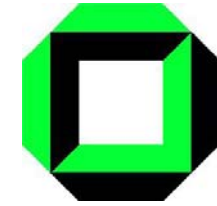




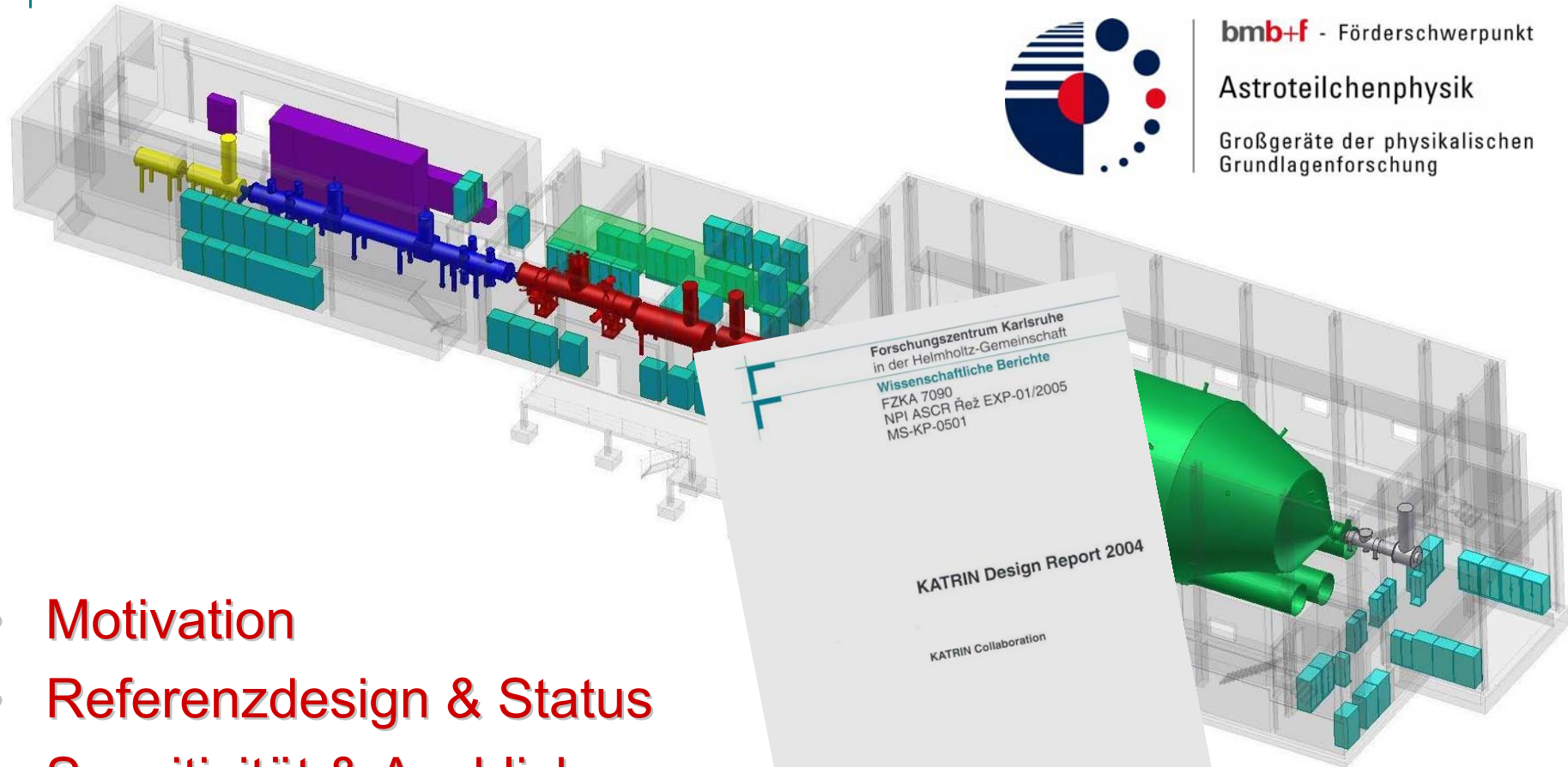
Das KATRIN Experiment



bmb+f - Förderschwerpunkt

Astroteilchenphysik

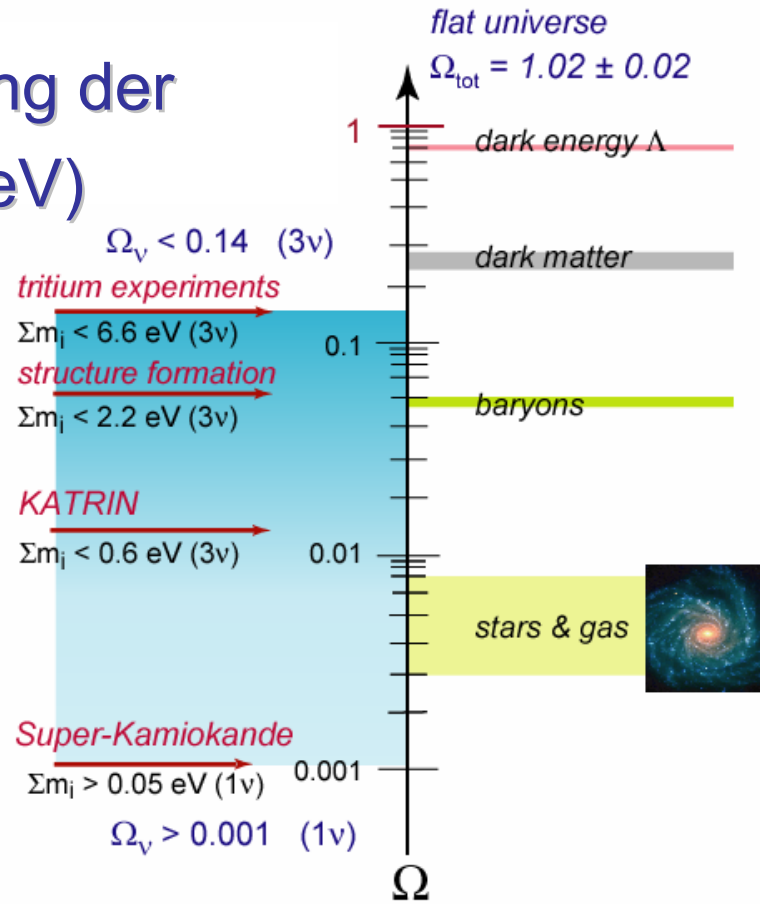
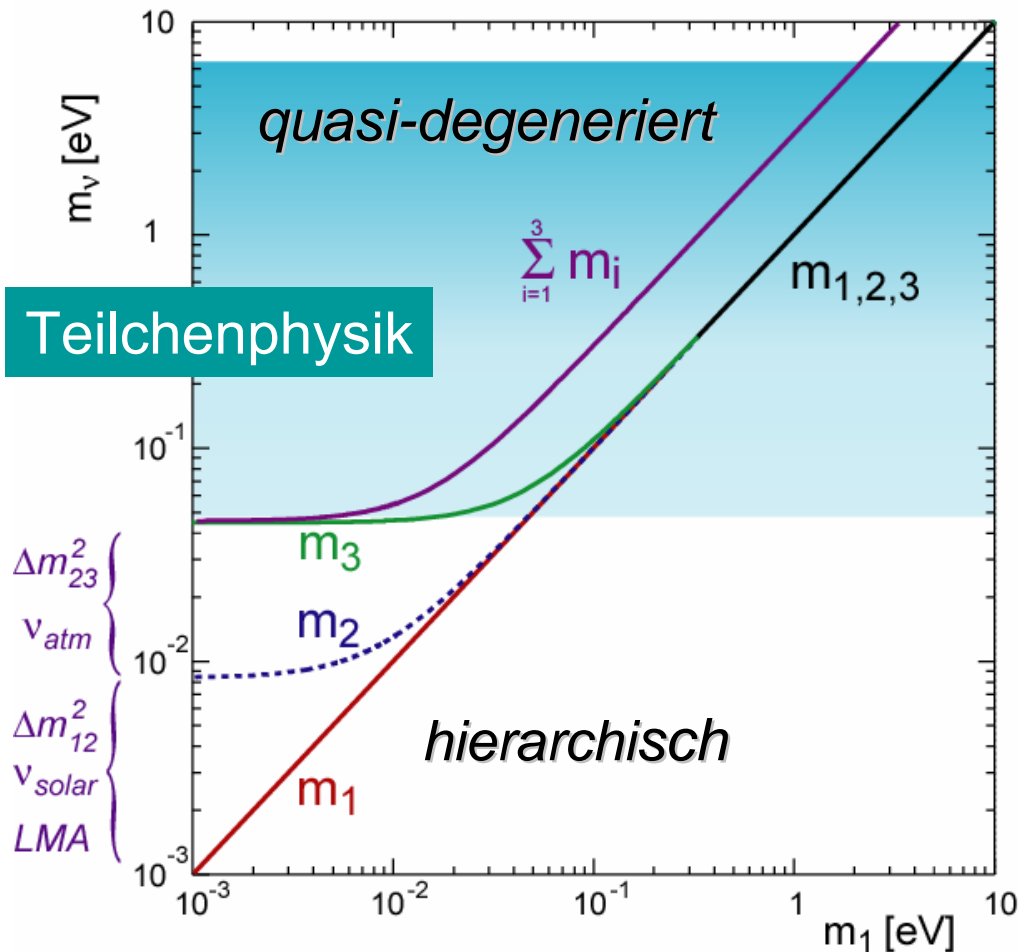
Großgeräte der physikalischen
Grundlagenforschung



- Motivation
- Referenzdesign & Status
- Sensitivität & Ausblick

Motivation - Astroteilchenphysik

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



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

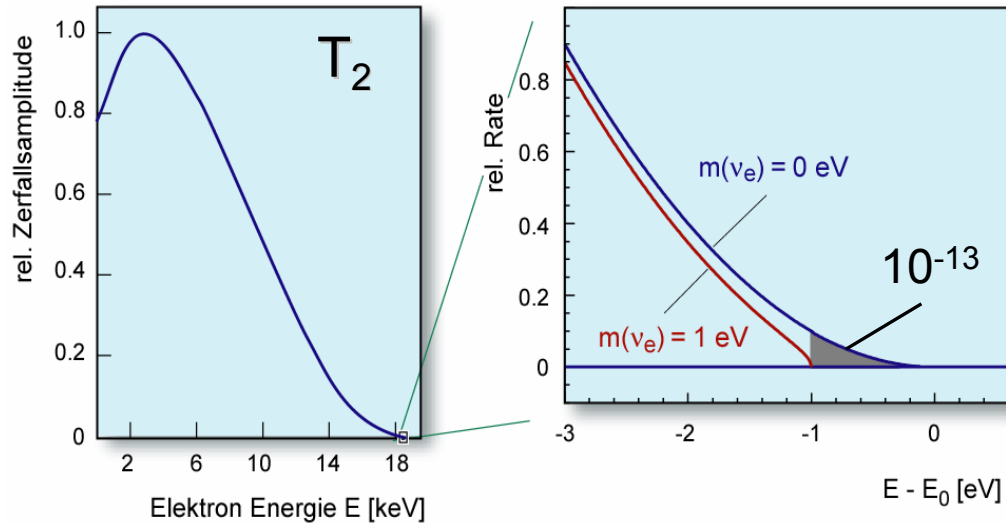
Kosmologie



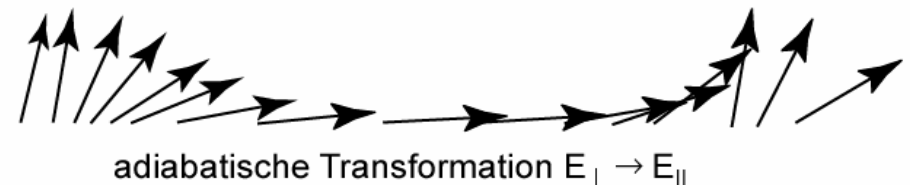
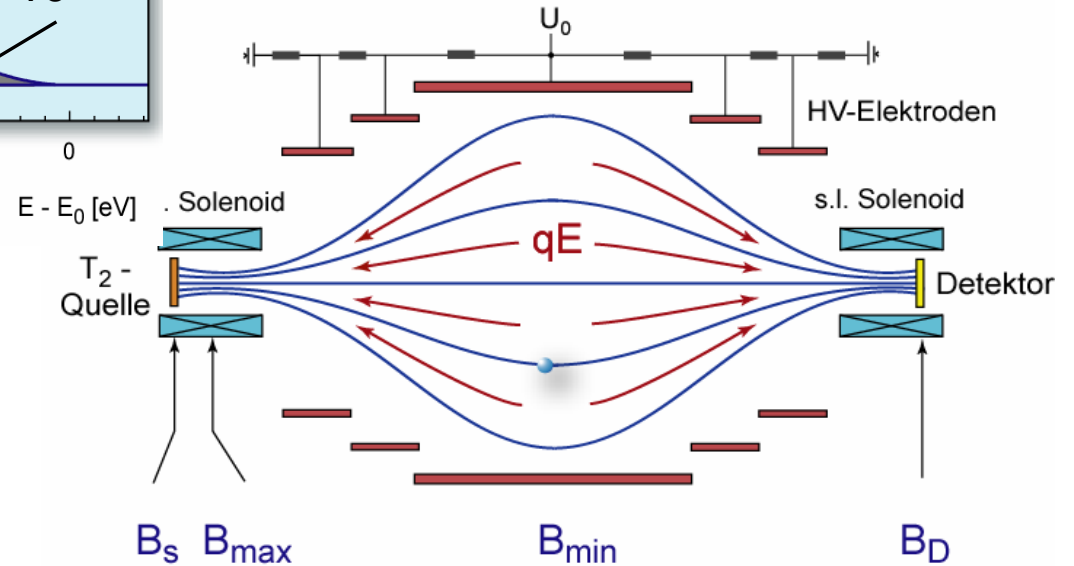
KATRIN Messprinzip

