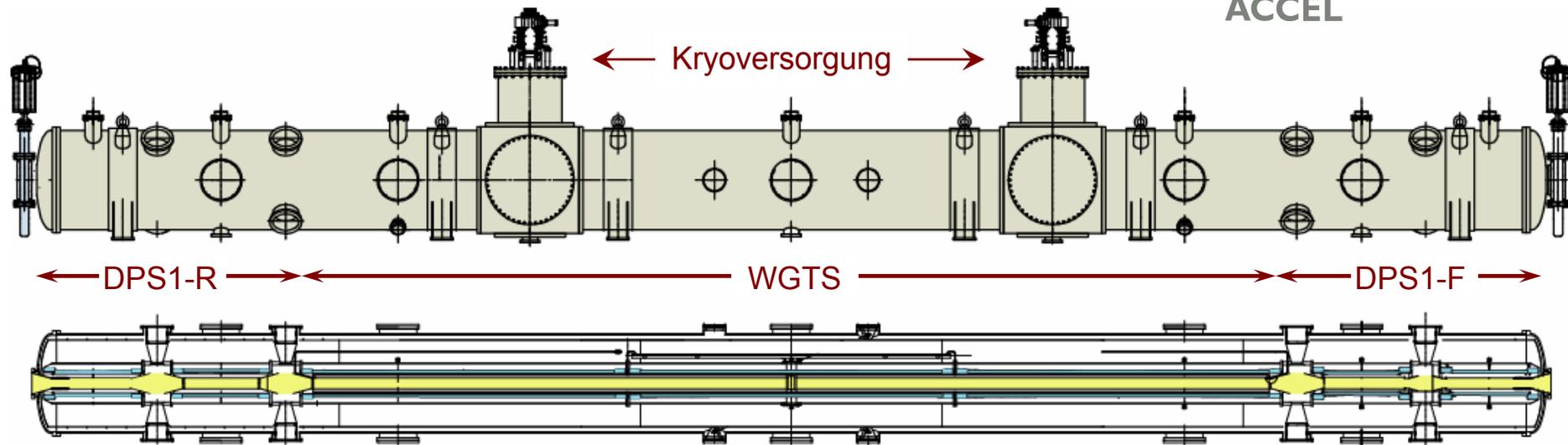
**12/2004: Auftragsvergabe**

# WGTS – Technisches Design

01-08/2005: konzeptionelles Design durch Hersteller



ACCEL



## Technical Design Report (August 2005)

- Konzept Strahlrohrkühlung  $\Delta T < 30 \text{ mK}$
- Magnetdesign: Inhomogenität  $\Delta B/B < 2\%$
- diff. Pumpen: Leitwert Pumpport  $> 2000 \text{ l/s}$

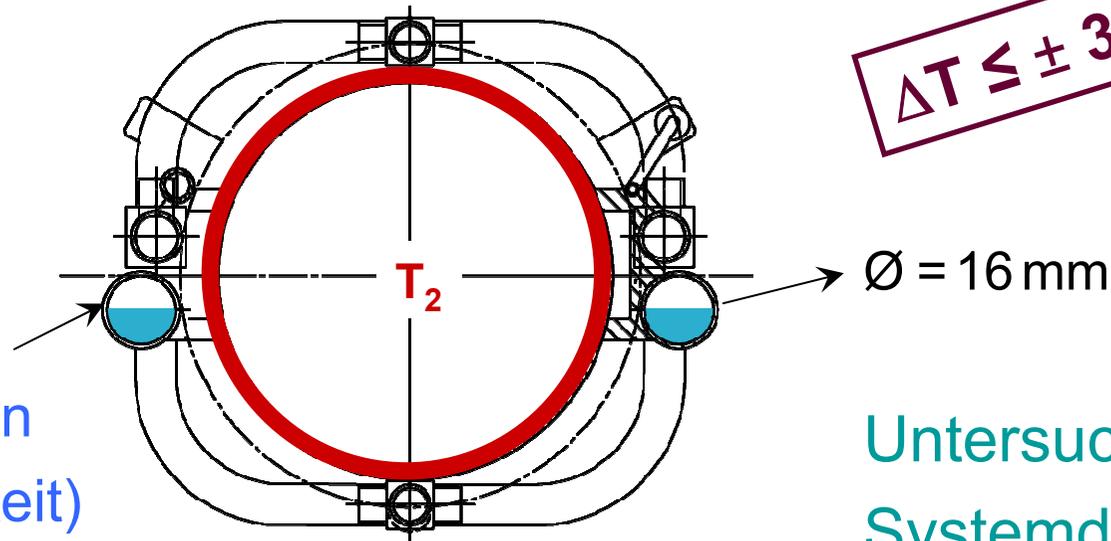
# WGTS – Kühlkonzept Strahlrohr

erforderliche Betriebstemperaturparameter ( $T = 27 - 28 \text{ K}$ ):

- **räumlich** (Homogenität):  $\pm 0.1\%$  entlang Strahlrohr
- **zeitlich** (Stabilität):  $\pm 0.1\%$  pro Stunde

Konzept:

2-Phasen Neon  
(sied. Flüssigkeit)



2 separate Kühlrohre

↪ 2 Wände zwischen  $T_2$  & LNe!

Untersuchungen zur  
Systemdynamik

2006: Demonstrator

# Fensterlose Tritiumquelle: T<sub>2</sub> – Kreislauf

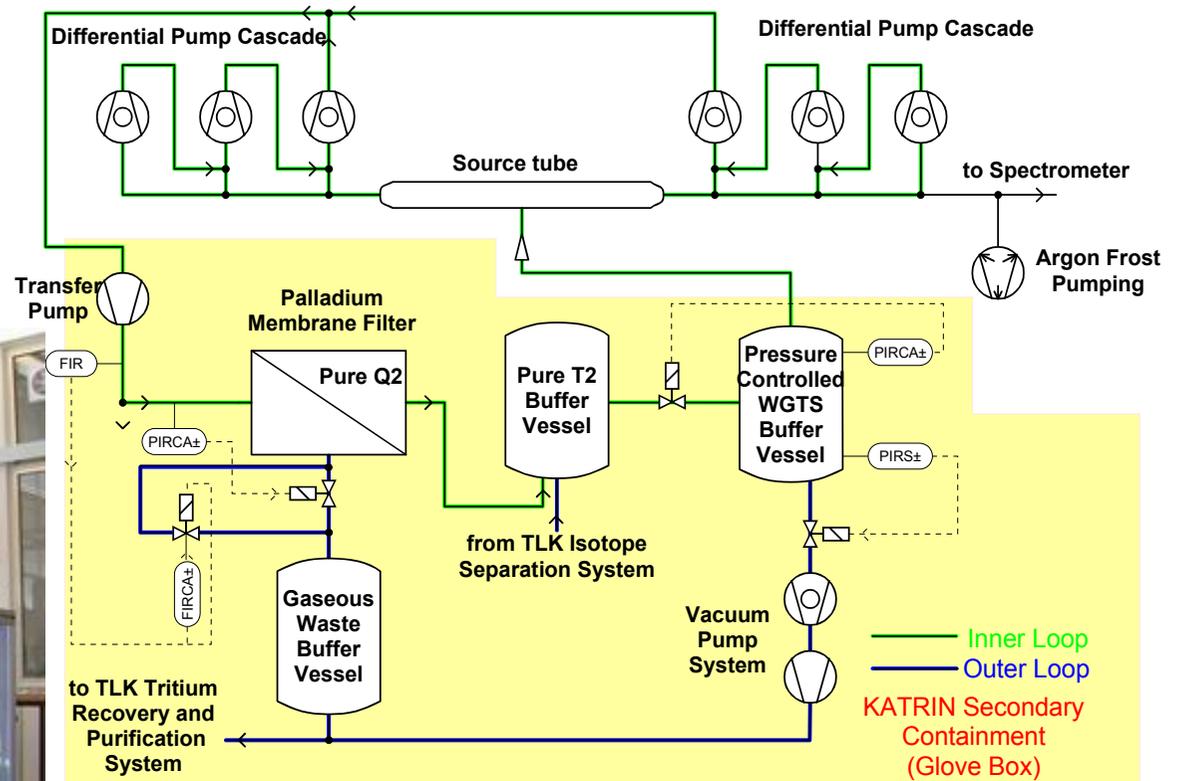
## Testexperiment TILO

## Design Tritiumkreislauf im TLK

### Experimentelle Ziele

- Test molekularkinet. Modelle
- Meß- und Regeltechniksystem

Messungen seit Juni 2005



inner Loop  
outer Loop

– stabile WGTS Parameter  
– hohe Tritiumreinheit

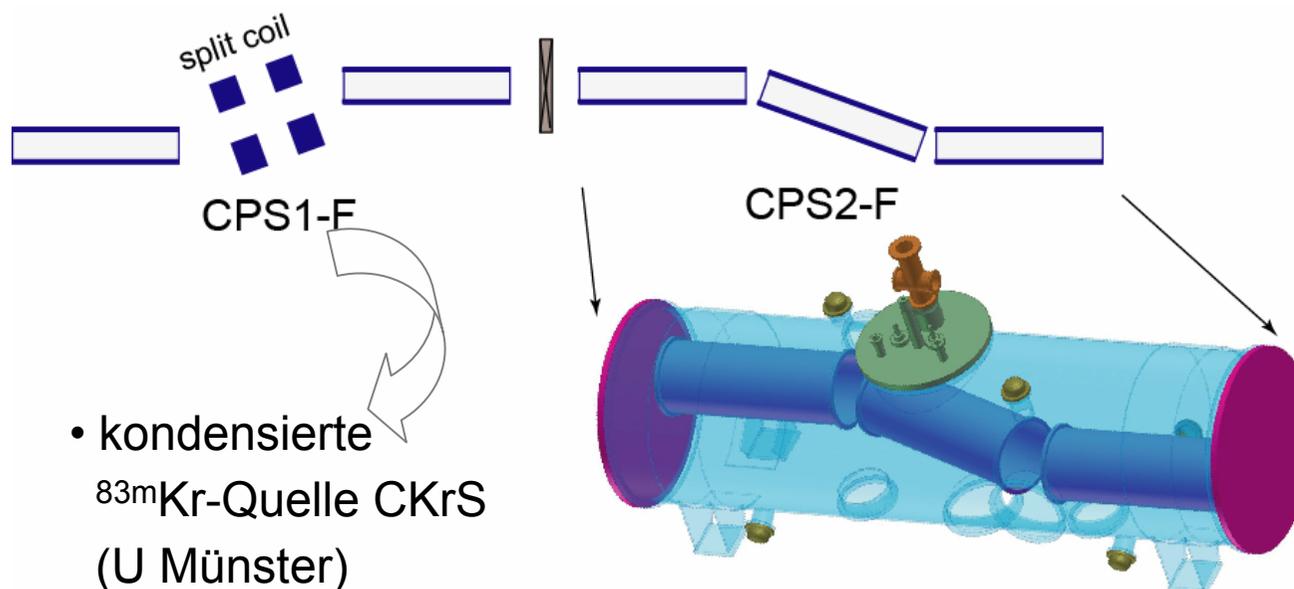
# Kryogene Pumpstrecke - Auslegung

Aufgabe: Rückhaltung Tritiumfluß aus differ. Pumpstrecke

↳  $T_2$  - Partialdruck Spektrometer  $p < 10^{-20}$  mbar

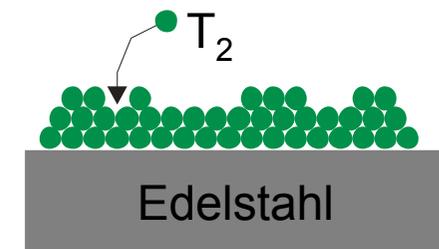
Methode: **Kryosorption** an kondensiertem Ar-Frost

Rate:  $< 1$  Ci  $T_2$  in 60 Tagen (**Regeneration mit He-Gas**)

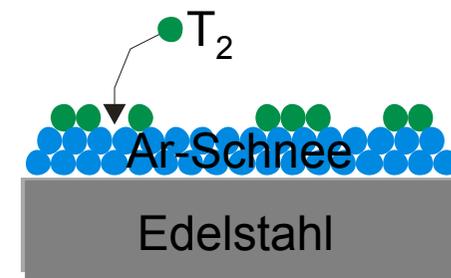


- kondensierte  $^{83m}\text{Kr}$ -Quelle CKrS (U Münster) s. Postersession

Kryokondensation



Kryosorption



# Kryogene Pumpstrecke - TRAP

Testexperiment TRAP:

- $T_2$ -Sorption an Ar
- $T_2$ -Migration?



