

Einsatz und Aufgabe der Plasmakammer bei PITZ

Plasmabeschleunigung bei PITZ

Matthias Gross

Technisches Seminar Zeuthen

13. Januar 2015

Motivation

- Warum ein neuer Beschleunigertyp – wir können das doch schon?
- Herkömmliche Beschleuniger funktionieren sehr gut sind aber auch sehr groß (und sehr teuer...)

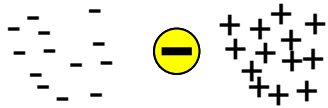
Beispiele Elektronenbeschleuniger:

Name	Endenergie	Größe (Umfang bzw. Länge)
European XFEL (linear)	17,5 GeV	1,7 km
SLC (linear)	50 GeV	3,2 km
HERA (Ring)	27,5 GeV	6,3 km
LEP (Ring)	105 GeV	27 km



Grundprinzip

- Beschleunigung eines Elektrons mit einer Wanderwelle



- Bei optimaler Ausnutzung von Nichtlinearitäten sind extrem starke Beschleunigungen möglich



Wie stark kann man beschleunigen?

- > Maß für die Beschleunigung: Elektrische Feldstärke (Gradient)
- > Herkömmliche Beschleunigerkavitäten: Bis zu 100 MV/m
- > Möglich mit Plasmabeschleuniger: Bis zu 1 TV/m !!!
= 1.000.000 MV/m

Plasmabeschleuniger kann 10000 mal stärker sein!!

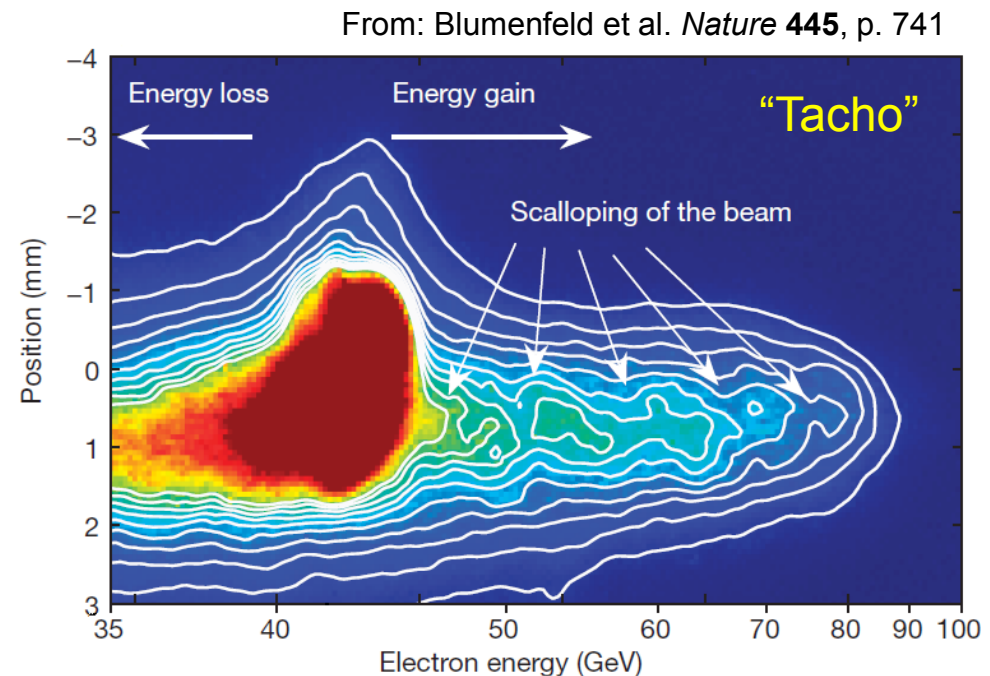
- > Beispiel: Röntgenlaser European XFEL – Endenergie: 17,5 GeV
 - Länge mit herkömmlicher Technik: 1,7 km
 - Möglich mit Plasmabeschleunigung: etwa 20 cm



Demonstration von Strahlgetriebener Plasmabeschleunigung

- Experiment am SLAC (bei San Francisco) in 2006:
 1. Beschleunigung der Elektronen mit dem **3 km** langen Beschleuniger auf Endenergie (42 GeV)
 2. Verdoppelung der Elektronenenergie (auf 84 GeV) in einer **85 cm** langen, angeschlossenen Plasmazelle

- **ABER:** Nur wenige Elektronen in dem Strahl erreichen diese Energie – der Strahl ist danach für andere Experimente unbrauchbar
- Deshalb: Noch viel mehr Forschung ist benötigt!