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

$\exp. \text{Observable} = m_\nu^2$



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



Magnetfeld:

adiab. Führung der Elektronen

Elektrisches Feld:

präzise Energieanalyse

wichtig: magnetische

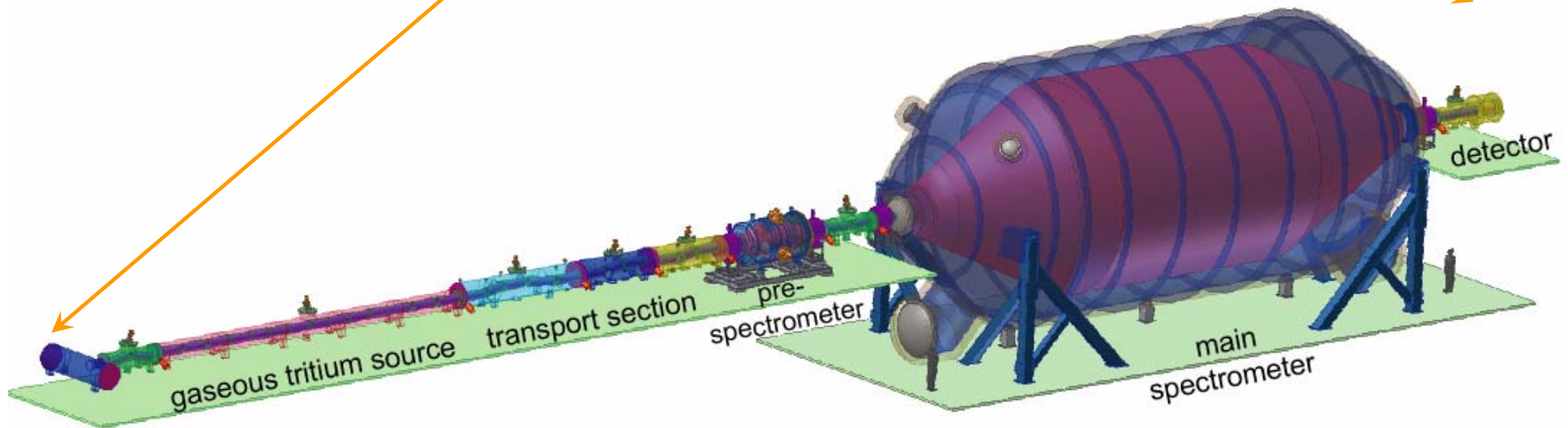
adiabatische Kollimation!

Das KATRIN Experiment



*Karlsruhe Tritium
Neutrino Experiment*

im Aufbau am Tritiumlabor
Karlsruhe (TLK) am
Forschungszentrum
Karlsruhe

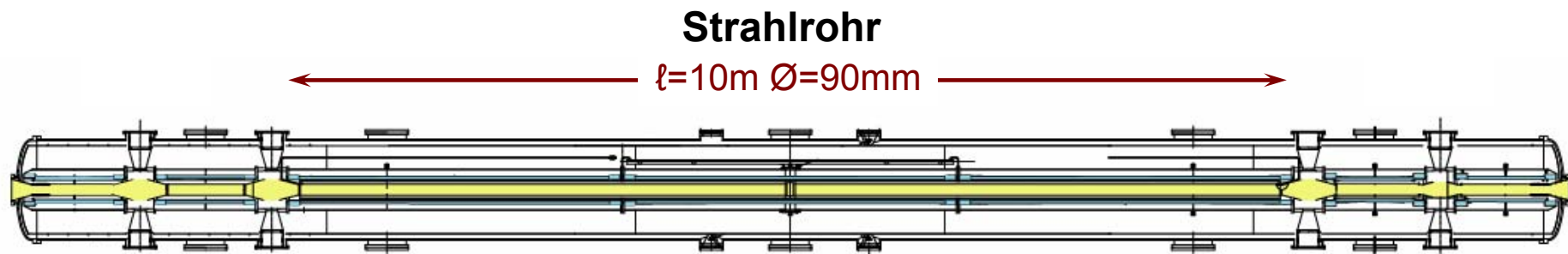


Fensterlose Tritiumquelle - Auslegung

molekulare gasförmige β -Quelle maximaler Luminosität (10^{11} β /s)

- integrales Designkriterium: Säulendichte $\rho d = 5 \times 10^{17}$ Moleküle / 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 l / s