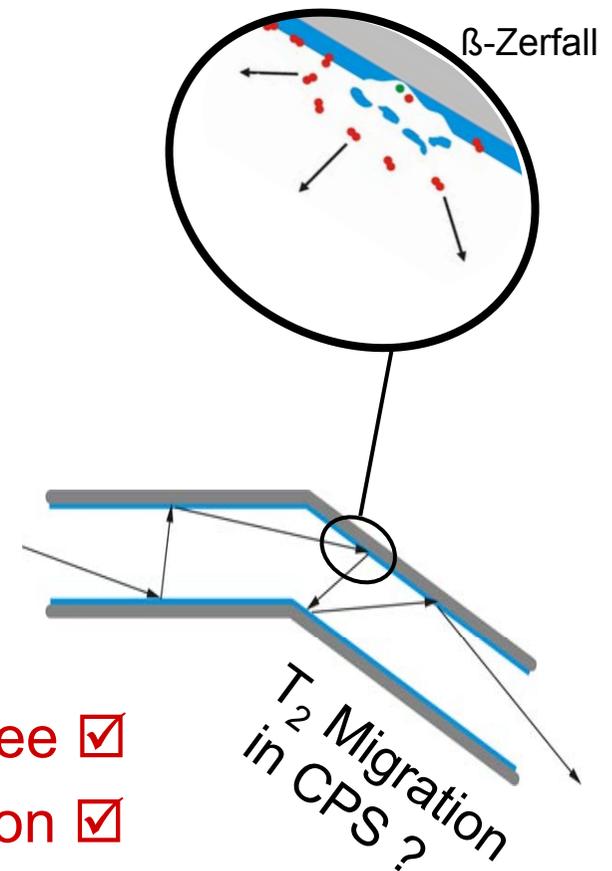
Tritium Argon Pump



erste Messungen mit DT  
im August/Sept. 2005:

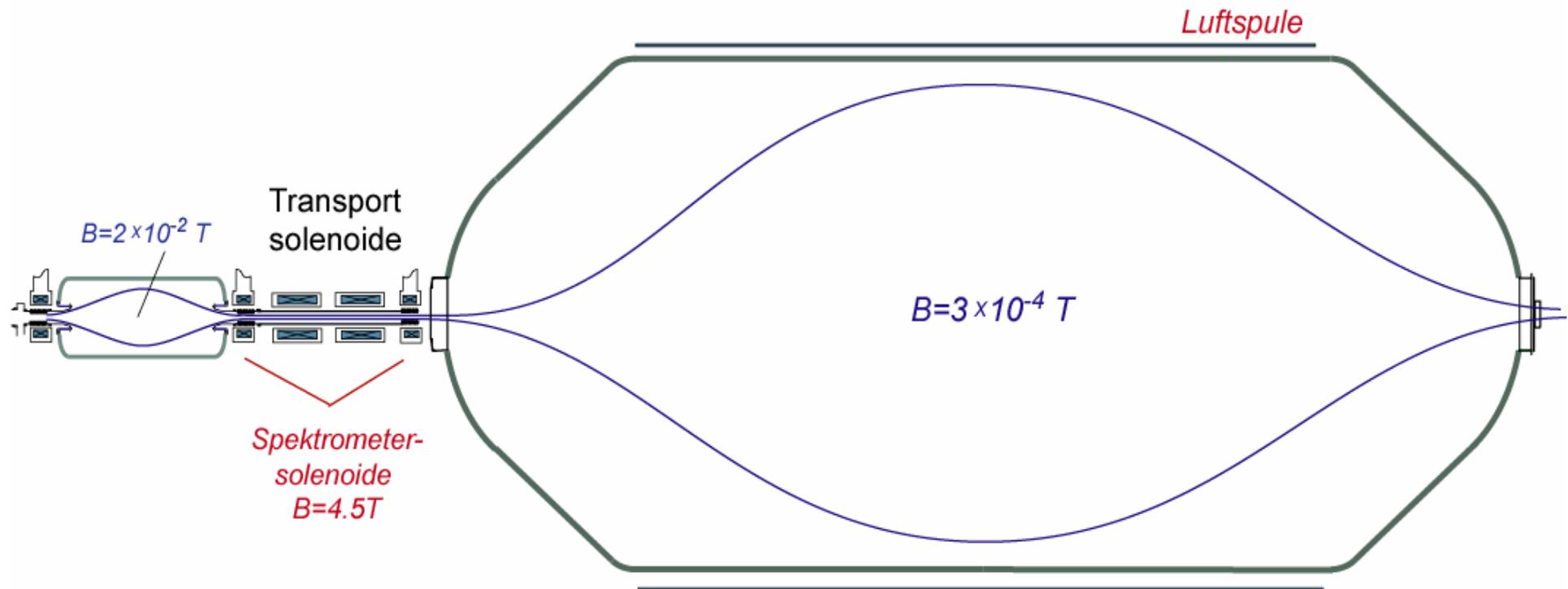
- Sorptionsrate an Ar-Schnee
- keine sichtbare  $T_2$  Migration

↪ tritiumfreie Spektrometer



# Elektrostatische Spektrometer - Auslegung

## Tandem: Vorfilter & Energieanalyse von $\beta$ -Zerfallselektronen



### Vorspektrometer

festes Retardierungspotenzial 18.4 kV

$\varnothing = 1.7 \text{ m} / L = 3.5 \text{ m}$

$\Delta E = 70 \text{ eV}$

### Hauptspektrometer

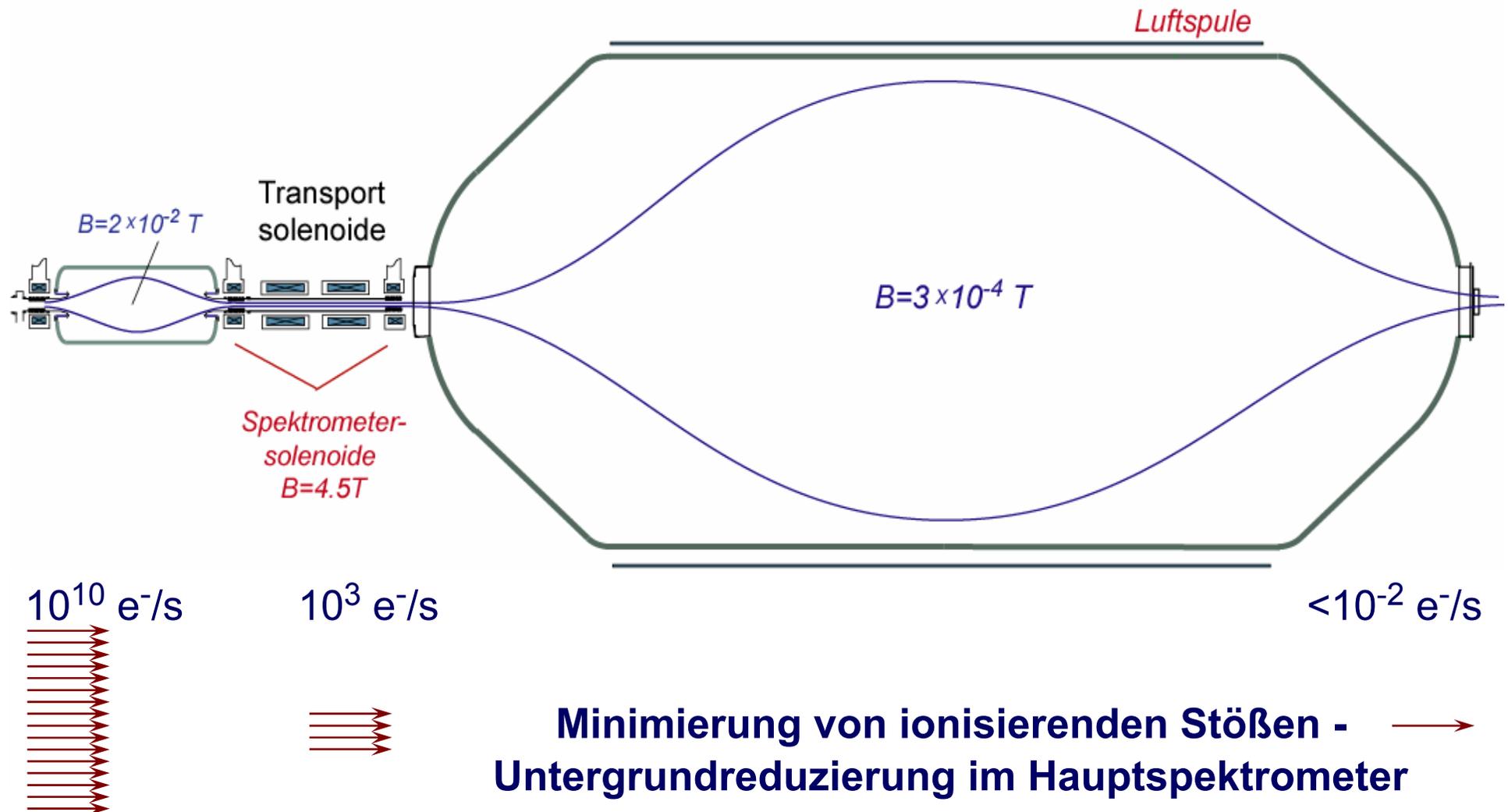
variables Retardierungspotenzial 18.5-18.6 kV