Plasmabeschleunigung: Weltweite Forschungsaktivitäten mit Konzentration in Europa

EINDHOVEN University of Technology

University of Oxford
University of Strathclyde
Manchester University
Lancaster University
Cockcroft Institute
STFC Daresbury Laboratory
John Adams Institute
ASTeC
STFC Central Laser Facility
Liverpool University
University College London
Imperial College

Instituto Superior
Tecnico de Lisboa

LULI
Soleil
LPGP
LOA
IRAMIS/CEA
Laboratoire Leprince-Ringuet
(Ecole polytechnique - CNRS/IN2P3)
LAL

European Organization for
Nuclear Research (CERN)
PSI

University Düsseldorf
LMU University Munich
DESY
GSI
Max-Planck-Institute for Quantum Optics
Max-Planck-Institute for Physics
Helmholtz Institute Jena
Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf
University Hamburg

**Deutsches
Elektronen-
Synchrotron**

Lund University

Budker INP
Institute of Applied Physics RAS

KEK

Fermilab
SLAC
UCLA
LBNL
BNL

ICFA
ICUIL

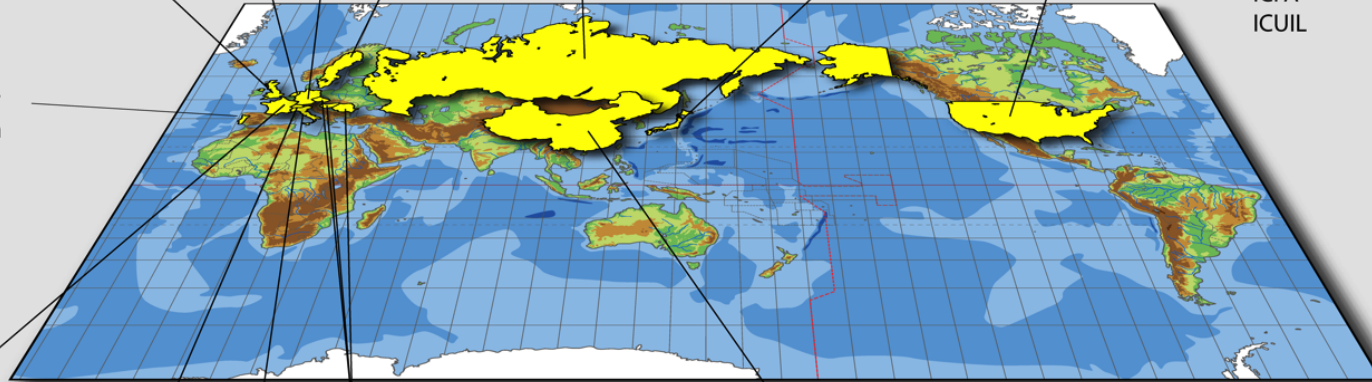
Extreme Light Infrastructures (ELI)

INFN-LNF
Pisa University and INFN
Consiglio Nazionale Delle Ricerche, INO
University of Rome LA SAPIENZA

Inst. of Physics, Chinese Academy of Sciences
Tsinghua University, Beijing
Shanghai Jiao Tong University