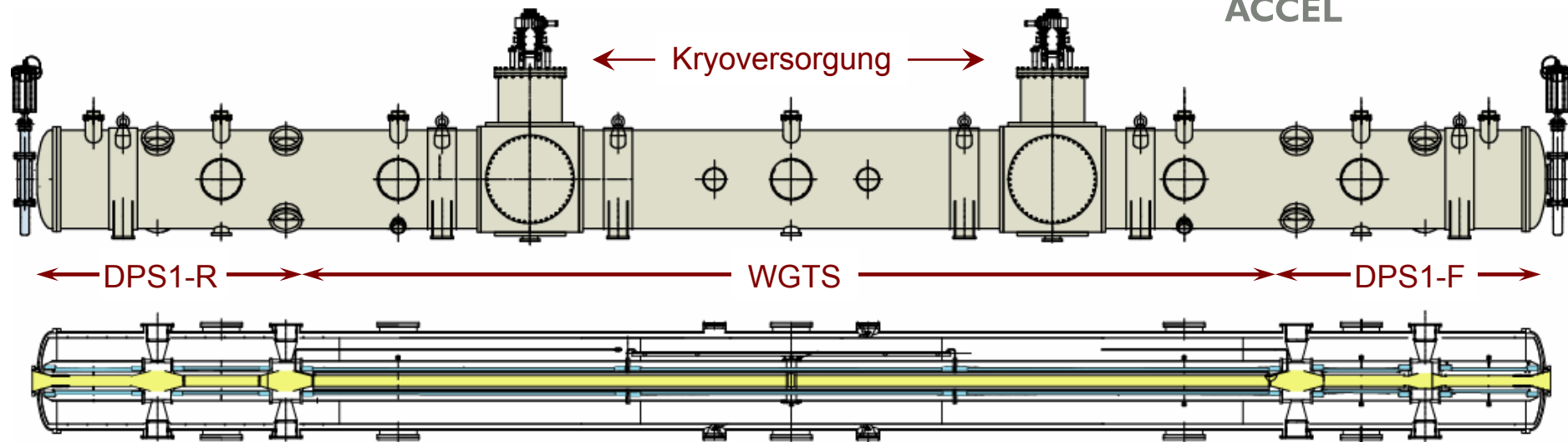
12/2004: Auftragsvergabe

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 $> 2000 \text{ l/s}$

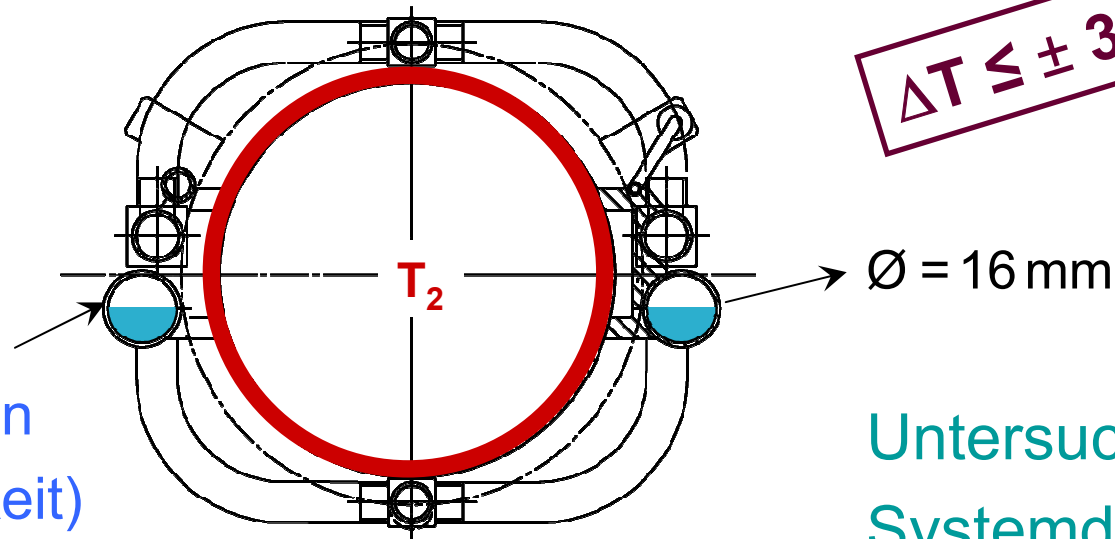
WGTS – Kühlkonzept Strahlrohr

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: T₂ – Kreislauf

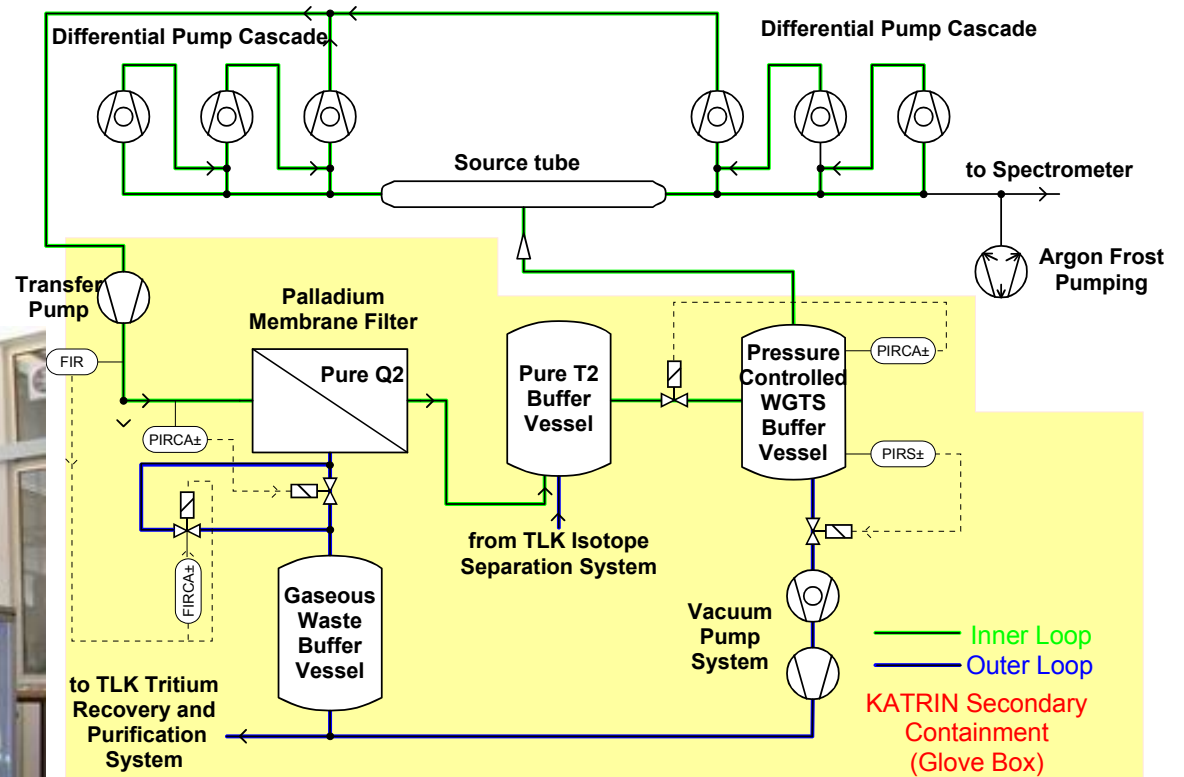
Testexperiment TILO

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

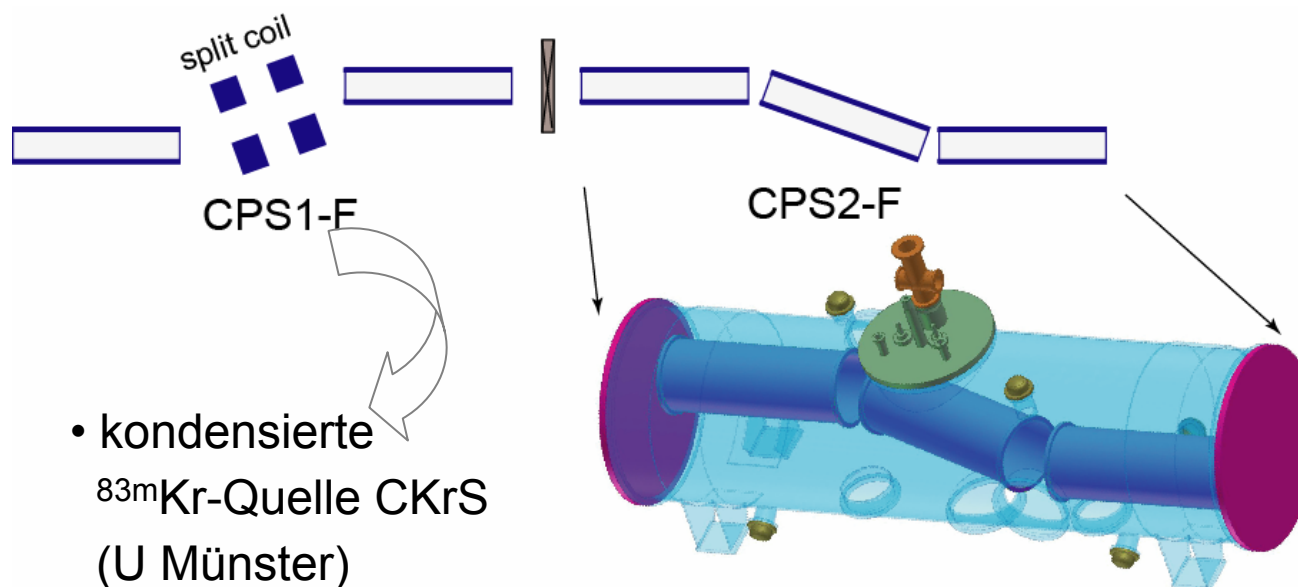
Kryogene Pumpstrecke - Auslegung

Aufgabe: Rückhaltung Tritiumfluß aus differ. Pumpstrecke

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

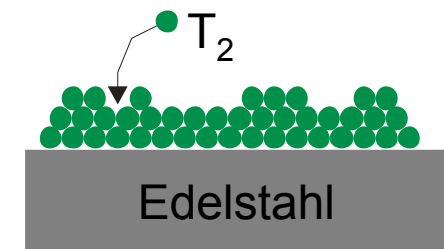
Methode: **Kryosorption** an kondensiertem Ar-Frost

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

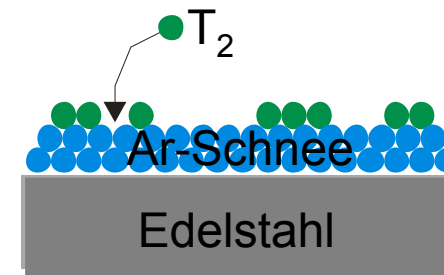


- kondensierte ^{83m}Kr -Quelle CKrS (U Münster) s. Postersession

Kryokondensation



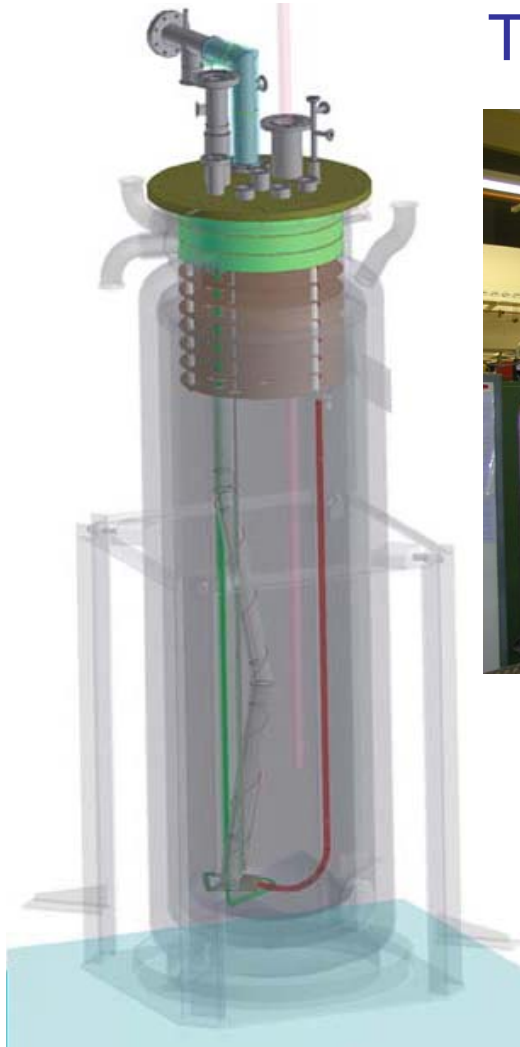
Kryosorption



Kryogene Pumpstrecke - TRAP

Testexperiment TRAP:

- T_2 - Sorption an Ar
- T_2 - Migration?

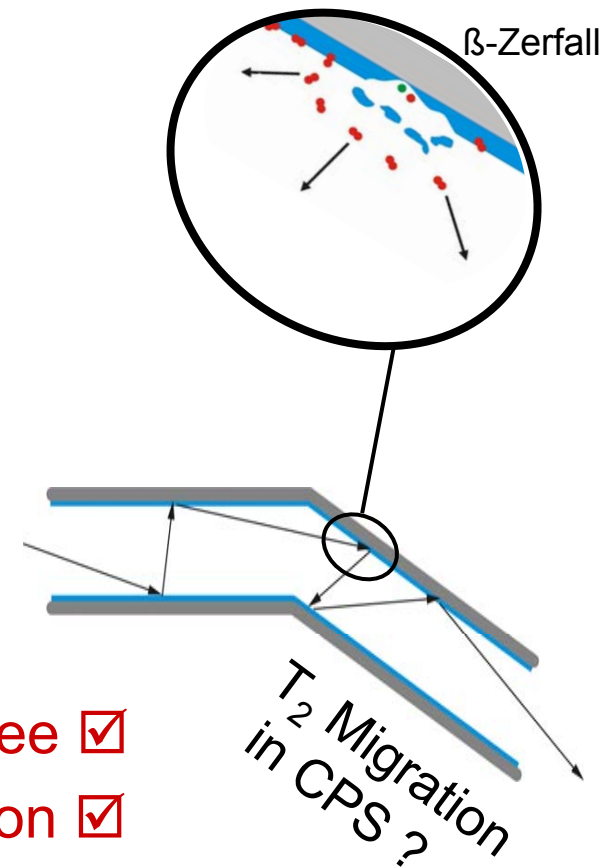


Tritium Argon Pump



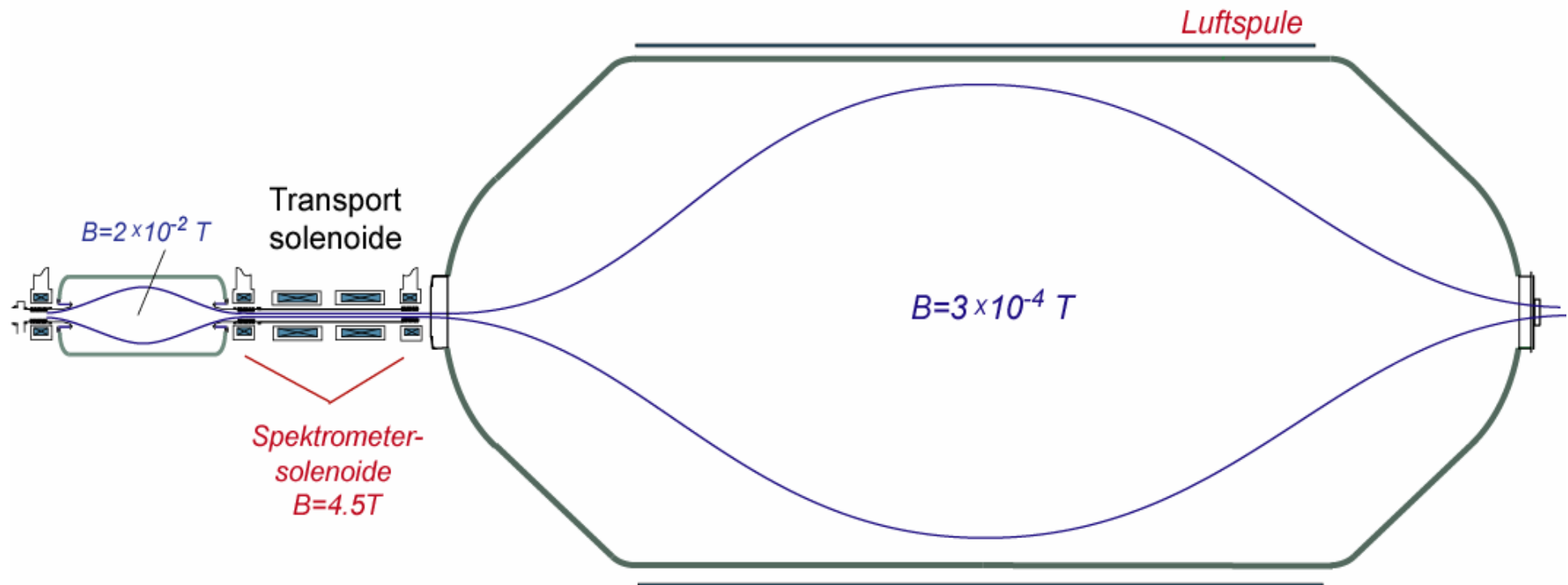
erste Messungen mit DT
im August/Sept. 2005:

- Sorptionsrate an Ar-Schnee
 - keine sichtbare T_2 Migration
- ↪ tritiumfreie Spektrometer