$\varnothing = 10 \text{ m} / L = 22 \text{ m}$

$\Delta E = 1 \text{ eV}$

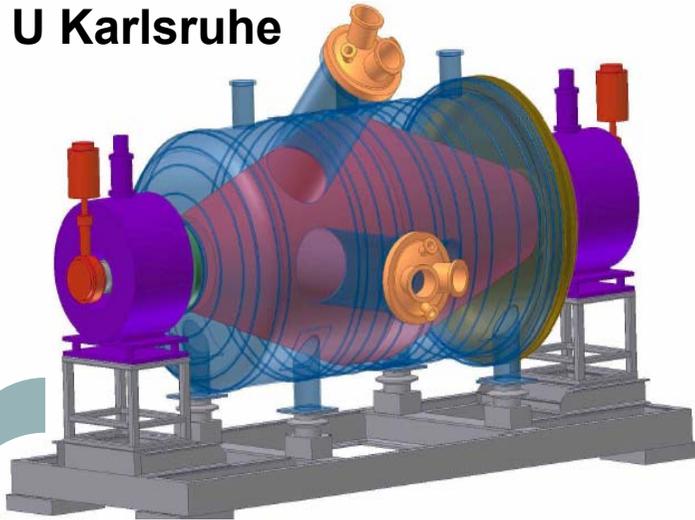
# Elektrostatische Spektrometer - Auslegung

Tandem: Vorfilter & Energieanalyse von  $\beta$ -Zerfallselektronen



# Vorspektrometer - Status

U Karlsruhe



Resultate UHV-Messungen: 4-12/04

- **Ausgasrate @ -20°C**  
 $1.6 \times 10^{-13} \text{ mbar } \ell / \text{cm}^2 \text{ s}$
- **Enddruck @ RT**  
 $p < 10^{-11} \text{ mbar}$  (Langzeitbetrieb)

↳ **UHV-Konzept** ✓



Heiz-/Kühlsystem & Magnete

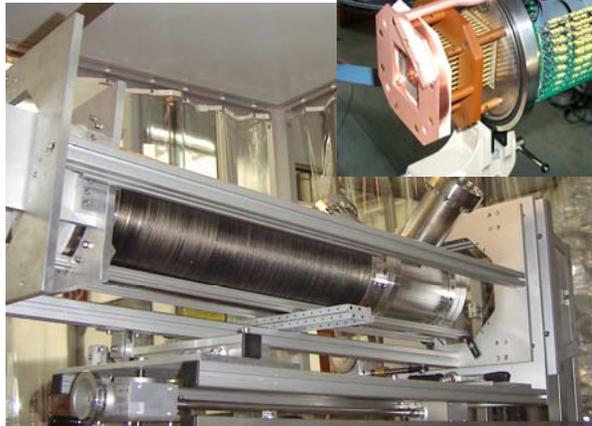
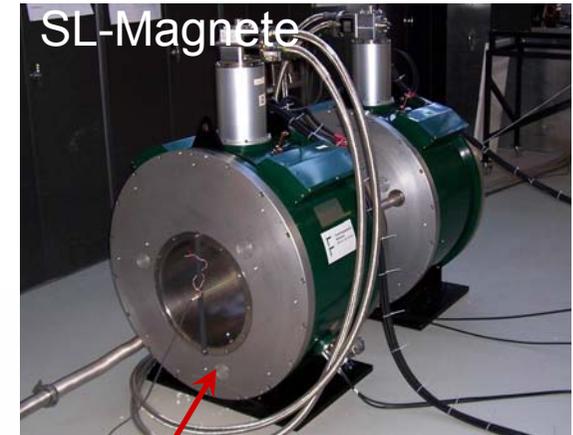


# Vorspektrometer – elmagn. Tests

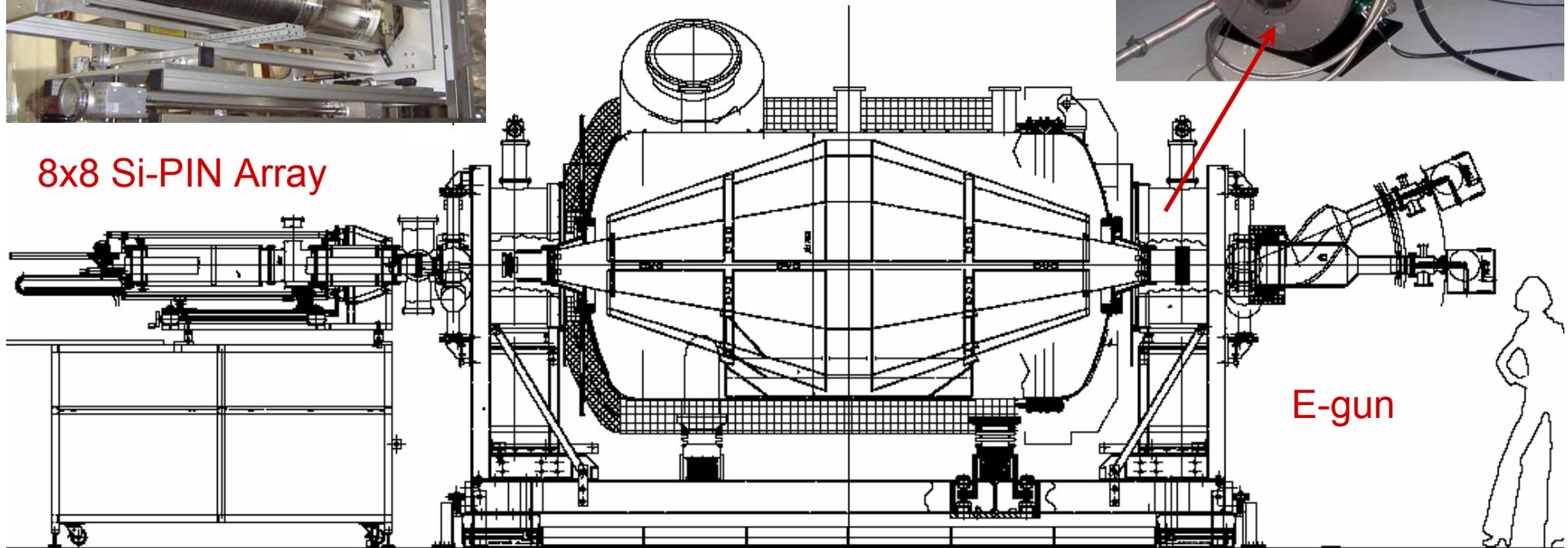
Aufgabe: Verifikation des elektromagnetischen Konzeptes



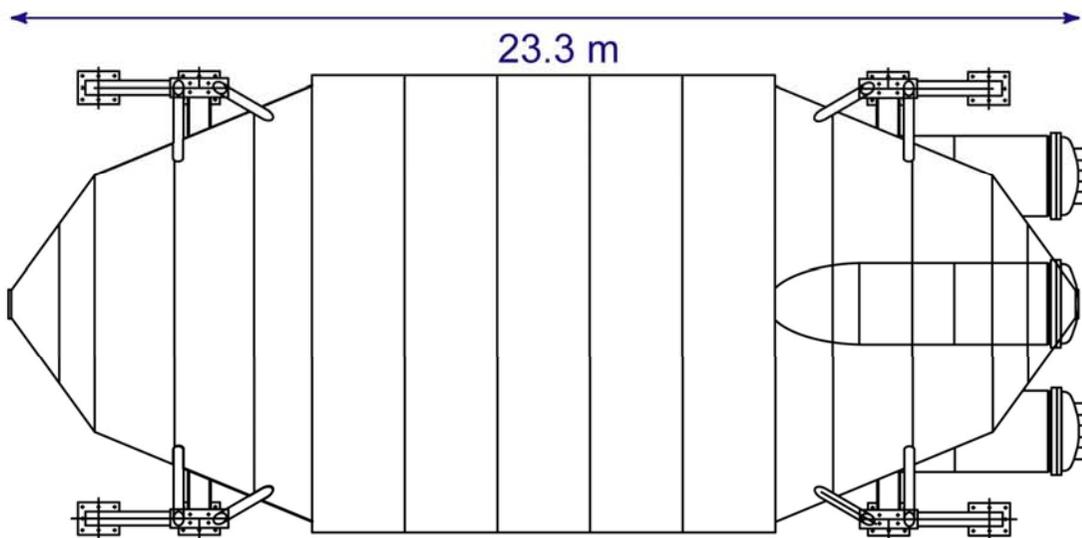
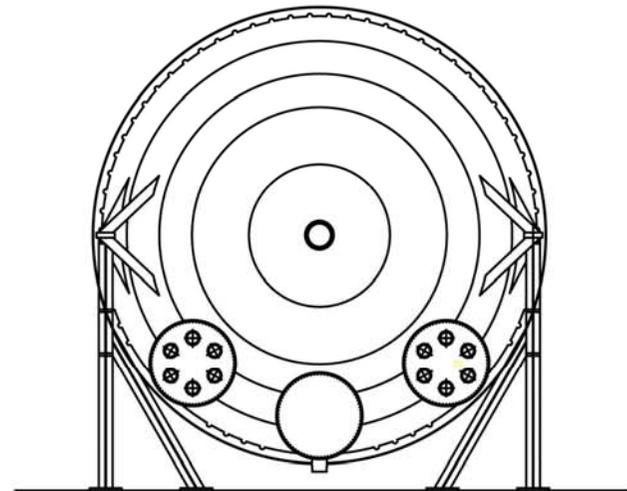
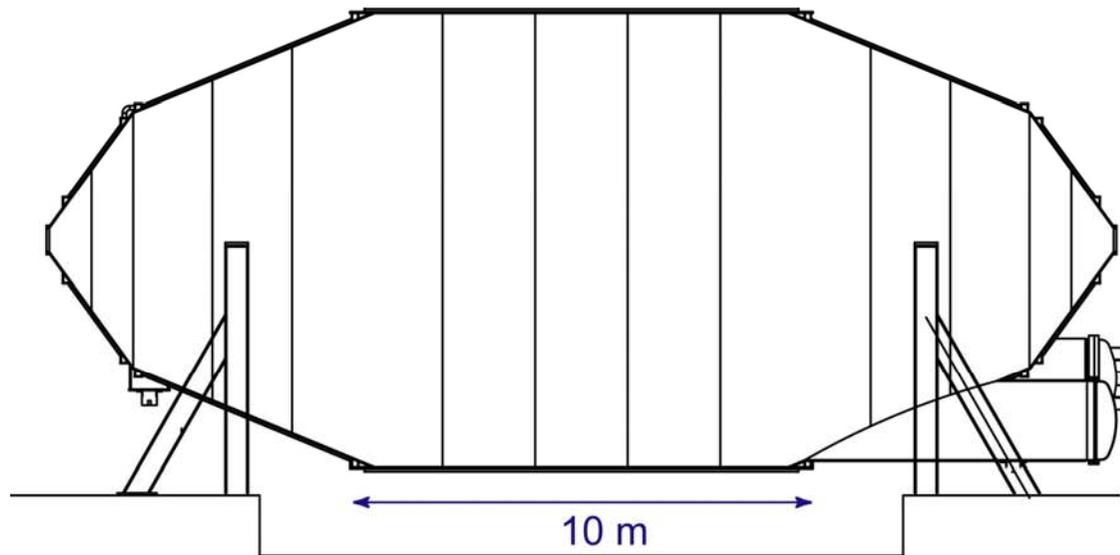
Meßbeginn:  
Herbst 2005



8x8 Si-PIN Array



# Hauptspektrometer – DWE Design



## Design Parameter:

Volumen:	1258 m <sup>3</sup>
Oberfläche:	605 m <sup>2</sup>
Wandstärke:	32 mm
Material	1.4429
Gewicht:	192 t