EuroNNAc

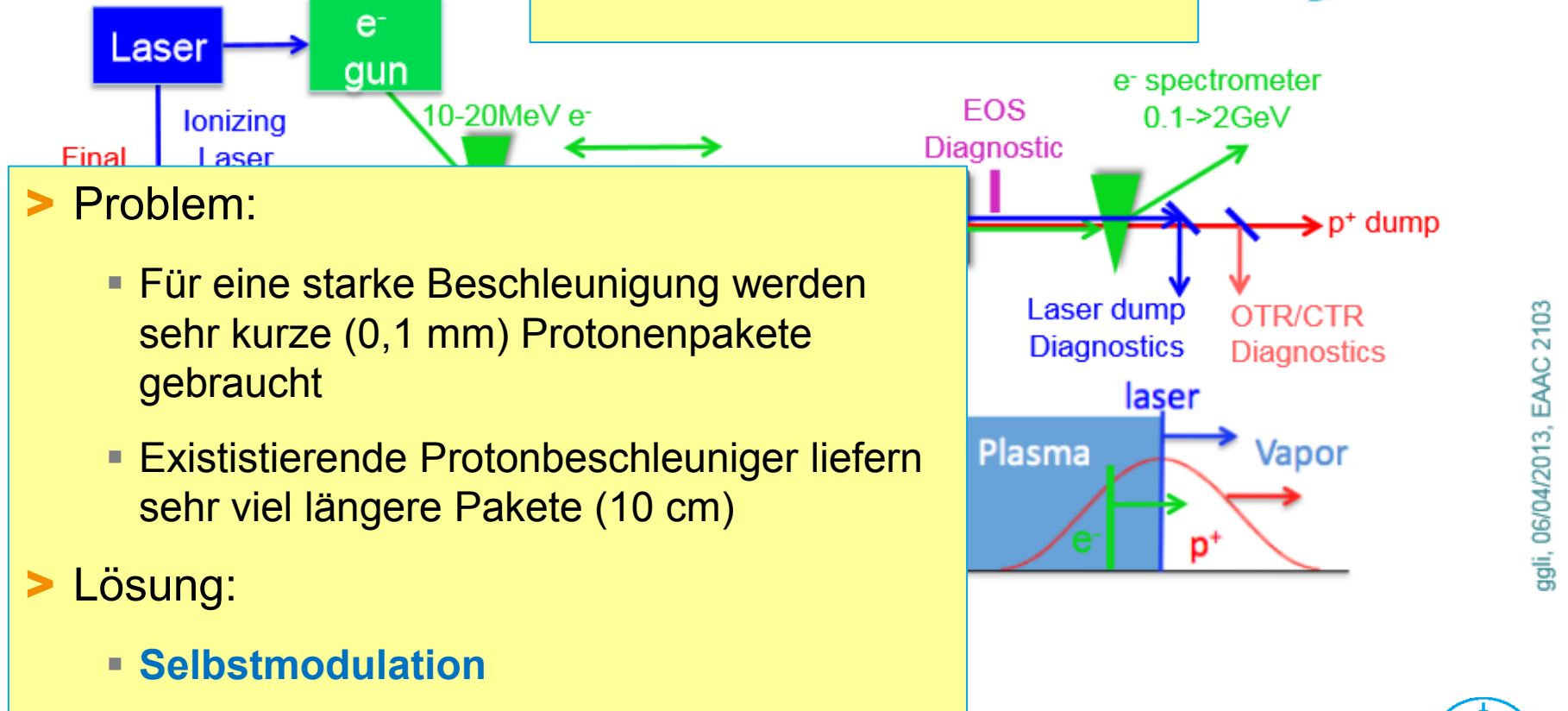
European Network for Novel Accelerators



Plasmabeschleunigung: Geplantes Experiment am CERN



MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT



- > Teilchenstrahlgetrieben
- > Übertrage Energie eines Protonenstrahls auf einen Elektronenstrahl

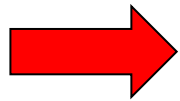
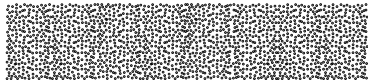
- > Problem:
 - Für eine starke Beschleunigung werden sehr kurze (0,1 mm) Protonenpakete gebraucht
 - Existierende Protonbeschleuniger liefern sehr viel längere Pakete (10 cm)
- > Lösung:
 - **Selbstmodulation**