Elektrostatische Spektrometer - Auslegung

Tandem: Vorfilter & Energieanalyse von β -Zerfallselektronen



Vorspektrometer

festes Retardierungspotenzial 18.4 kV

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

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

Hauptspektrometer

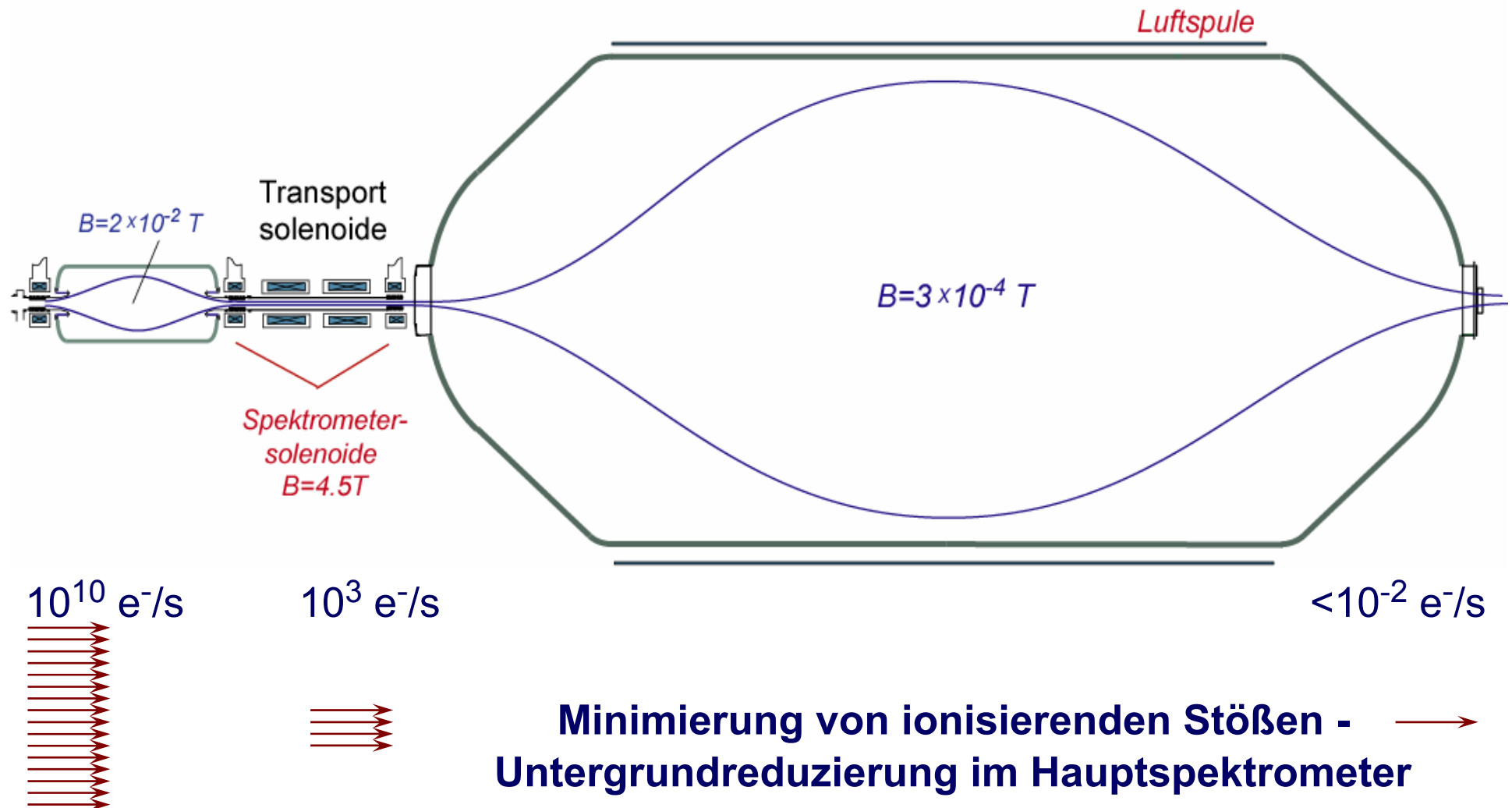
variables Retardierungspotenzial 18.5-18.6 kV

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

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

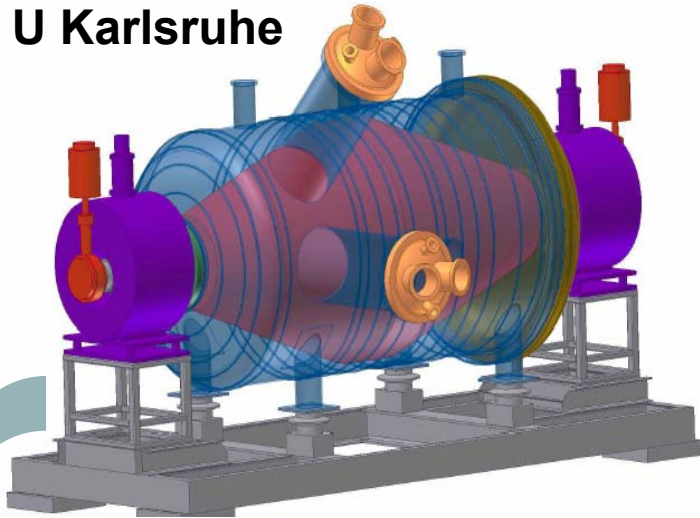
Elektrostatische Spektrometer - Auslegung

Tandem: Vorfilter & Energieanalyse von β -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

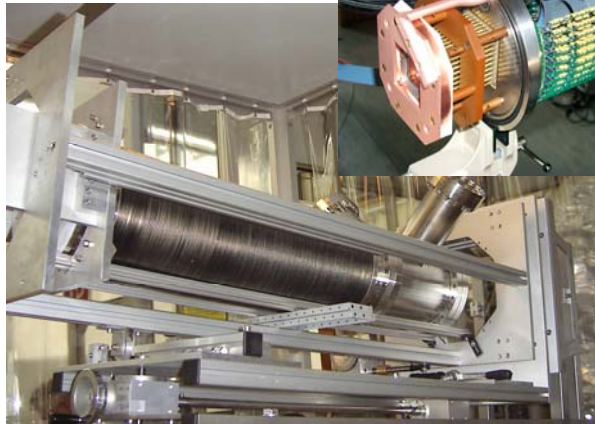
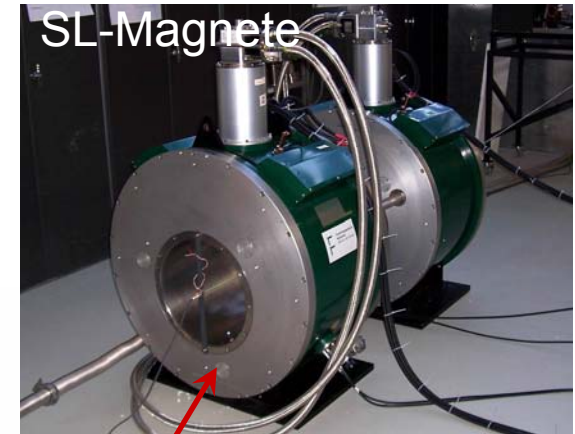


Vorspektrometer – elmagn. Tests

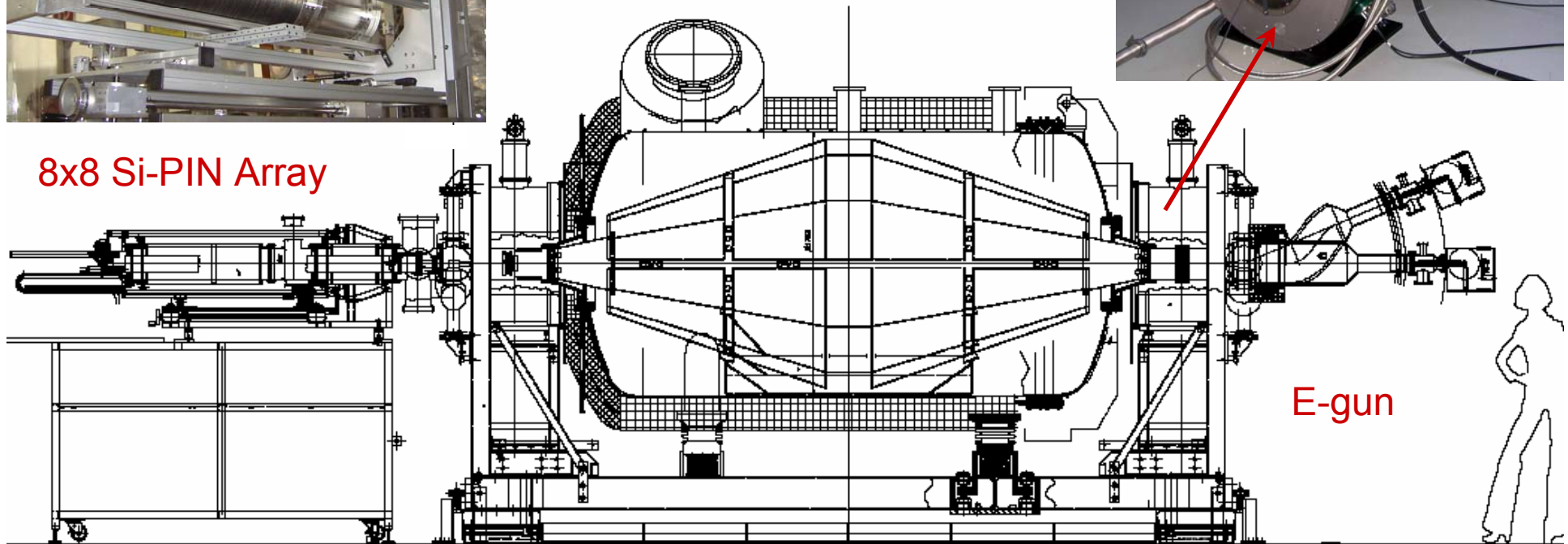
Aufgabe: Verifikation des elektromagnetischen Konzeptes



Meßbeginn:
Herbst 2005

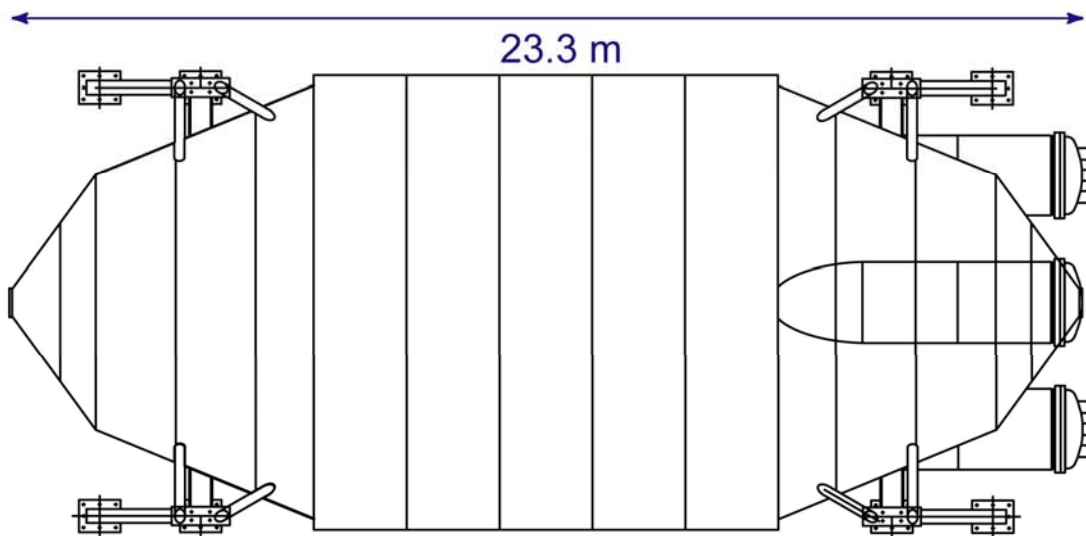
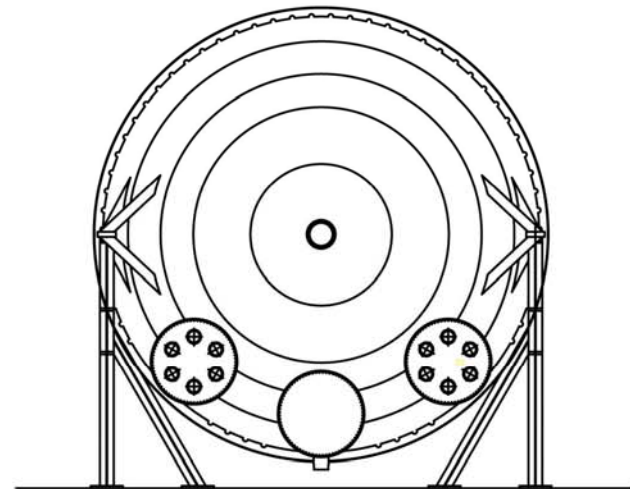
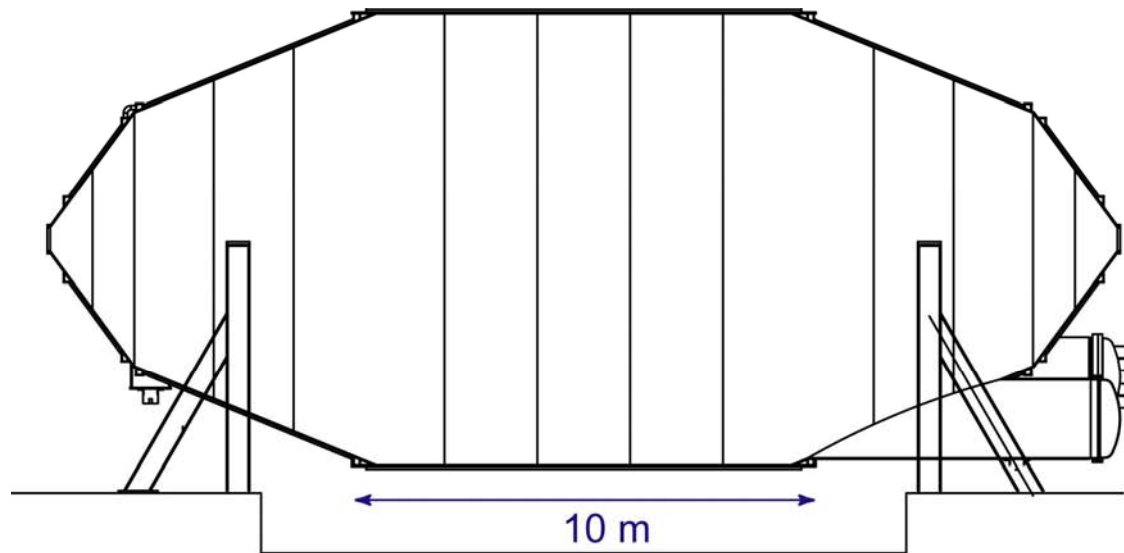