**Auftragsvergabe 12/04**

# Hauptspektrometer – Fertigung

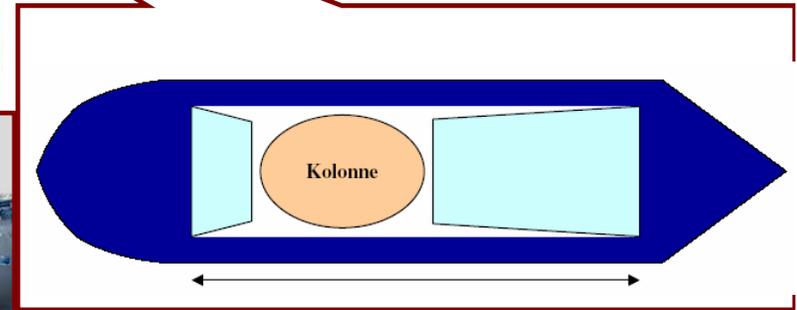
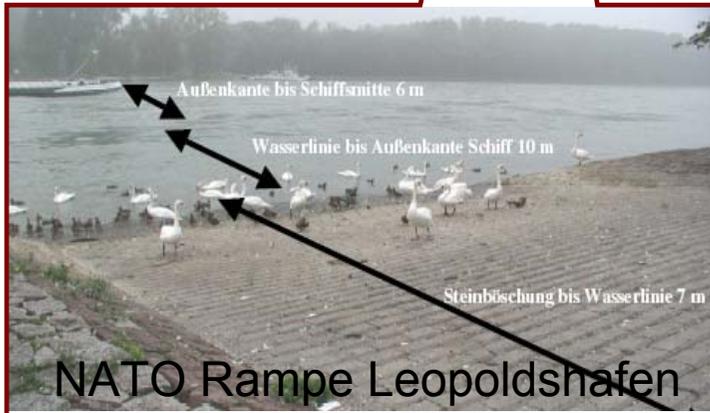
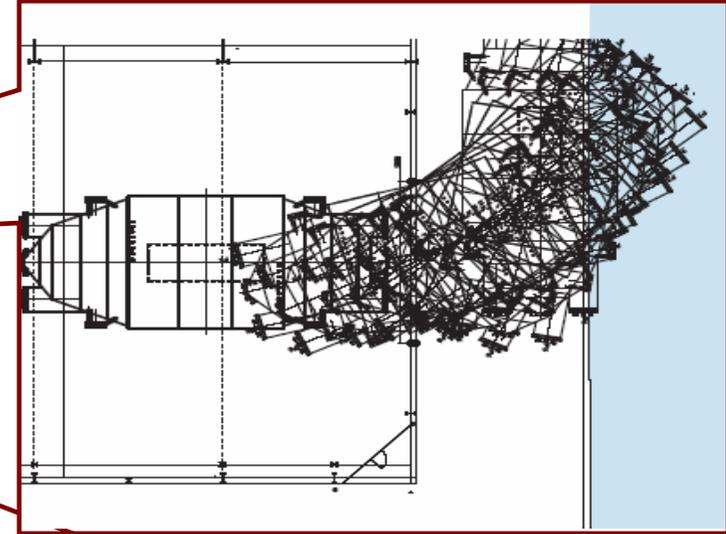
Plasmaschneiden unter Wasser



Fertigungshalle DWE

Edelstahlbleche  
nach Plasmaschneiden

# Hauptspektrometer – Transportlogistik

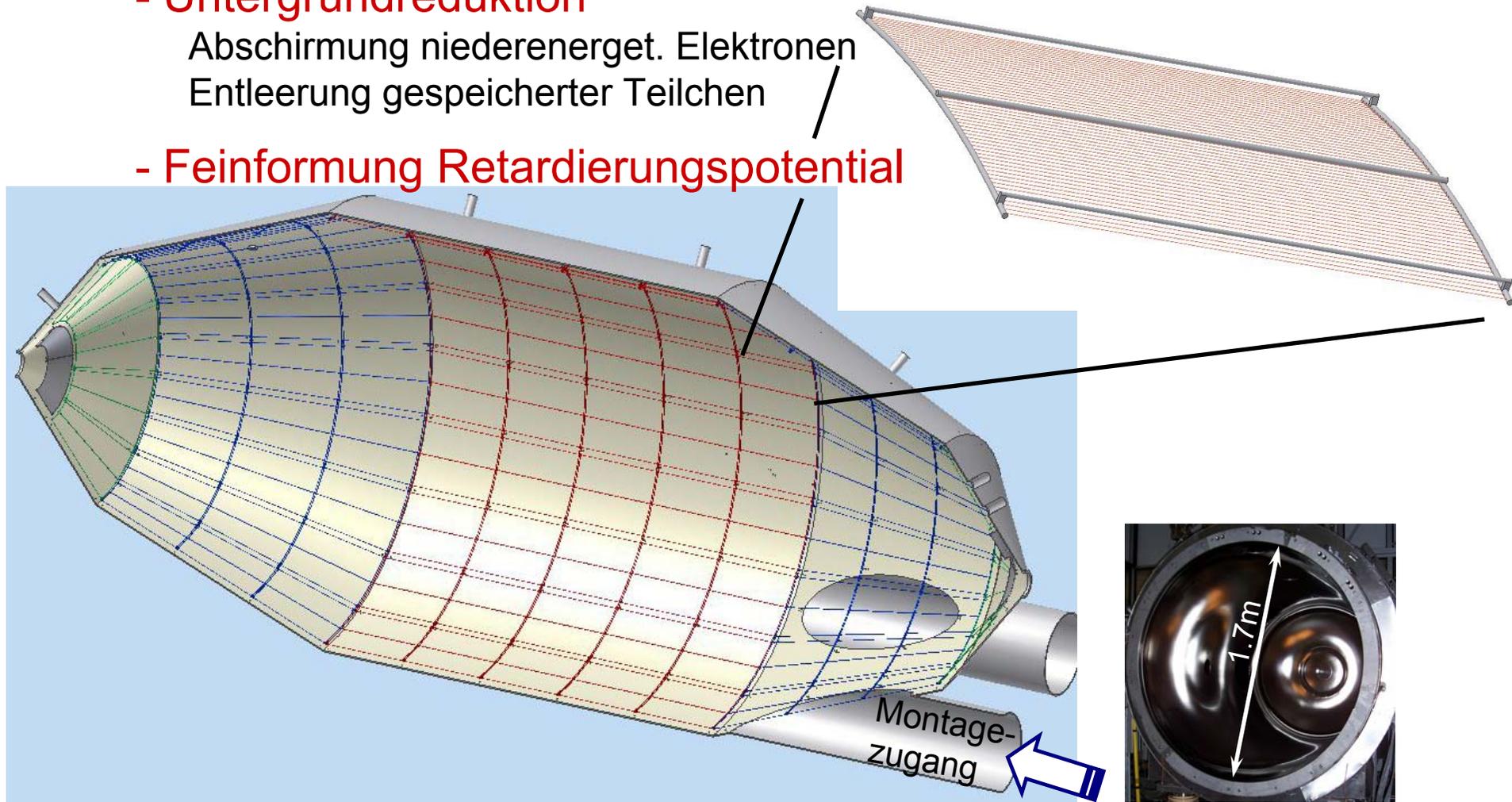


Anlieferung:  
Spätsommer 2006

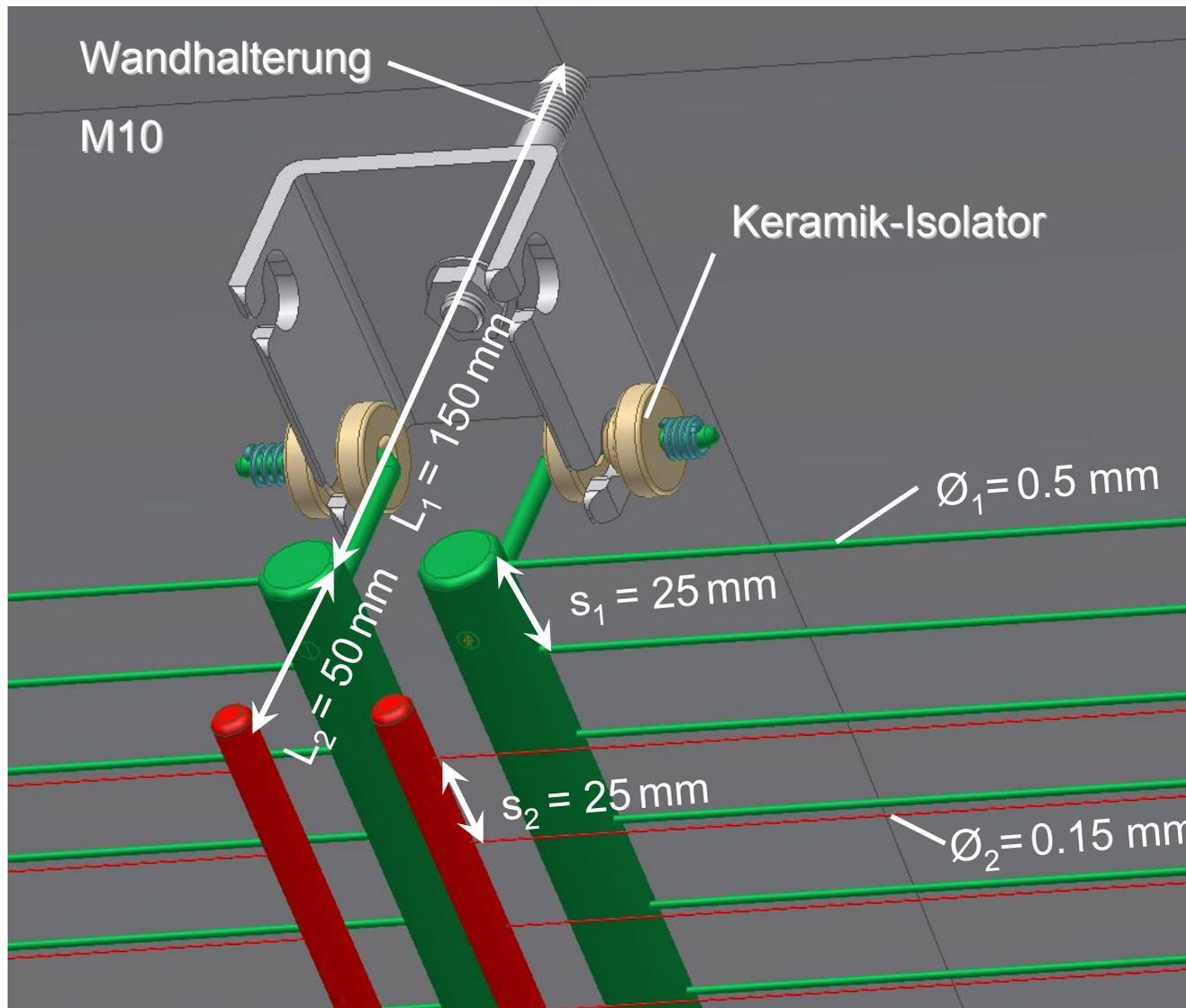
# Hauptspektrometer – innere Elektrode

Aufgaben des inneren Draht-Elektrodensystems:

- **Untergrundreduktion**  
Abschirmung niederenerget. Elektronen  
Entleerung gespeicherter Teilchen
- **Feinformung Retardierungspotential**



# Inneres Draht-Elektrodensystem



## Doppellagiges System (U Münster)

### 1. Drahtebene

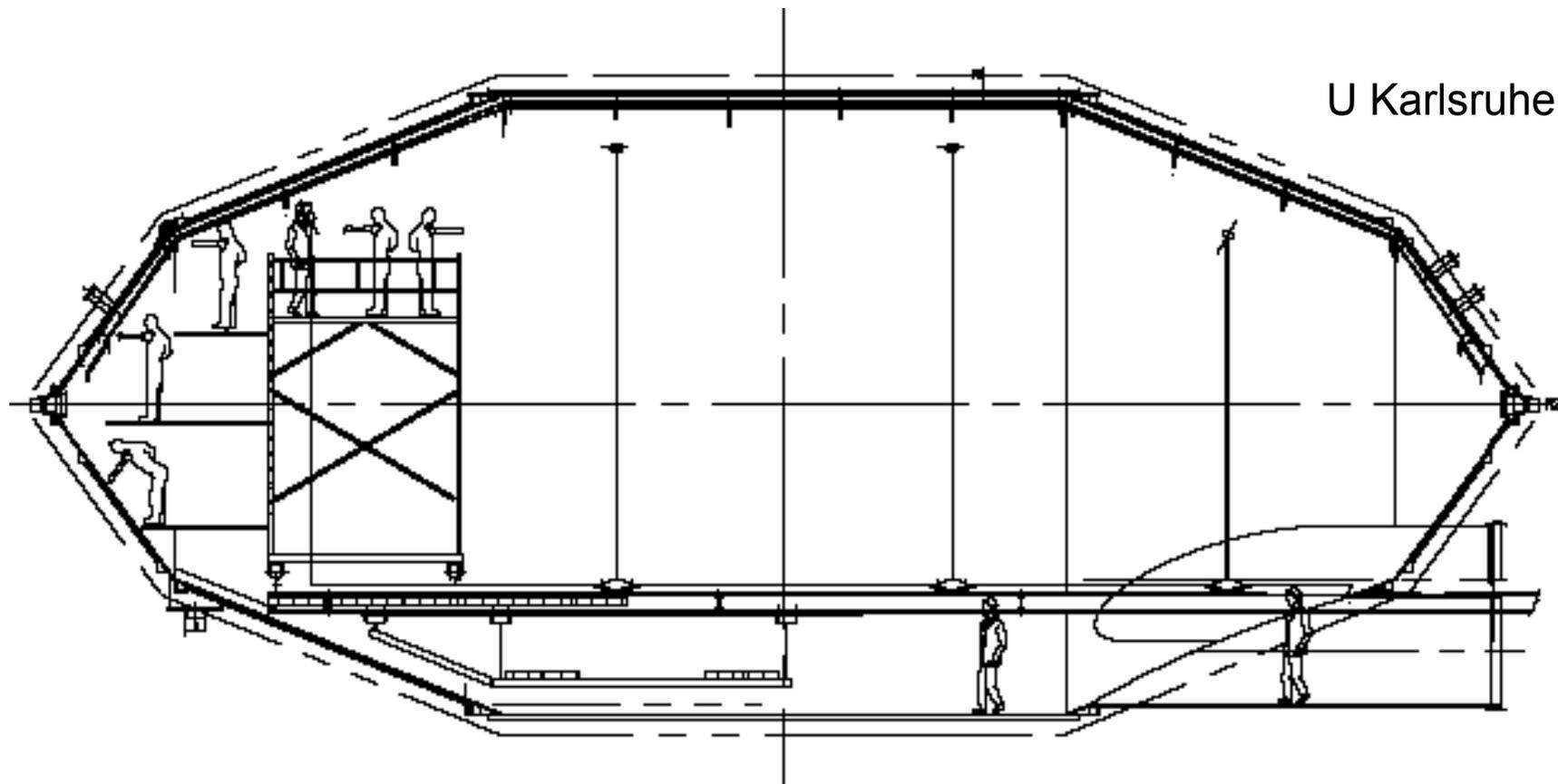
parallel / äquidistant  
zu Spektrometerwand  
const. Drahtanzahl  
const.  $U_1 = U_{sp} + \Delta U_1$

### 2. Drahtebene

nicht äquidistant  
var. Drahtanzahl  
var.  $U_2 = U_{sp} + \Delta U_2$   
Durchhang: sub-mm!

# Inneres Draht-Elektrodensystem

Montagesystem für inneres Elektrodensystem  
! Montage muß UHV-kompatibel sein !

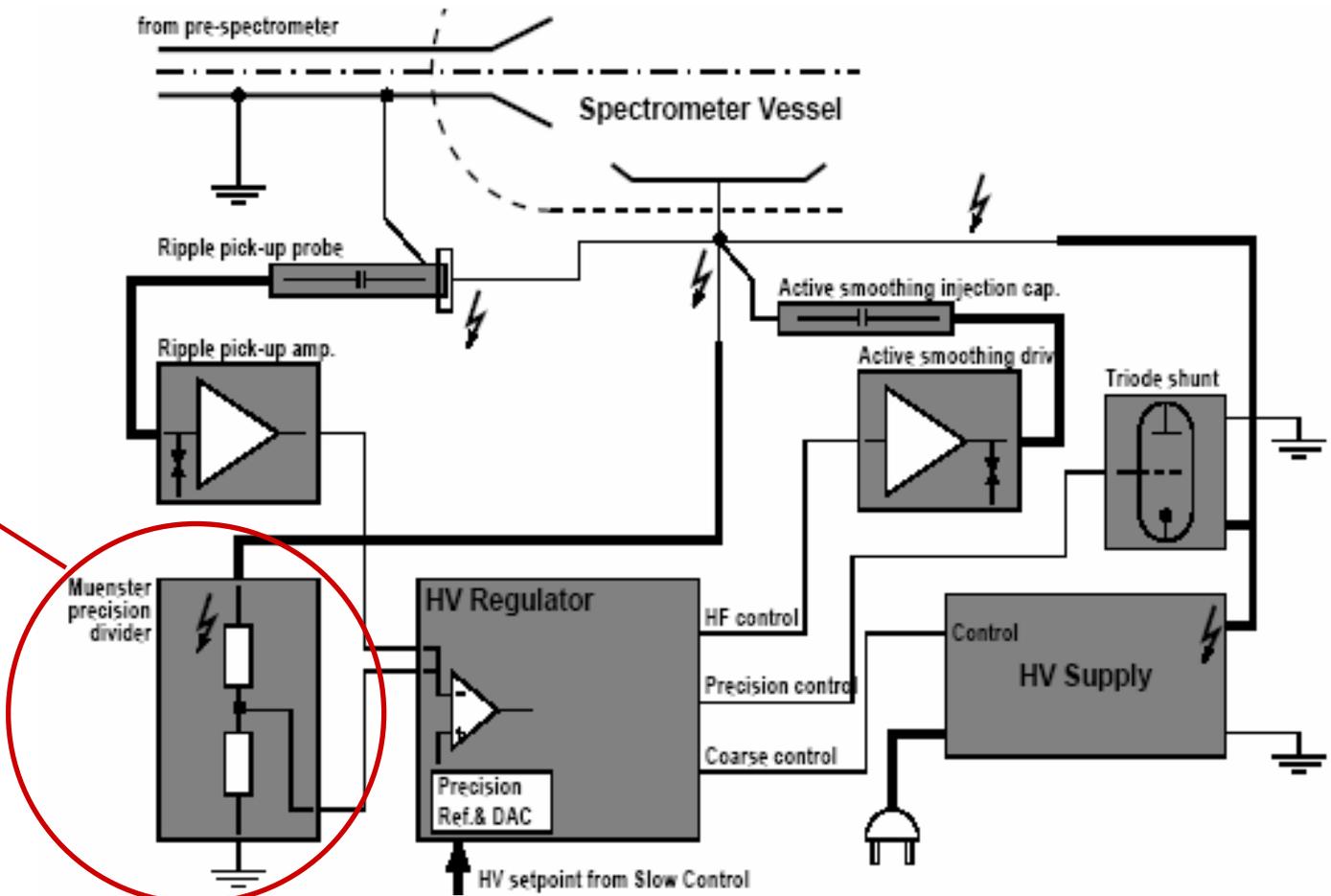


extrem präziser  
HV-Teiler

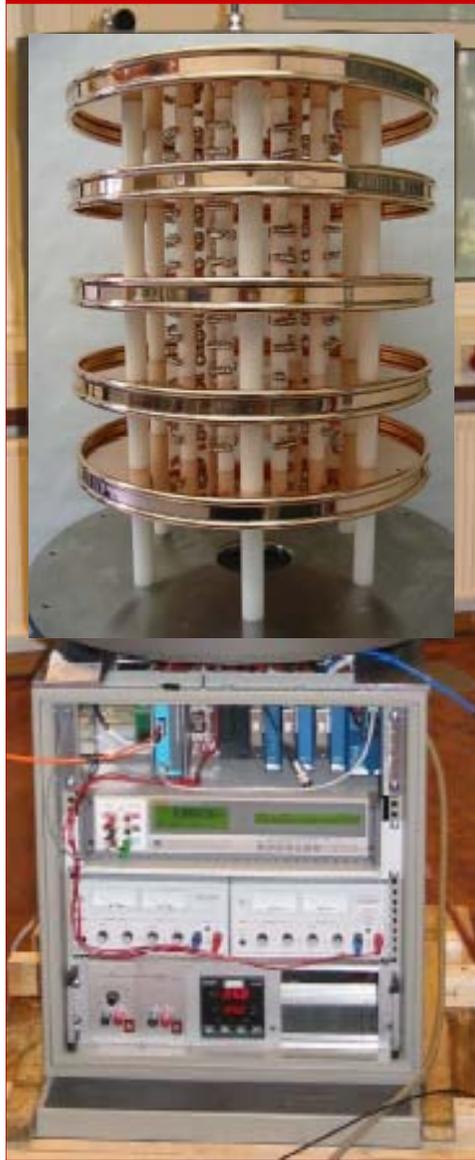
# Präzisions-HV Versorgung

Messungen erfordern HV Stabilisierung/Monitoring/  
Kalibration auf ppm Niveau (wideband: DC bis MHz)

Konzept eines HV-Regulationssystems (FZK)



extrem präziser  
HV-Teiler



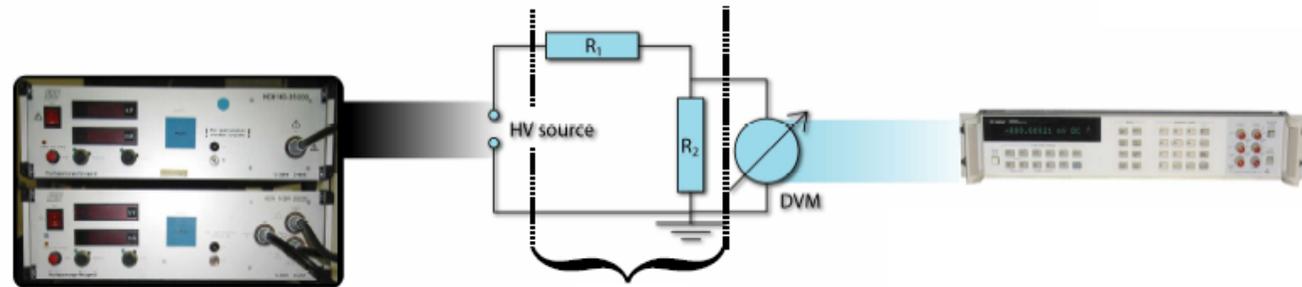
# Präzisions-HV Versorgung

Messungen erfordern HV Stabilisierung/Monitoring/  
Kalibration auf ppm Niveau (wideband: DC bis MHz)