ggli, 06/04/2013, EAAC 2103

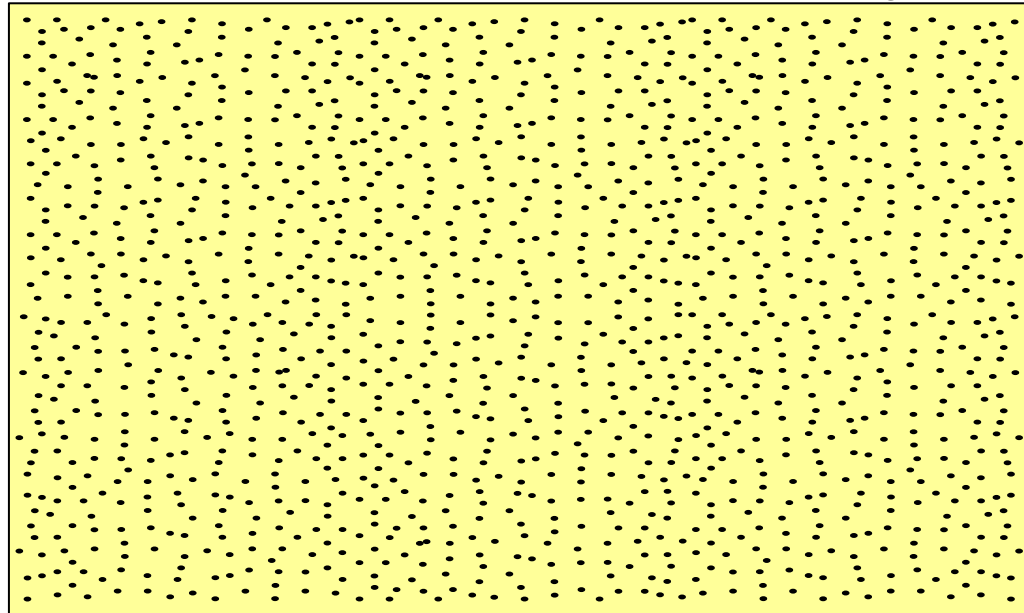


Ausgangsposition

Elektronen-
Strahl:
6mm lang
0,1mm Durch-
messer

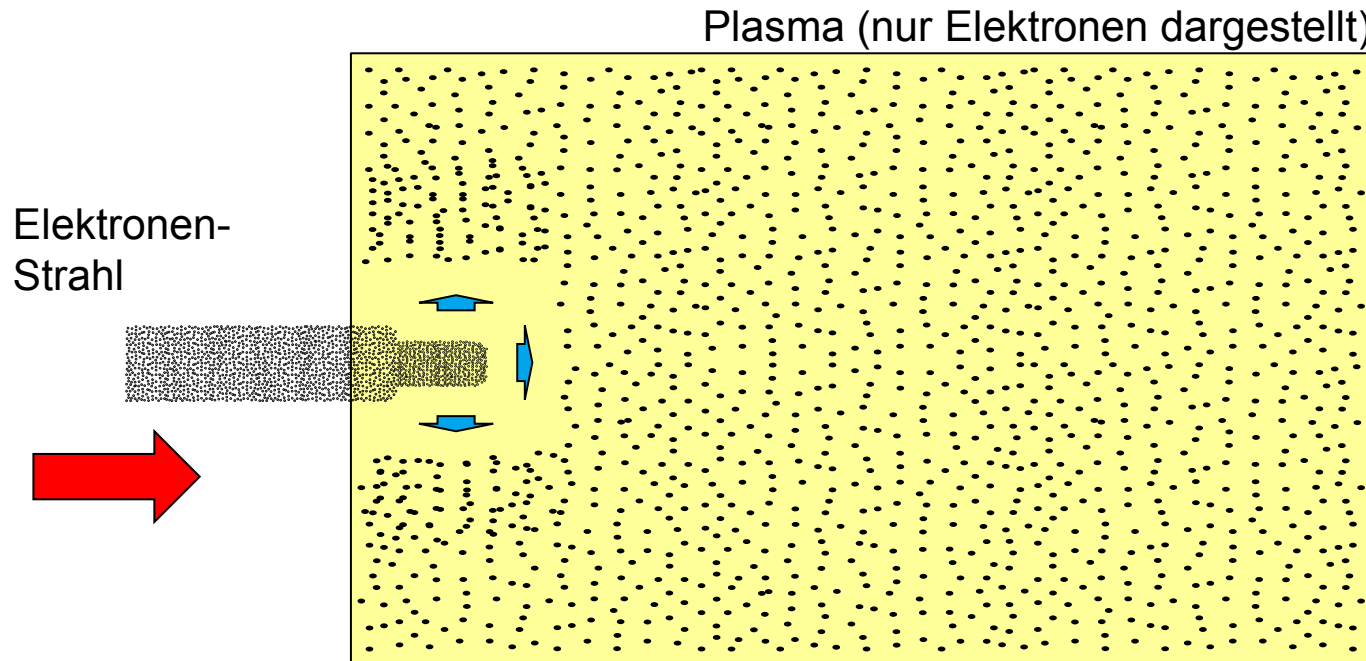


Plasma (nur Elektronen dargestellt)