8x8 Si-PIN Array



E-gun

Hauptspektrometer – DWE Design



Design Parameter:

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

Auftragsvergabe 12/04

Hauptspektrometer – Fertigung

Plasmaschneiden unter Wasser

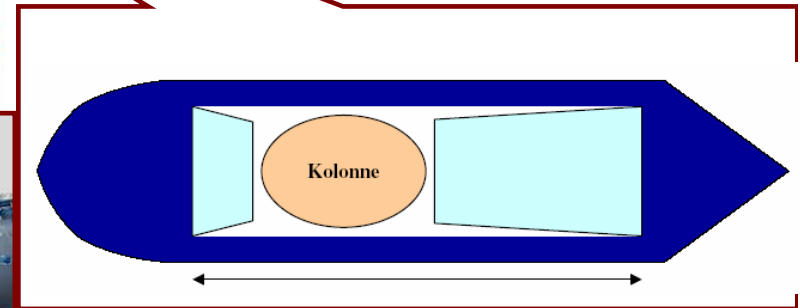
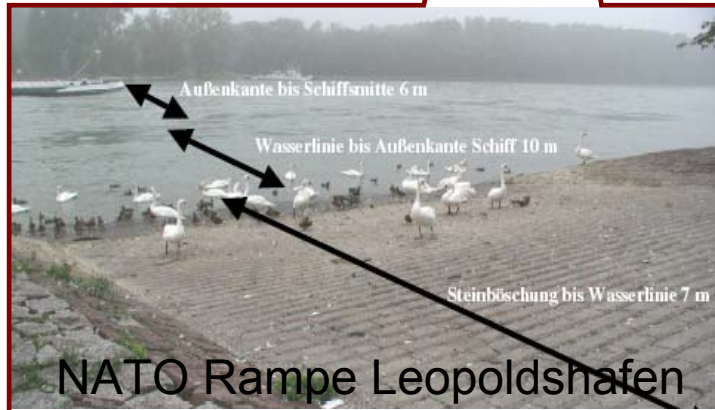
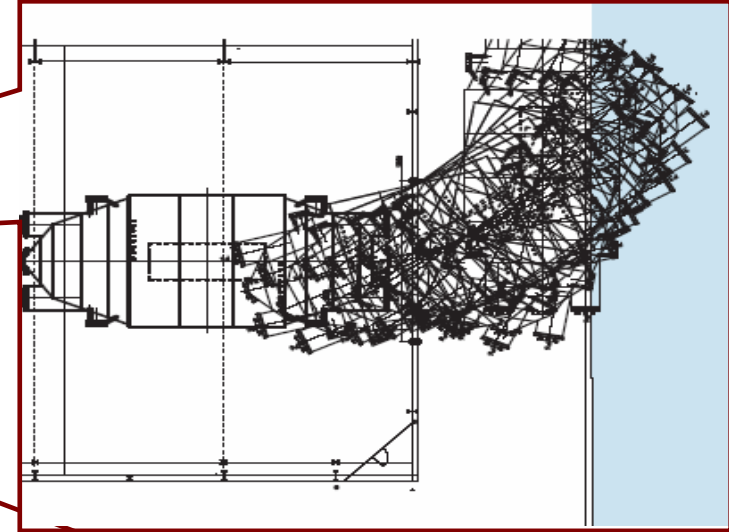


Fertigungshalle DWE

Donau

Edelstahlbleche
nach Plasmaschneiden

Hauptspektrometer – Transportlogistik

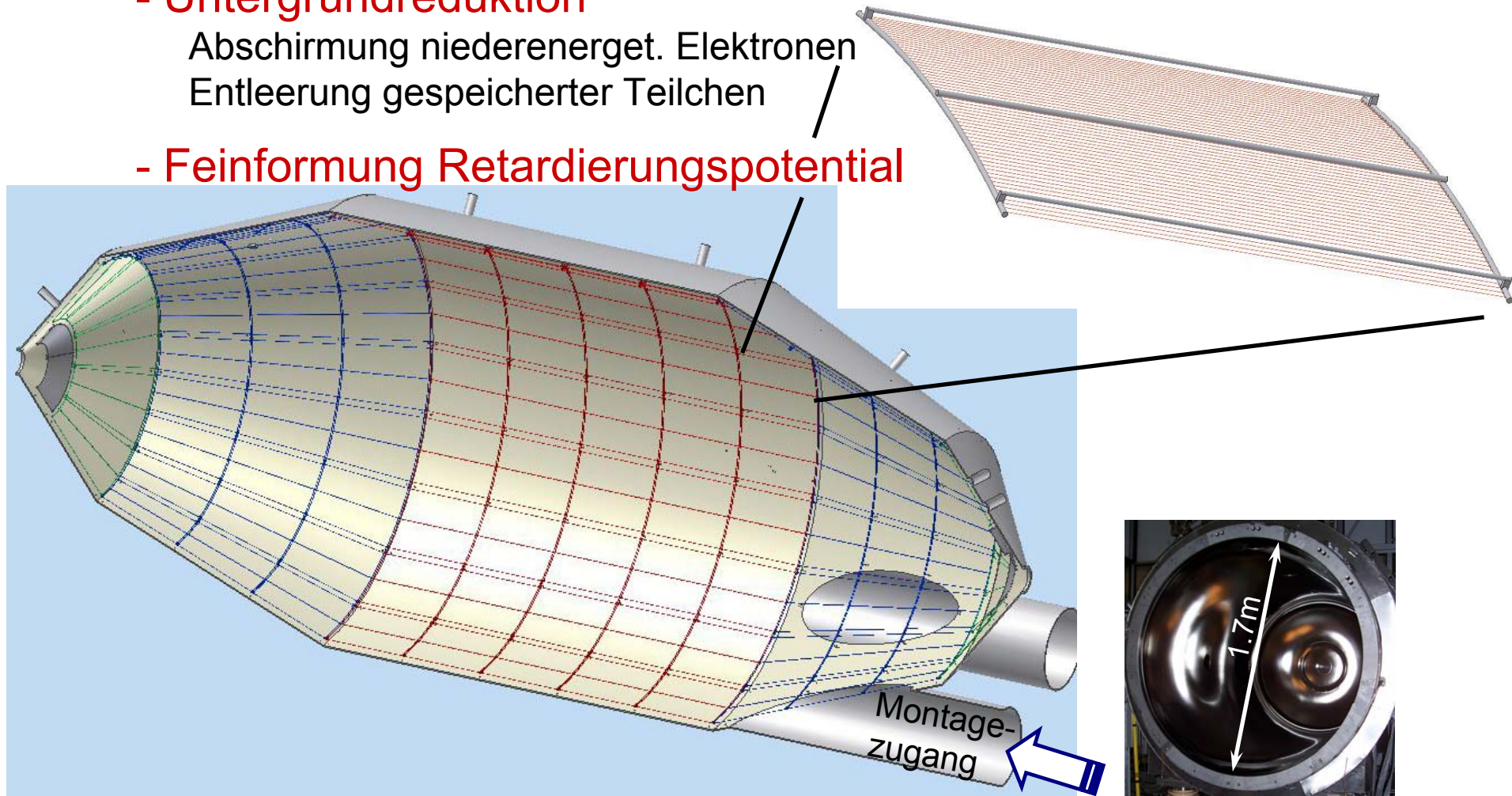


Anlieferung:
 Spätsommer 2006

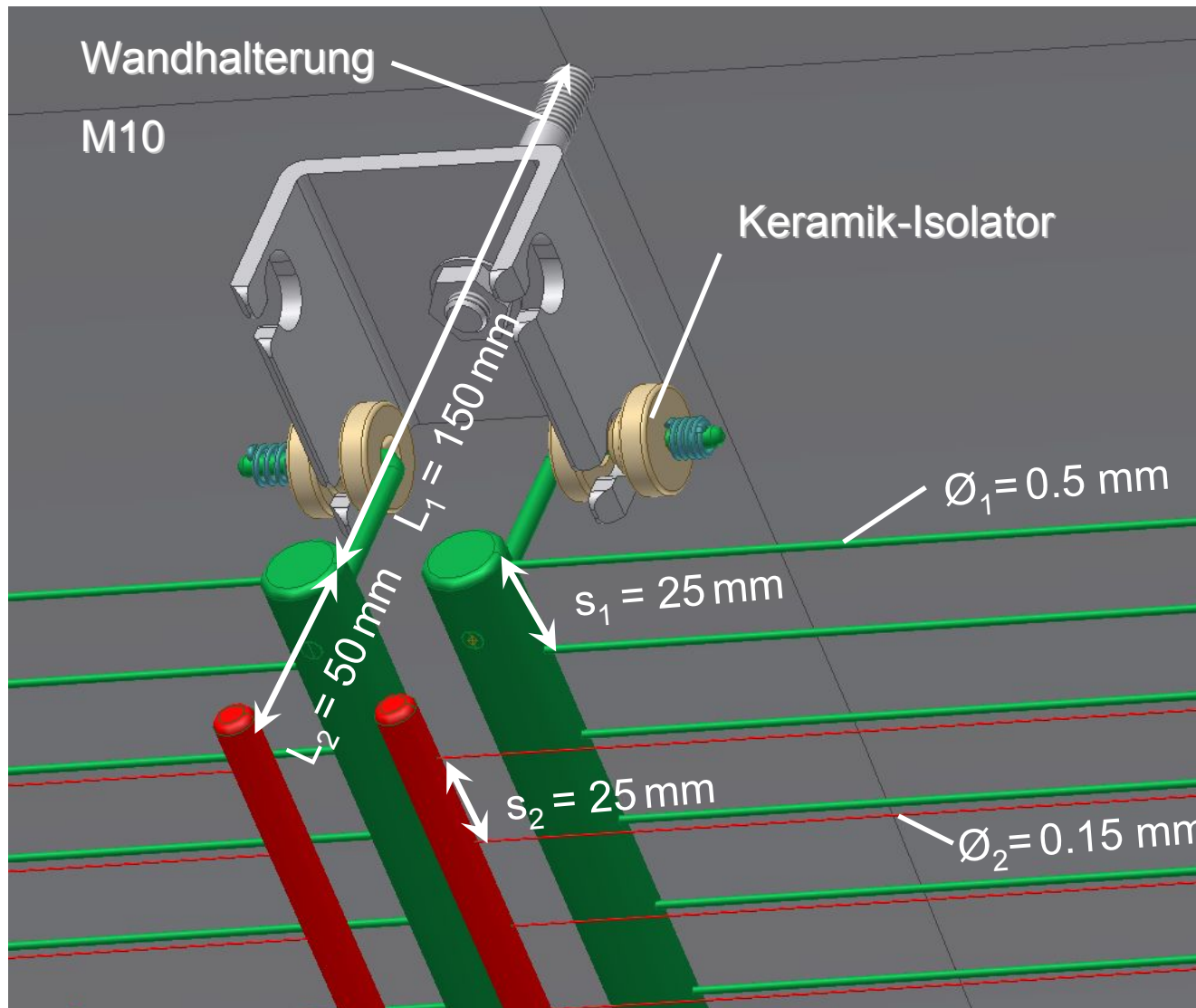
Hauptspektrometer – innere Elektrode

Aufgaben des inneren Draht-Elektrodensystems:

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



Inneres Draht-Elektrodensystem



Doppellagiges System (U Münster)

1. Drahtebene

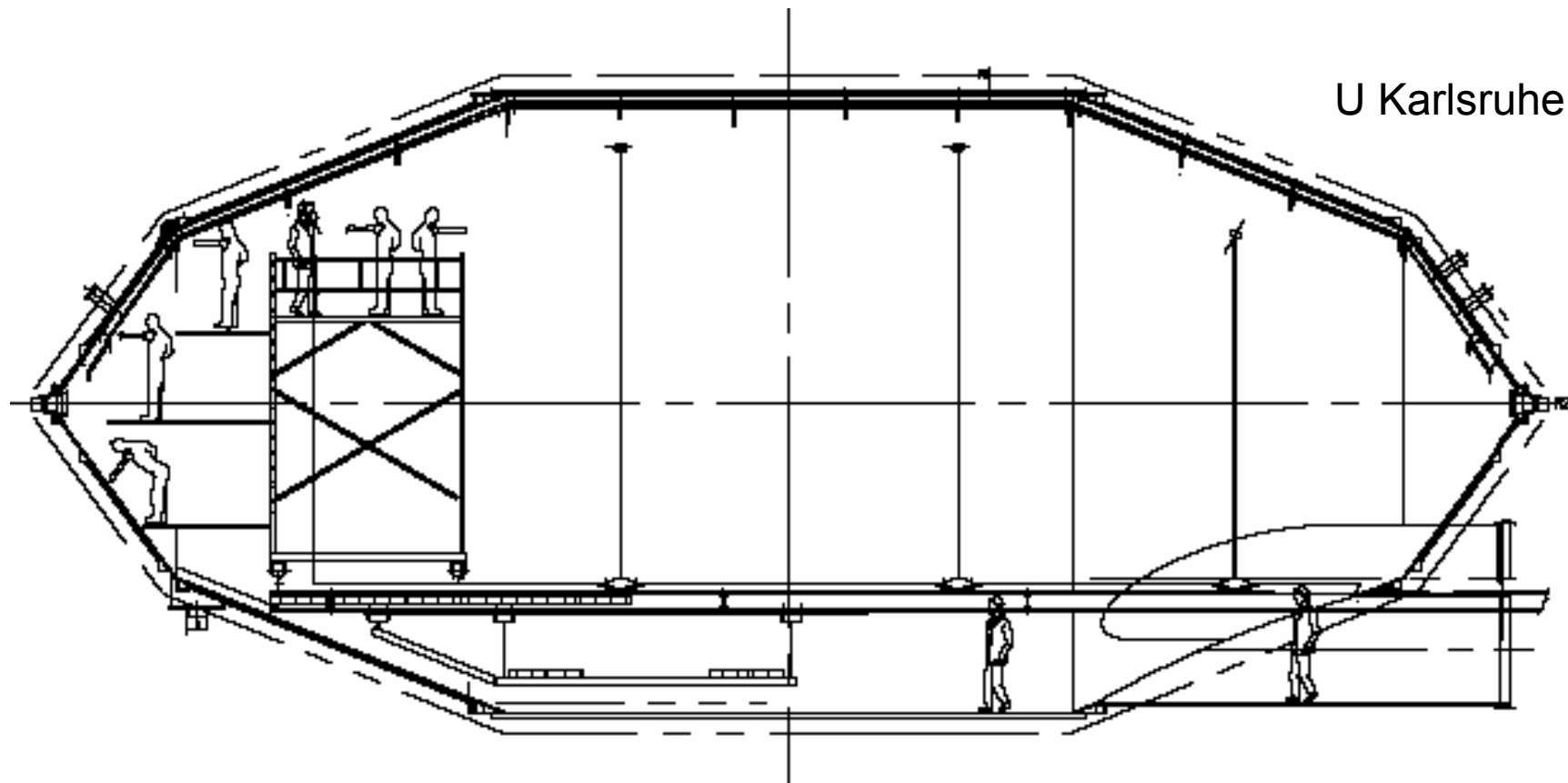
parallel / äquidistant
zu Spektrometerwand
const. Drahtanzahl
const. $U_1 = U_{sp} + \Delta U_1$

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 !

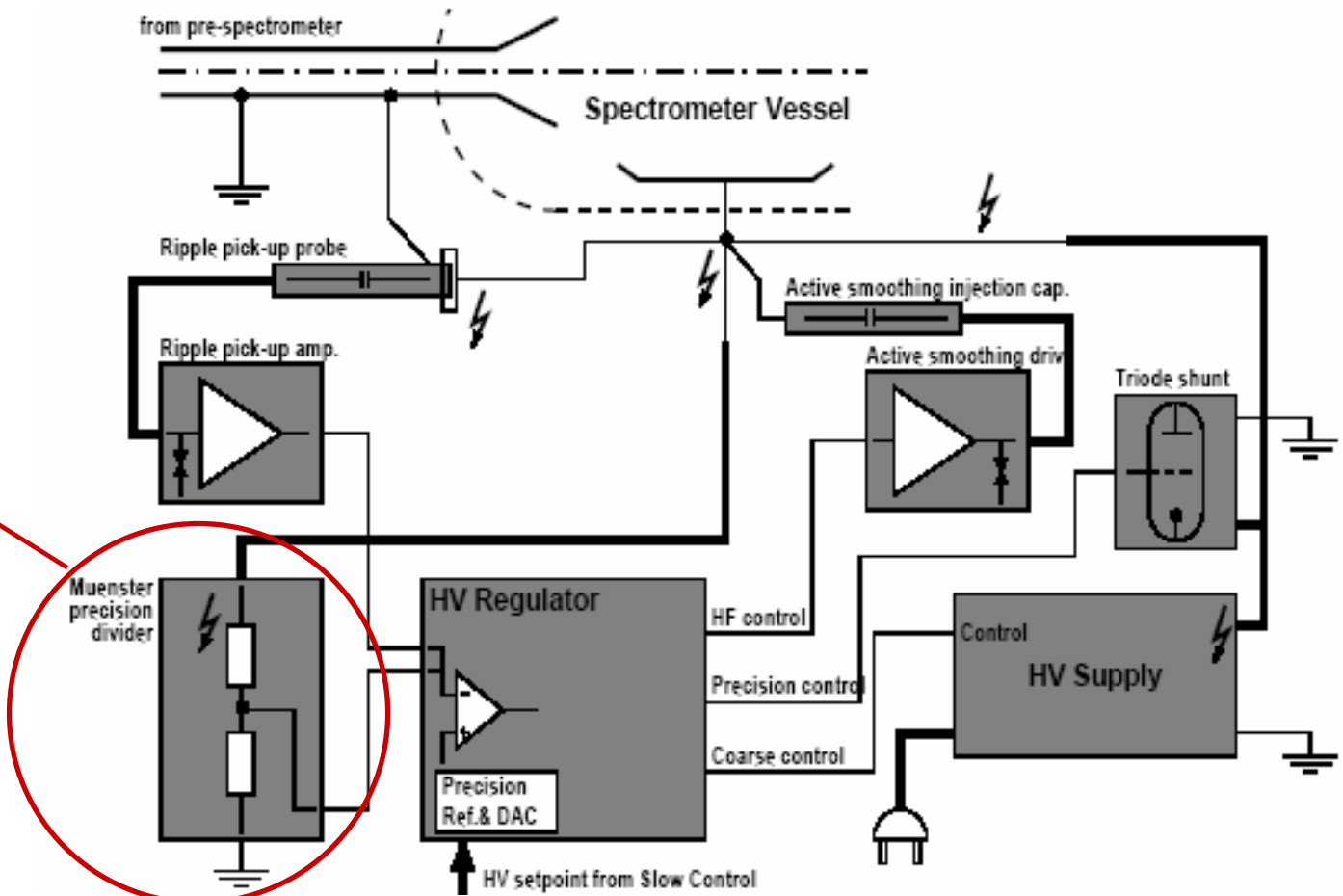


extrem präziser
HV-Teiler

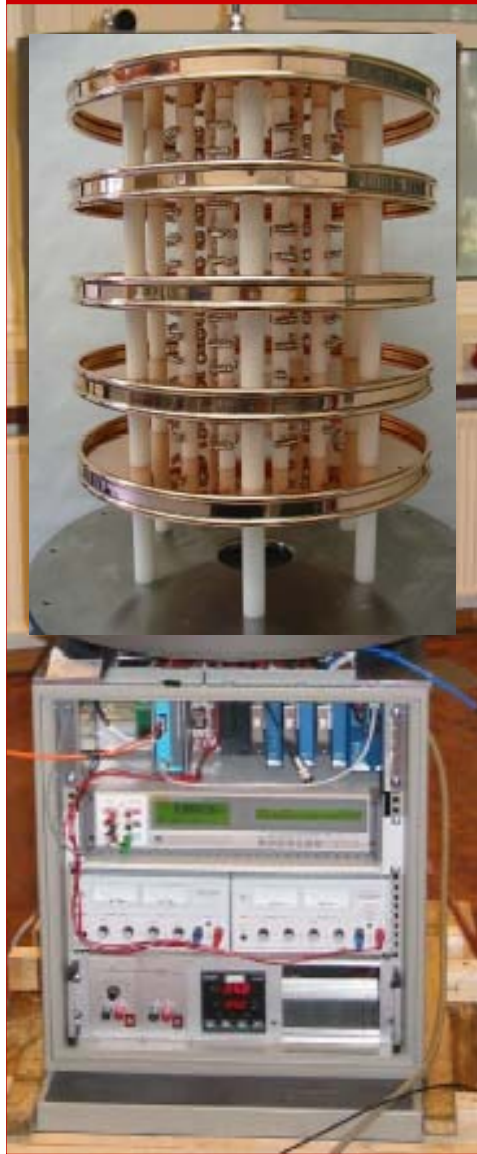
Präzisions-HV Versorgung

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

Konzept eines HV-Regulationssystems (FZK)



extrem präziser
HV-Teiler



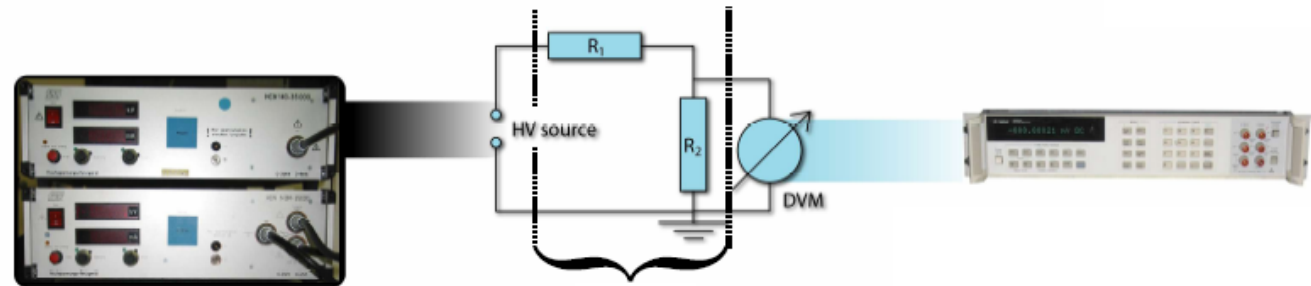
Präzisions-HV Versorgung

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

0 - 35 kV

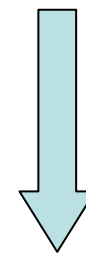
Spannungsteiler
1:1972

0 - 10 V



Präzisions-HV
Netzgerät

< ± 5 ppm Stabilität



Präzisions-Digital-
Voltmeter

0.5ppm/h (4ppm/1y)

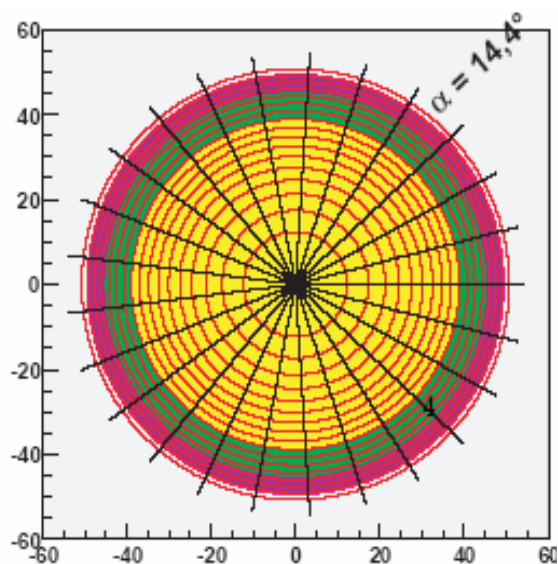
Test an PTB: sub-ppm Level !!
↪ ppm-Spannungsteiler ✓