0 - 35 kV

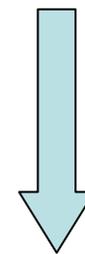
Spannungsteiler  
1:1972

0 - 10 V



Präzisions-HV  
Netzgerät

< ± 5 ppm Stabilität



Präzisions-Digital-  
Voltmeter

0.5ppm/h (4ppm/1y)

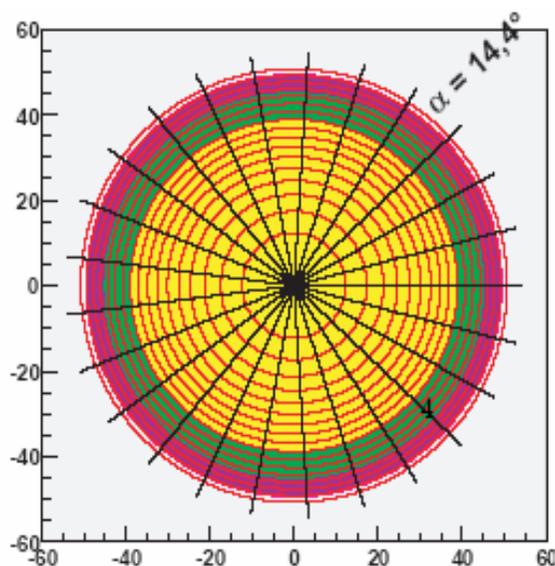
Test an PTB: sub-ppm Level !!  
↪ ppm-Spannungsteiler ✓

# Fokalebenenendetektor

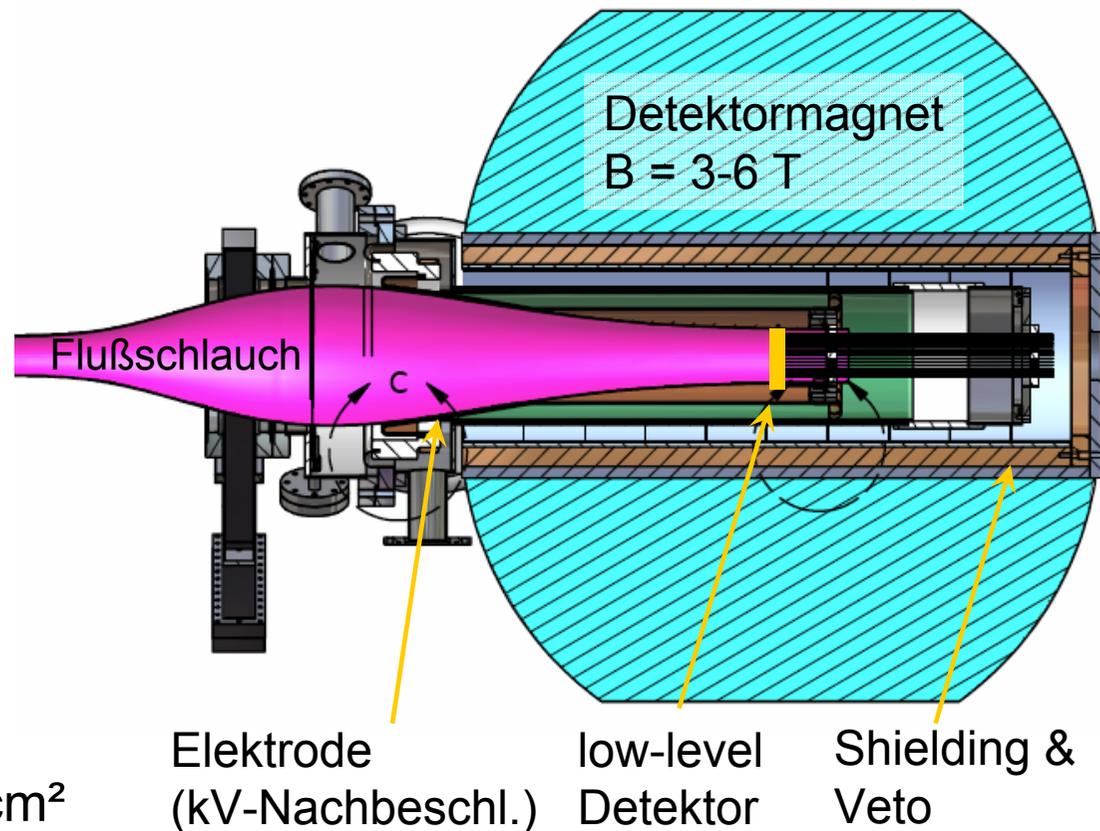
Aufgabe: **Nachweis** der transmittierten  $\beta$ -Zerfallselektronen mit hoher Energieauflösung ( $\Delta E = 1$  keV)

Ausmessung **radiales Profil** des Flußschlauches

Ziel: Untergrundminimierung, systematische Effekte



Design: radial segmentiertes  
Si-PIN Dioden Array  
~400 Pixel mit  $A=100$  cm<sup>2</sup>



# KATRIN Designoptimierung

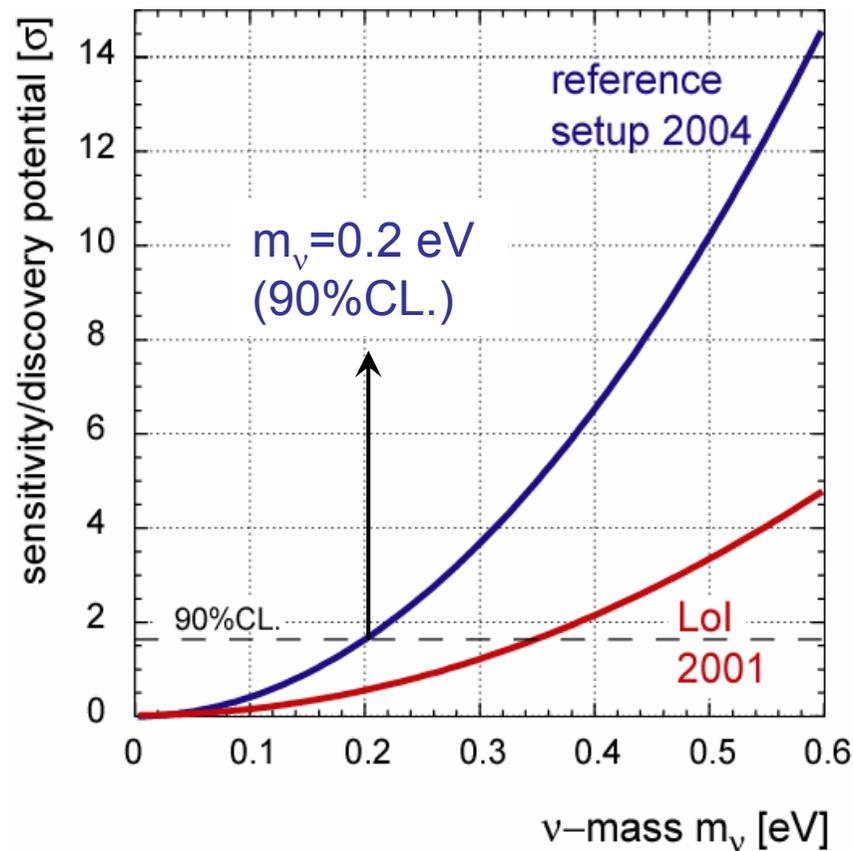
## Verbesserung der exp. Sensitivität (2001-04)

- Statistik**
  - Vergrößerung des Durchmessers der WGTS ( $\times 2$ )
  - Vergrößerung der Dimensionen Hauptspektrometer ( $\emptyset = 7 \text{ m} \rightarrow 10 \text{ m}$ ,  $L = 20 \text{ m} \rightarrow 23 \text{ m}$ ) für  $\Delta E = 0.93 \text{ eV}$
  - Verbesserung Tritiuminfrastruktur ( $T_2$  Reinheit 70%  $\rightarrow$  95%)
- Untergrund**
  - Inneres Drahtelektrodensystem (Vor- & Hauptspektrometer)
  - aktive Fallenentleerung (Dipolfelder, FT-ICR)
  - extremes UHV mit  $p < 10^{-11} \text{ mbar}$
- System. Fehler**
  - Monitorspektrometer (Referenz für HV)
  - System zur Messung inelast.  $\beta$ -Streuprozesse in WGTS
  - Stabilisierung der WGTS-Parameter auf 0.1% ( $T, p_{inj}, \dots$ )
  - Optimierung & Erweiterung der Tritiumpumpstrecke