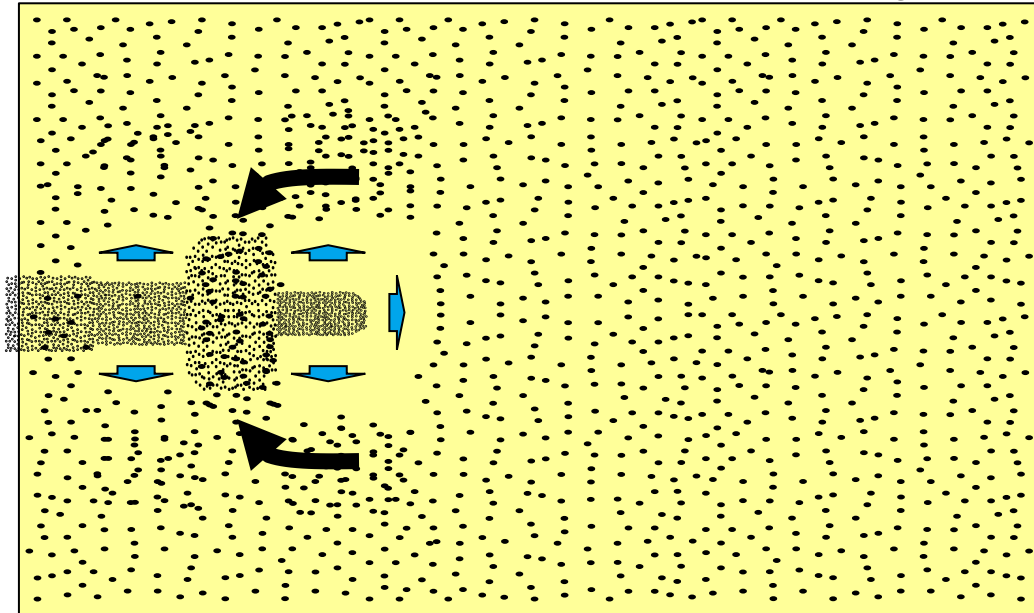
Gleichmäßig
verteilt

Eintritt in das Plasma



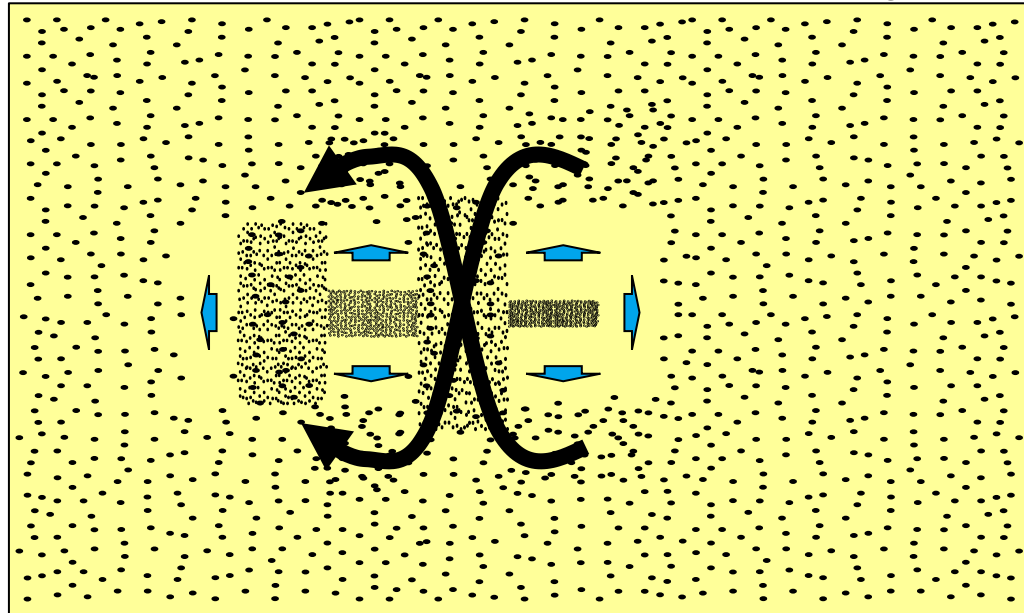
Beginn der Aufteilung in Pakete