Fokalebenenendetektor

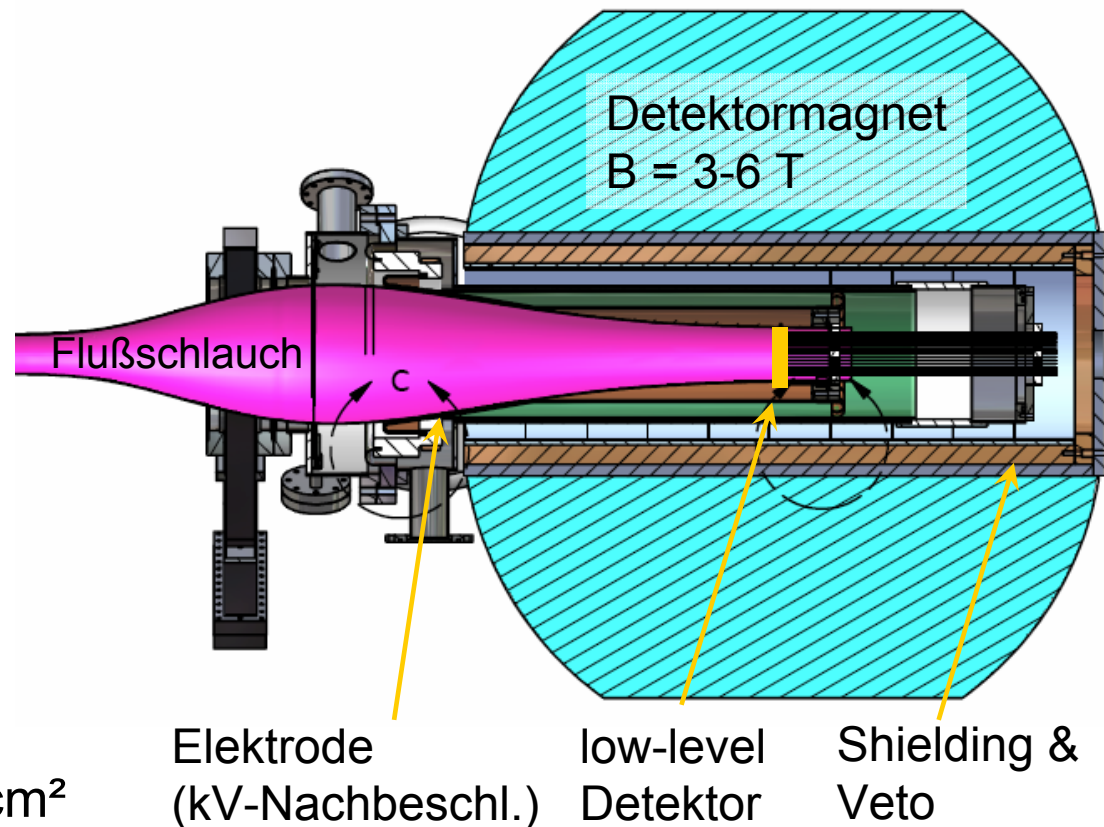
Aufgabe: **Nachweis** der transmittierten β -Zerfallselektronen mit hoher Energieauflösung ($\Delta E = 1$ keV)

Ausmessung **radiales Profil** des Flußschlauches

Ziel: **Untergrundminimierung**, systematische Effekte



Design: radial segmentiertes
Si-PIN Dioden Array
~400 Pixel mit $A=100$ cm²



KATRIN Designoptimierung

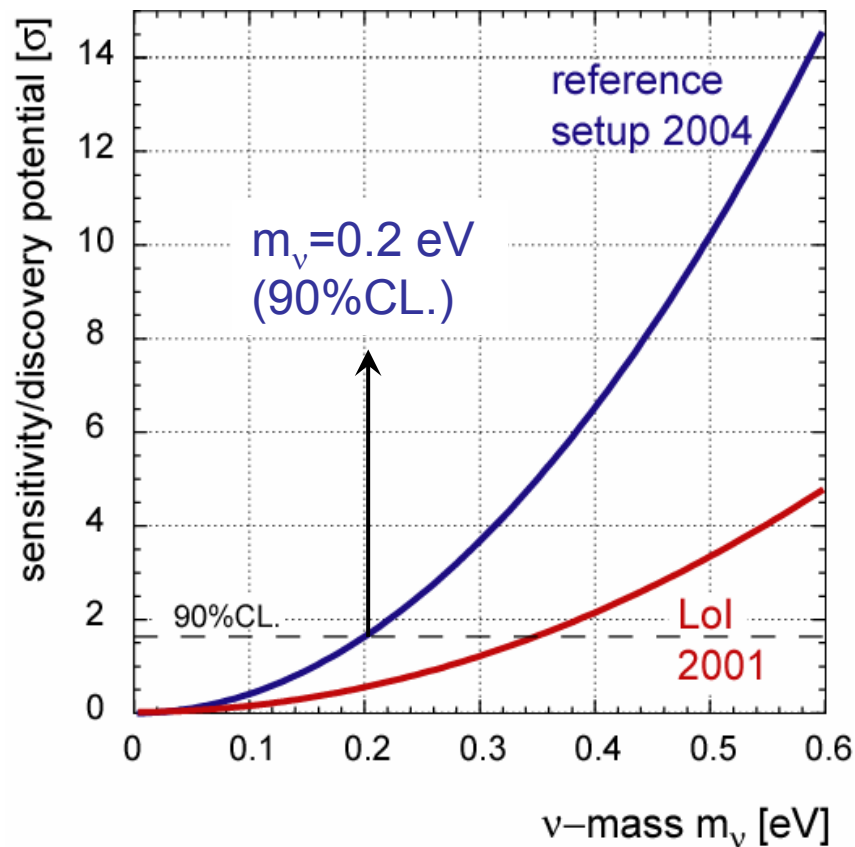
Verbesserung der exp. Sensitivität (2001-04)

- 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. β -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)

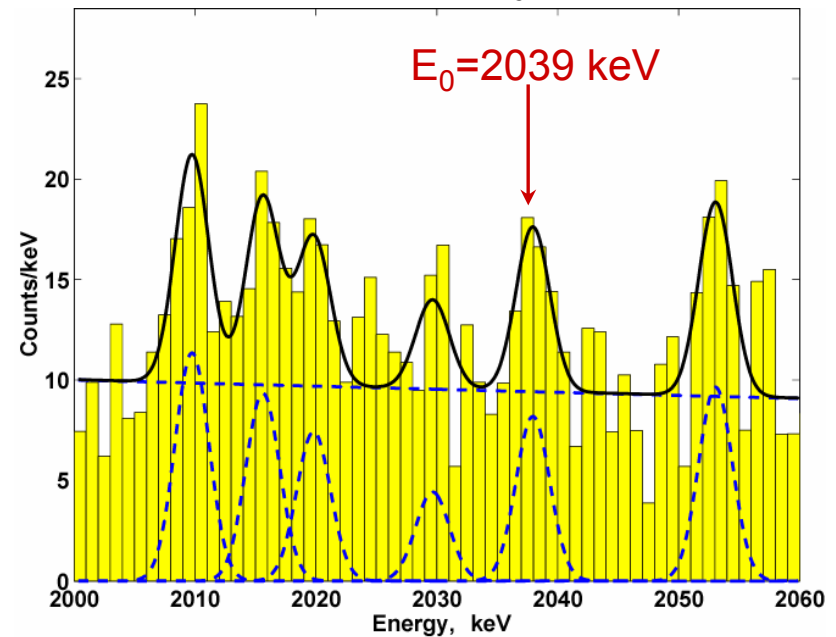
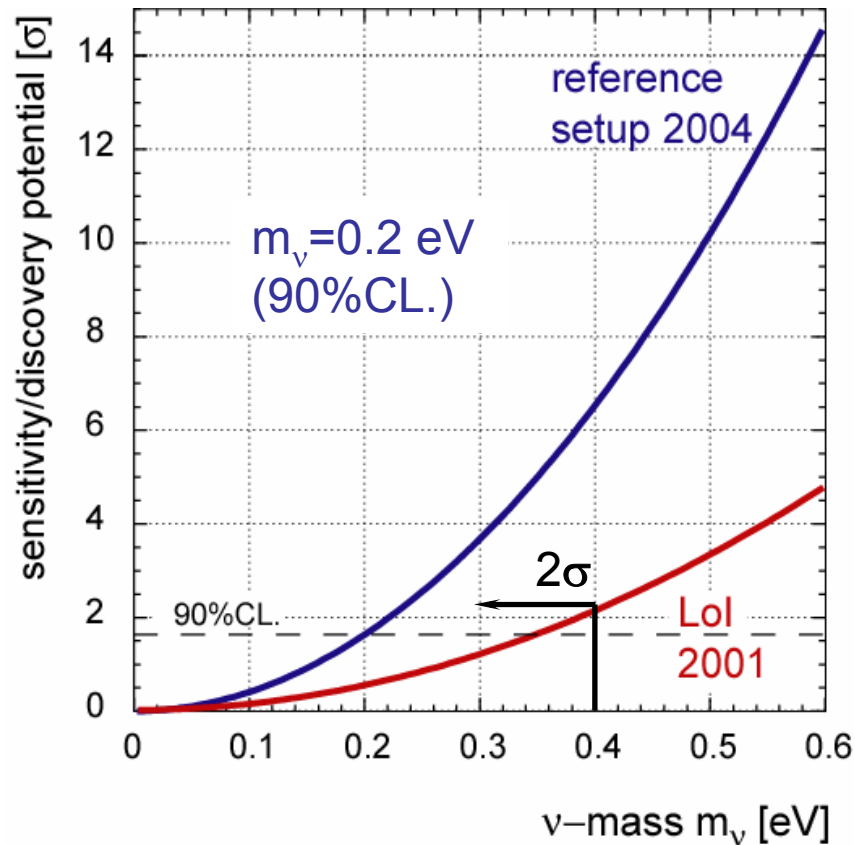
- verbesserte Statistik: Quell-Luminosität, T_2 Reinheit
 - reduzierte Systematik: β -Wechselwirkung in Quelle
- verbesserte Sensitivität