# KATRIN Sensitivität

## Sensitivitätsoptimierung: Lol (2001) → Referenzdesign (2004)

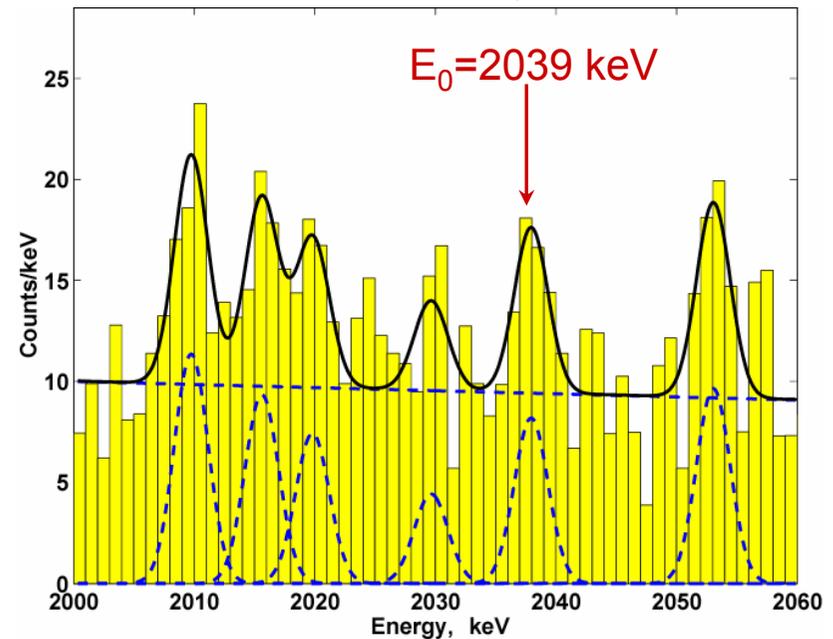
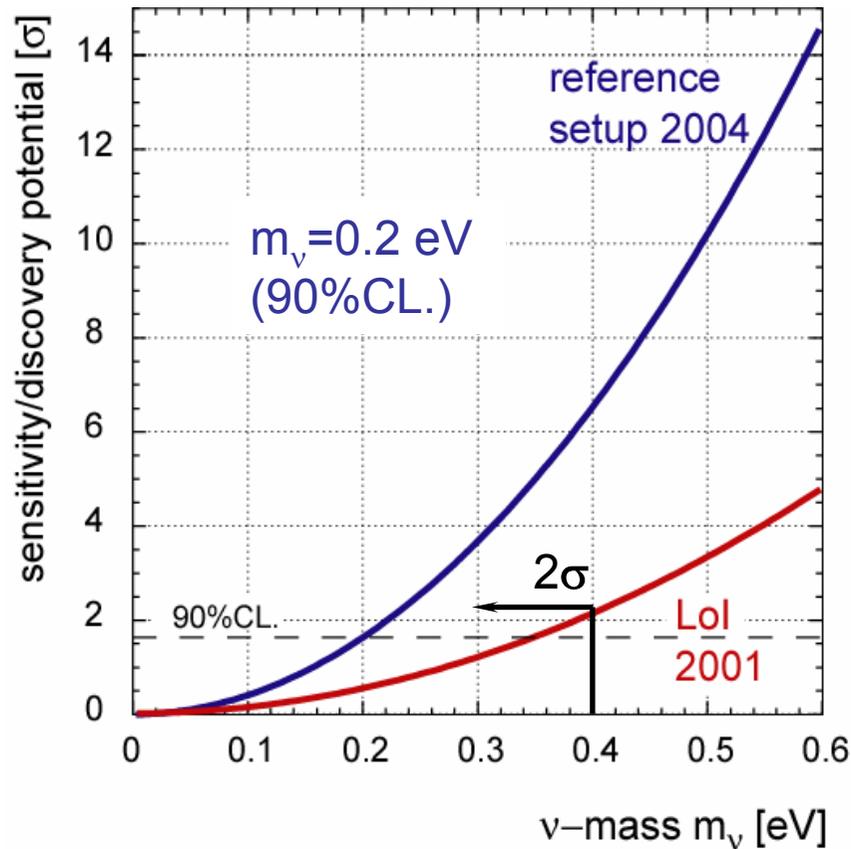
- verbesserte Statistik: Quell-Luminosität,  $T_2$  Reinheit
  - reduzierte Systematik:  $\beta$ -Wechselwirkung in Quelle
- verbesserte Sensitivität



# KATRIN Sensitivität & $\beta\beta$ -Zerfall

## Sensitivitätsoptimierung: Lol (2001) $\rightarrow$ Referenzdesign (2004)

- verbesserte Statistik: Quell-Luminosität,  $T_2$  Reinheit  $\rightarrow$  verbesserte Sensitivität
  - reduzierte Systematik:  $\beta$ -Wechselwirkung in Quelle  $\rightarrow$  verbesserte Sensitivität
- Bsp: Teilchenphysik ( $0\nu\beta\beta$ )



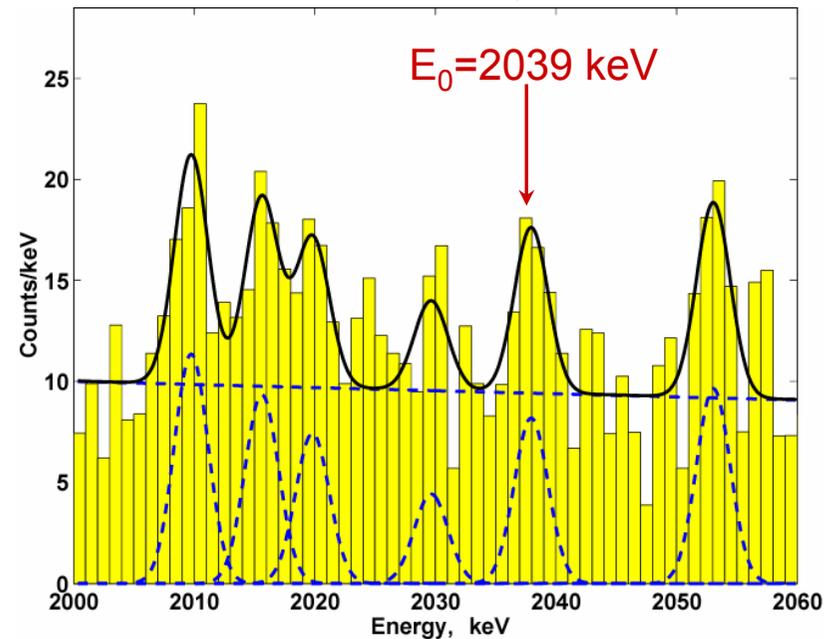
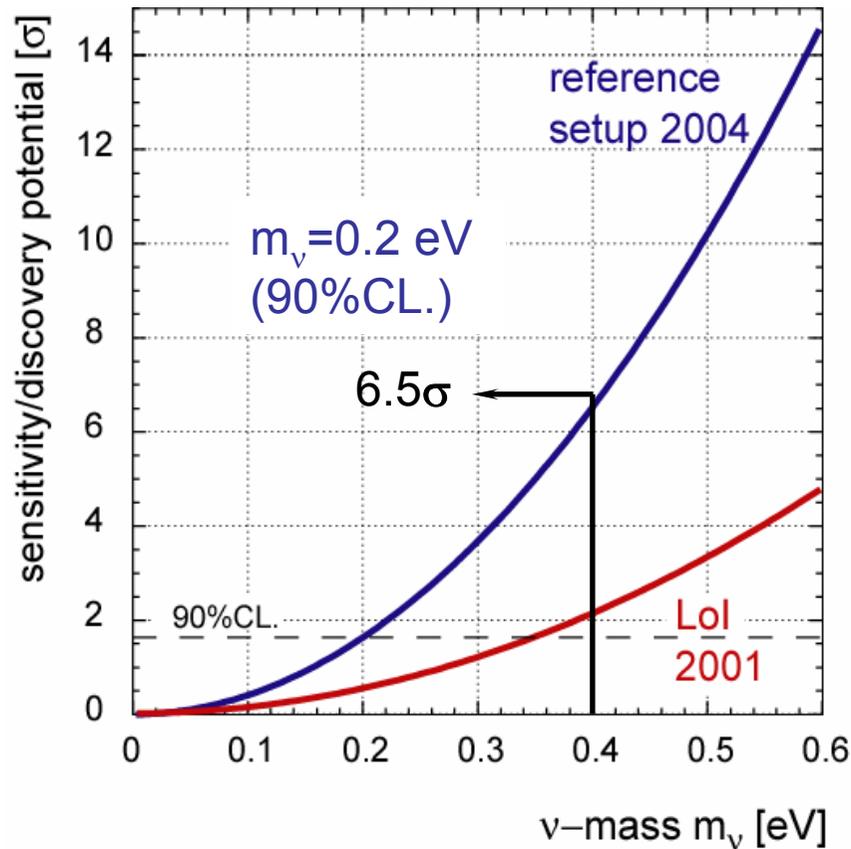
4.2 $\sigma$  Hinweis für  $m_{ee} = 0.44$  eV [0.1-0.9eV] ??

HV Klapdor et al., Phys.Lett. B586 (2004) 198

# KATRIN Sensitivität & $\beta\beta$ -Zerfall

## Sensitivitätsoptimierung: Lol (2001) $\rightarrow$ Referenzdesign (2004)

- verbesserte Statistik: Quell-Luminosität,  $T_2$  Reinheit  $\rightarrow$  verbesserte Sensitivität
  - reduzierte Systematik:  $\beta$ -Wechselwirkung in Quelle  $\rightarrow$  verbesserte Sensitivität
- Bsp: Teilchenphysik ( $0\nu\beta\beta$ )



4.2 $\sigma$  Hinweis für  $m_{ee} = 0.44$  eV [0.1-0.9eV] ??

HV Klapdor et al., Phys.Lett. B586 (2004) 198

# KATRIN Kollaboration

K. Maier, R. Vianden

Universität Bonn, Helmholtz - Institut für Strahlen- und Kernphysik (D)

J. Herbert, O. Malyshev, R. Reid

ASTeC\*, CCLRC- Daresbury Laboratory, Daresbury (UK) (\*Expertengruppe)

I.N. Meshkov, Y. Syresin

JINR\*, Dubna (RU) (\*asso. Mitglied)

A. Osipowicz

Fachhochschule Fulda, FB Elektrotechnik (D)

T. Armbrust, L. Bomschein, G. Drexlin, F. Eichelhardt, F. Habermehl, F. Schwamm, J. Wolf

Universität Karlsruhe, Institut für Experimentelle Kernphysik (D)

J. Blümer, K. Eitel, A. Felden, B. Freudiger, F. Glück, S. Grohmann, R. Gumbsheimer, T. Höhn, H. Hucker, N. Kernert, H. Krause, M. Mark,

X. Luo, K. Müller, S. Mutterer, P. Plischke, K. Schlösser, U. Schmitt, M. Steidl, H. Weingardt

Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Kernphysik (D)

A. Beglarian, H. Gemmeke, S. Wüstling

Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Prozeßdatenverarbeitung und Elektronik (D)

C. Day, R. Gehring, K.-P. Jüngst, P. Komarek, H. Neumann, M. Noe, M. Süßer

Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Technische Physik (D)

U. Besserer, B. Bomschein, L. Dörr, M. Glugla, G. Hellriegel, O. Kazachenko, P. Schäfer, J. Wendel

Forschungszentrum Karlsruhe, Tritium Labor Karlsruhe (D)

M. Keilhauer, M. Neuberger, A. Weis

Forschungszentrum Karlsruhe, S-Bereich: Kfm. Projektentwicklung/Aufträge (D)

J. Angrik, J. Bonn, R. Carr, K. Essig, B. Flatt, C. Kraus, E.W. Otten, P. Schwitzer, D. Sevilla Sanchez

Universität Mainz, Institut für Physik (D)

H.W. Ortjohann, B. Ostrick, M. Prall, T. Thümmel, N.A. Titov, K. Valerius, C. Weinheimer

Universität Münster, Institut für Kernphysik (D)

G.R. Myneni

Jefferson Laboratory/Old Dominion\*, Newport News (USA) (\*Expertengruppe)

F. Sharipov

Universidade Federal do Parana\*, (Brasilien) (\*Expertengruppe)

E.V. Geraskin, O.V. Ivanov, V.M. Lobashev, S. Osipov, A. Skasyrskaya, V. Usanov, S.A. Zadorozhny

Academy of Sciences of Russia, INR Troitsk (RU)

O. Dragoun, J. Kašpar, A. Kovalík, M. Ryšavy, A. Špalek, D. Vénos, M. Zbořil

Czech Academy of Sciences, NPI, Řež / Prague (CZ)

T. Burritt, P.J. Doe, J. Formaggio, G. Harper, M. Howe, M. Leber, K. Rielage, R.G.H. Robertson, T. Van Wechel, J.F. Wilkerson

University of Washington, Seattle (USA)