Plasma (nur Elektronen dargestellt)



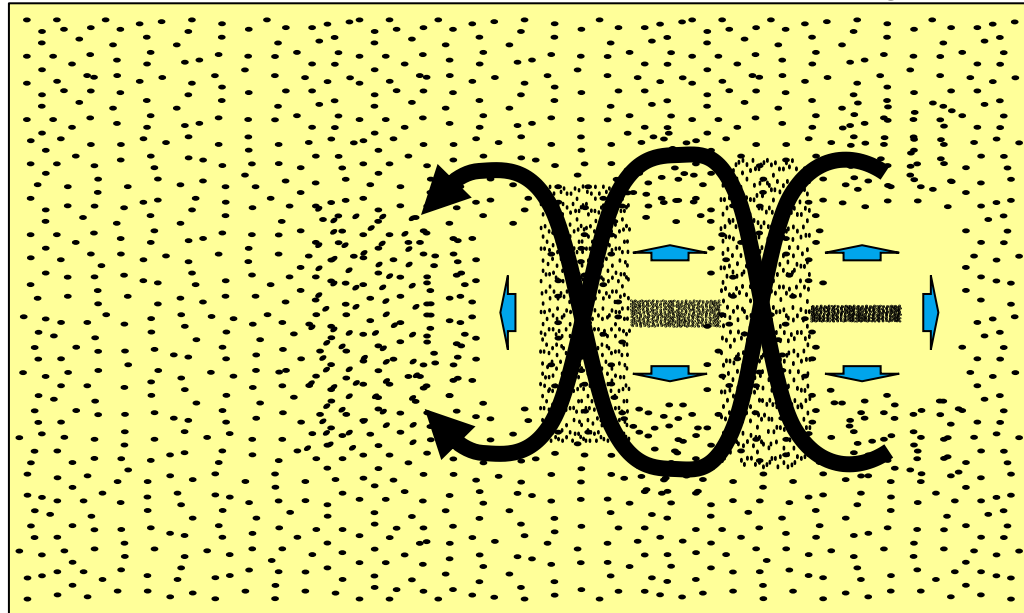
Fortschreitende Aufteilung

Plasma (nur Elektronen dargestellt)