KATRIN Sensitivität & $\beta\beta$ -Zerfall

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

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



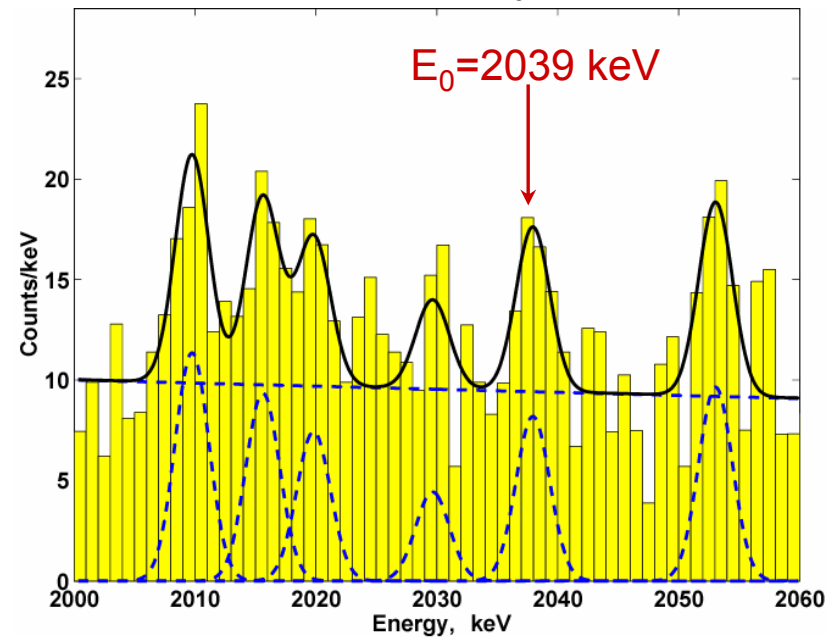
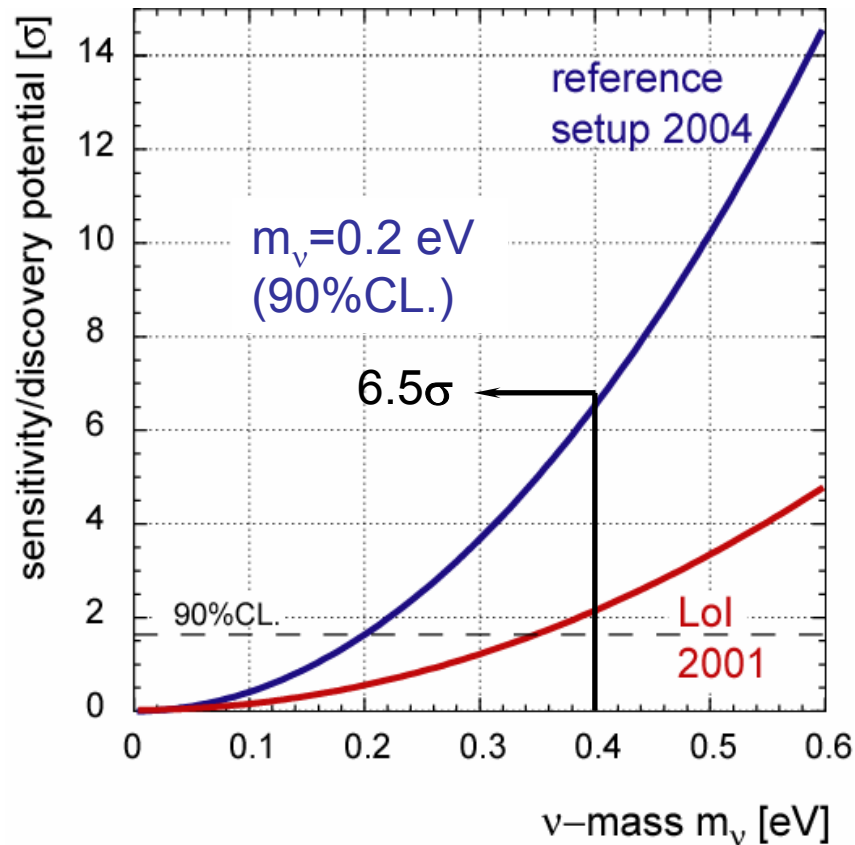
4.2 σ Hinweis für $m_{ee} = 0.44$ eV [0.1-0.9eV] ??

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

KATRIN Sensitivität & $\beta\beta$ -Zerfall

Sensitivitätsoptimierung: Lol (2001) → Referenzdesign (2004)

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



4.2 σ 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. Thümmeler, 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. Skasyrskaaya, 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

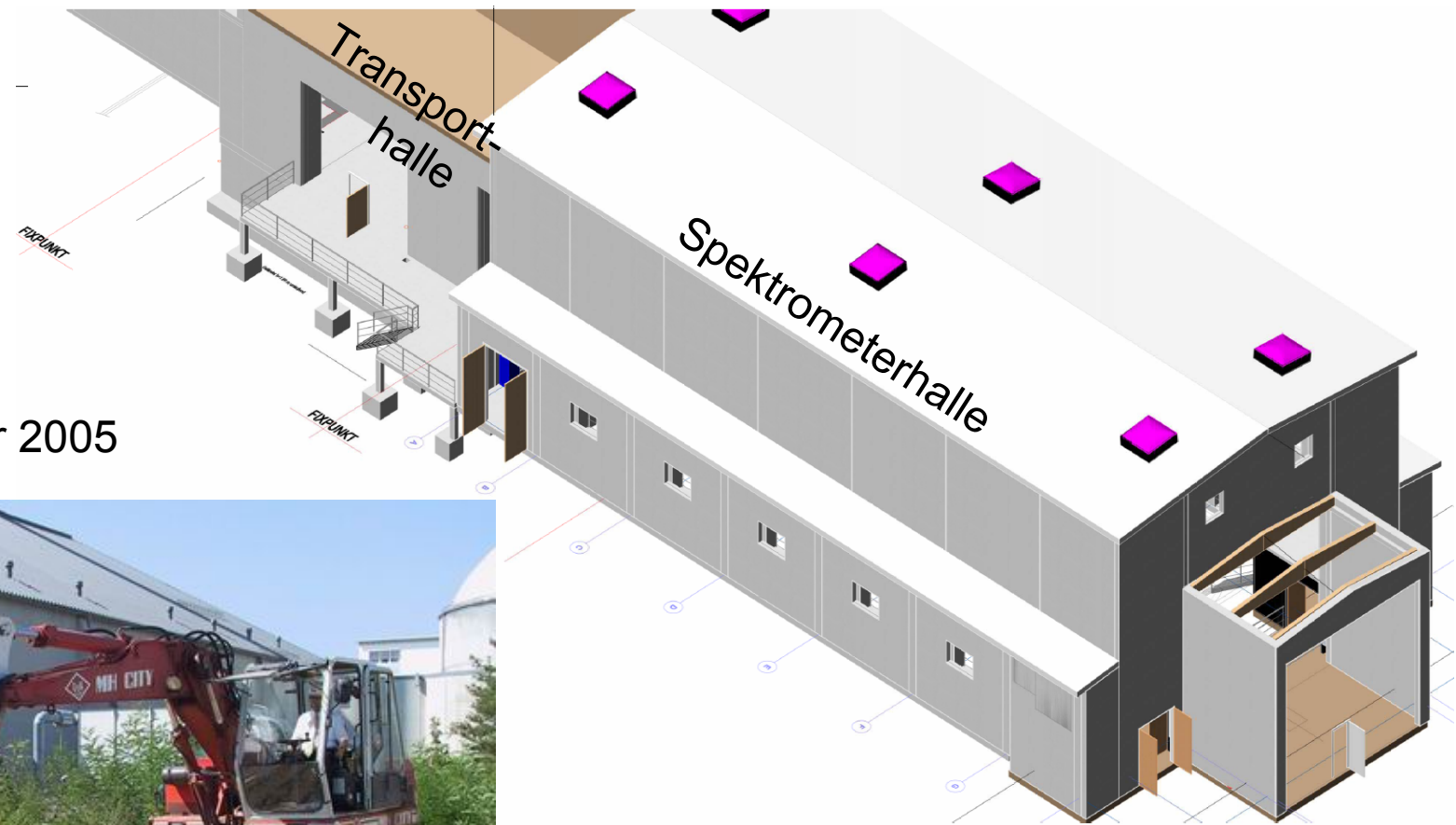
neu 2005: MIT, UCL



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

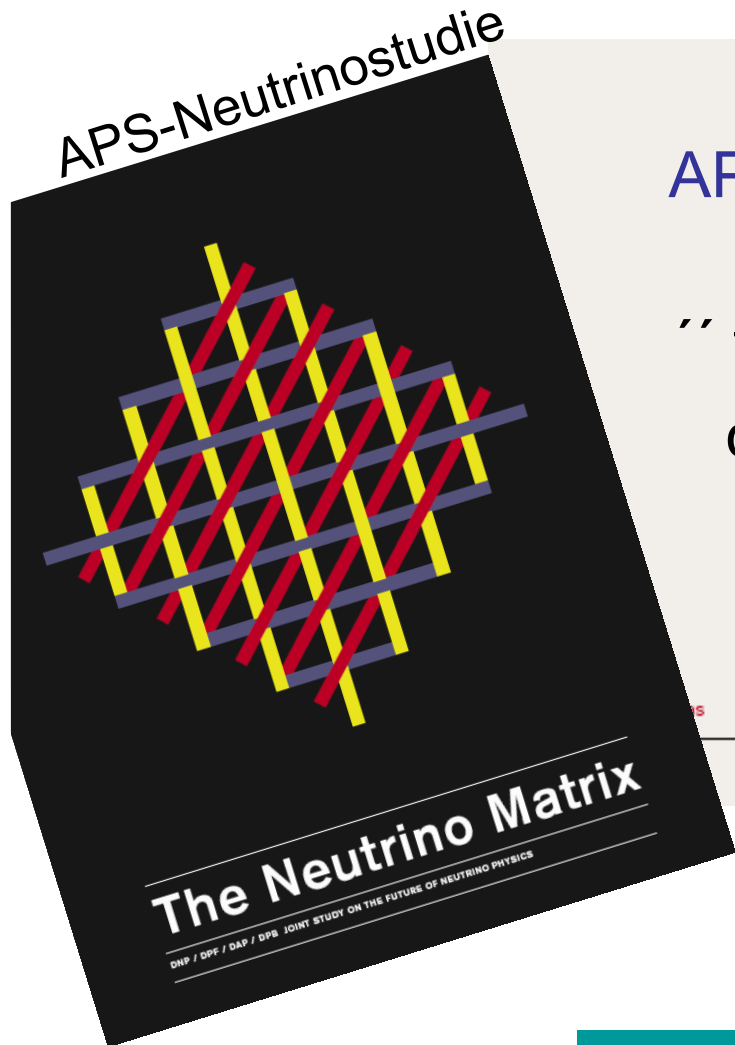


Beginn der Bauarbeiten
durch R. Maschuw

KATRIN Zeitplan

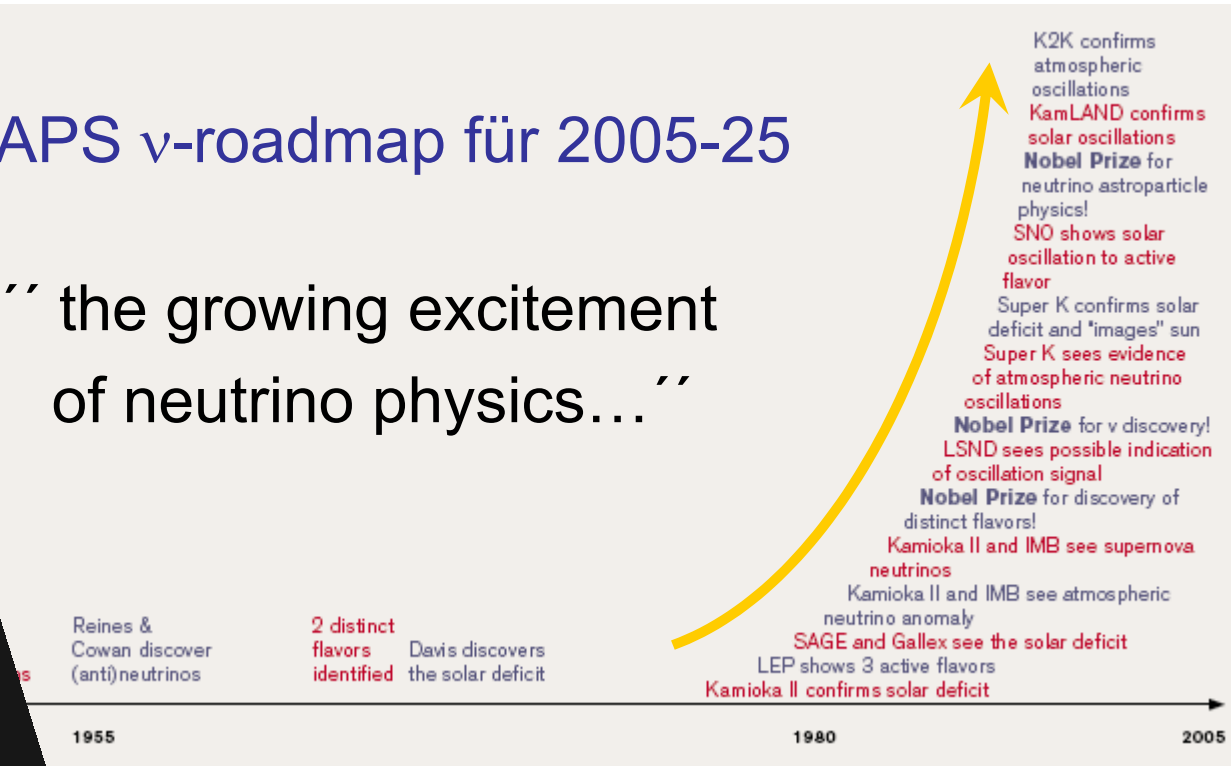
- 2001 Gründung der KATRIN Kollaboration, Lol: *hep-ex/0109033*
BMBF Förderung ‚Astroteilchenphysik‘
- 2002 Untergrundstudien, F&E Arbeiten
- 2003 Vorspektrometer, Auftrag für erste große Magnetgruppe
- 2004 Begutachtung HGF Programm, Design Report 2004,
Aufträge für Hauptspektrometer, WGTS & He-Verflüssiger,...
- 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 ν -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