M. Charlton, A.J. Davies, R. Lewis, H.H. Telle

University of Wales, Swansea (UK)

z.Zt. **105 Mitglieder**

D-USA-UK-RU-CZ-BR

18 Institute

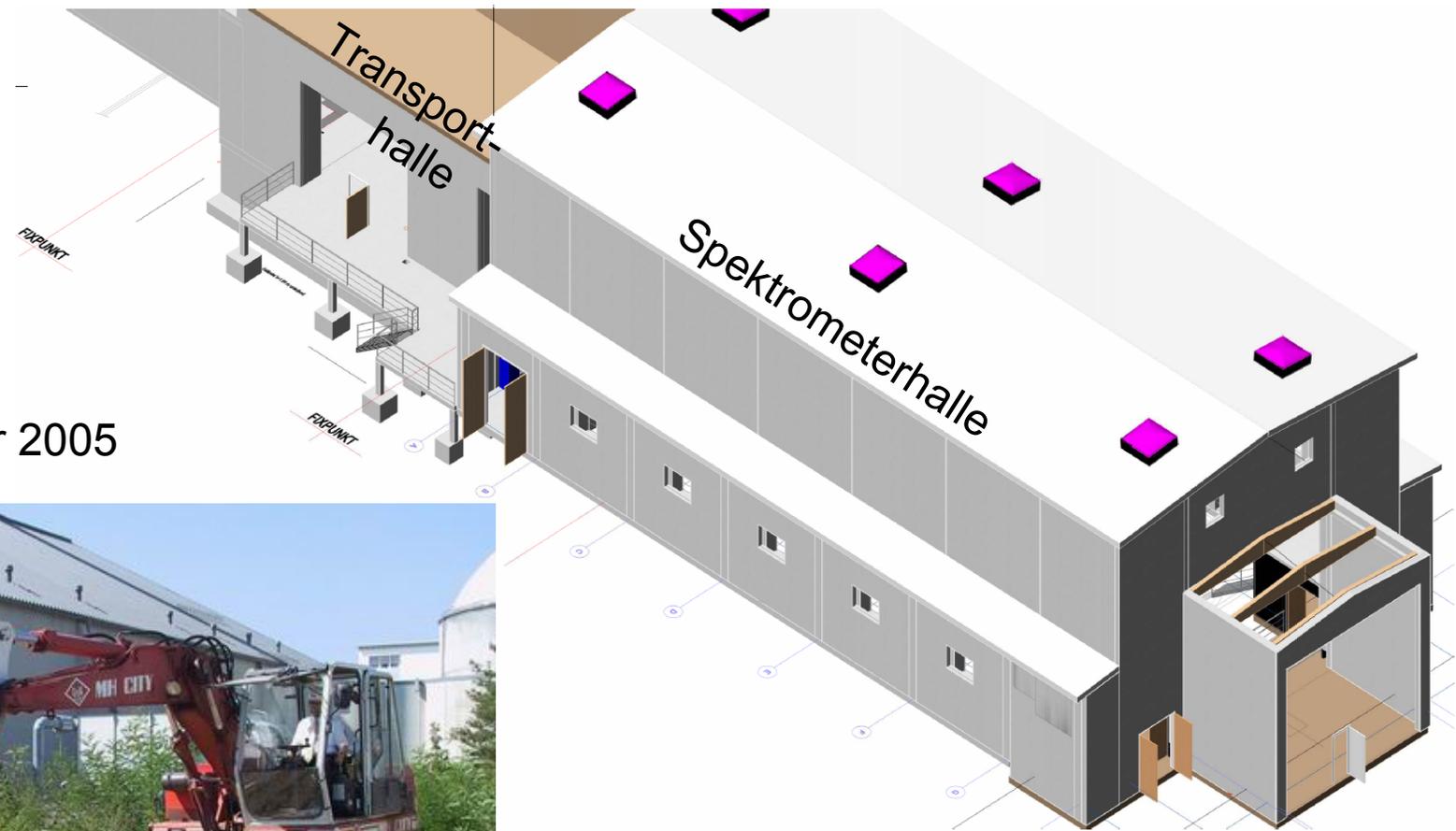
**neu 2005: MIT, UCL**



# KATRIN Zeitplan

- 2001 Gründung der KATRIN Kollaboration, Lol: *hep-ex/0109033*,  
BMBF Förderung ‚Astroteilchenphysik‘
- 2002 Untergrundstudien, F&E Arbeiten
- 2003 Vorspektrometer, Auftrag für erste große Magnetgruppe
- 2004 Begutachtung HGF Programm, Design Report 2004,  
Aufträge für Hauptspektrometer, WGTS & He-Verflüssiger,...
- 2005-07 **elektromagn. Tests Vorspektrometer**  
Aufbau & Test der Hauptkomponenten (WGTS, Spektrometer,  
Transportelemente, Experimenthallen,...)

# KATRIN Spatenstich



5. September 2005

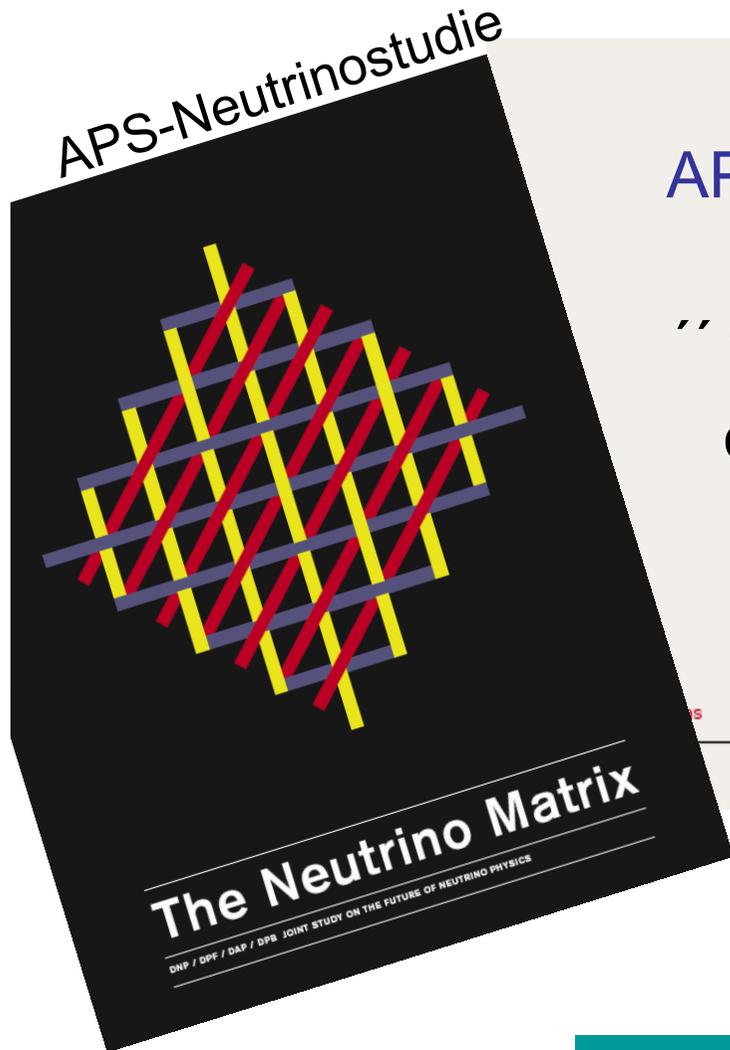


Beginn der Bauarbeiten  
durch R. Maschuw

# KATRIN Zeitplan

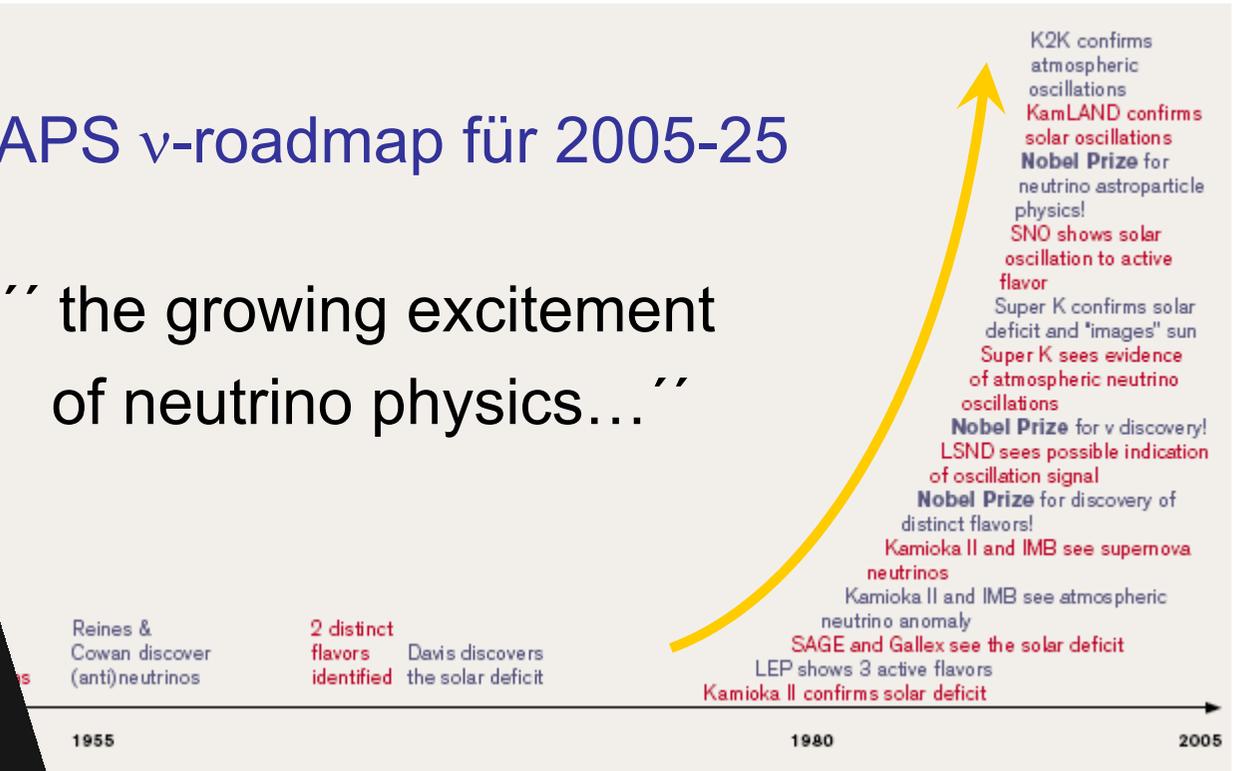
- 2001 Gründung der KATRIN Kollaboration, Lol: *hep-ex/0109033*  
BMBF Förderung ‚Astroteilchenphysik‘
- 2002 Untergrundstudien, F&E Arbeiten
- 2003 Vorspektrometer, Auftrag für erste große Magnetgruppe
- 2004 Begutachtung HGF Programm, Design Report 2004,  
Aufträge für Hauptspektrometer, WGTS & He-Verflüssiger,...
- 2005-07 **elektromagn. Tests Vorspektrometer**  
Aufbau & Test der Hauptkomponenten (WGTS, Spektrometer,  
Transportelemente, Experimenthallen,...)
- 2008 Systemintegration & Inbetriebnahme von Systemabschnitten  
erste Test-Messungen
- 2009-14 Tritiummessungen

# Ausblick



## APS $\nu$ -roadmap für 2005-25

“ the growing excitement of neutrino physics... ”



wichtige Fragestellungen für Zukunft:

1. „what are the masses of the neutrinos?“

KATRIN - einziger modellunabhängiger Ansatz

- Aufbauarbeiten schreiten zügig voran