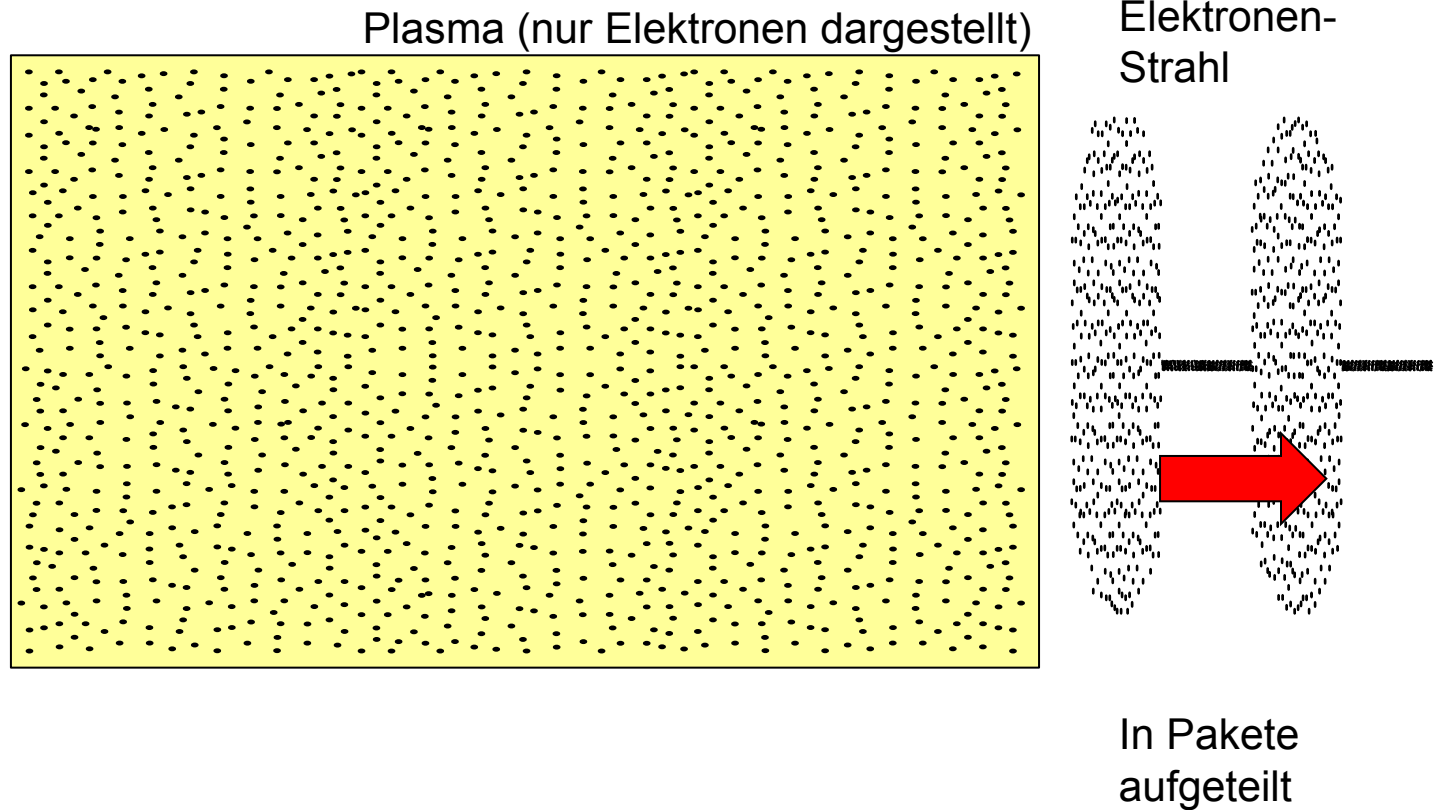


Fortschreitende Aufteilung

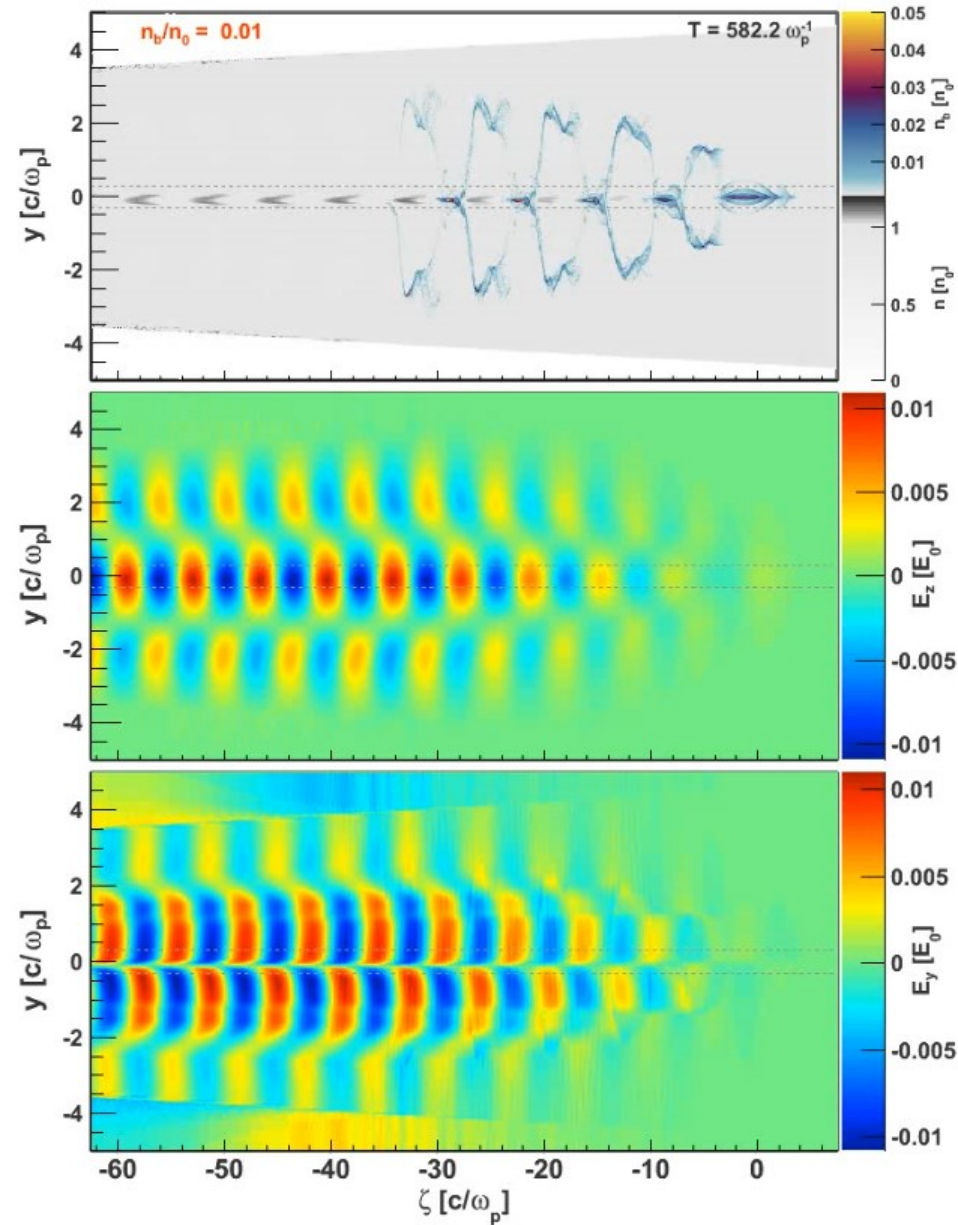
Plasma (nur Elektronen dargestellt)



Nach dem Plasmadurchgang



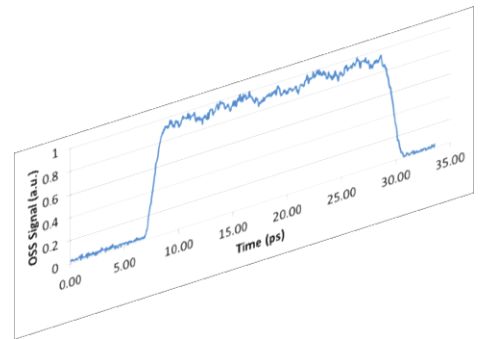
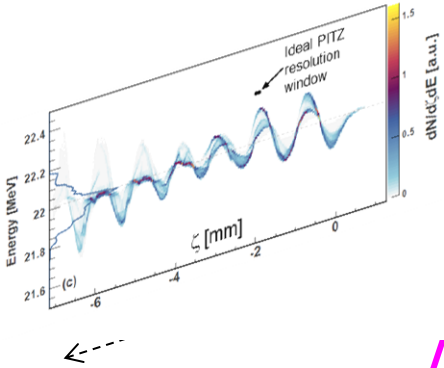
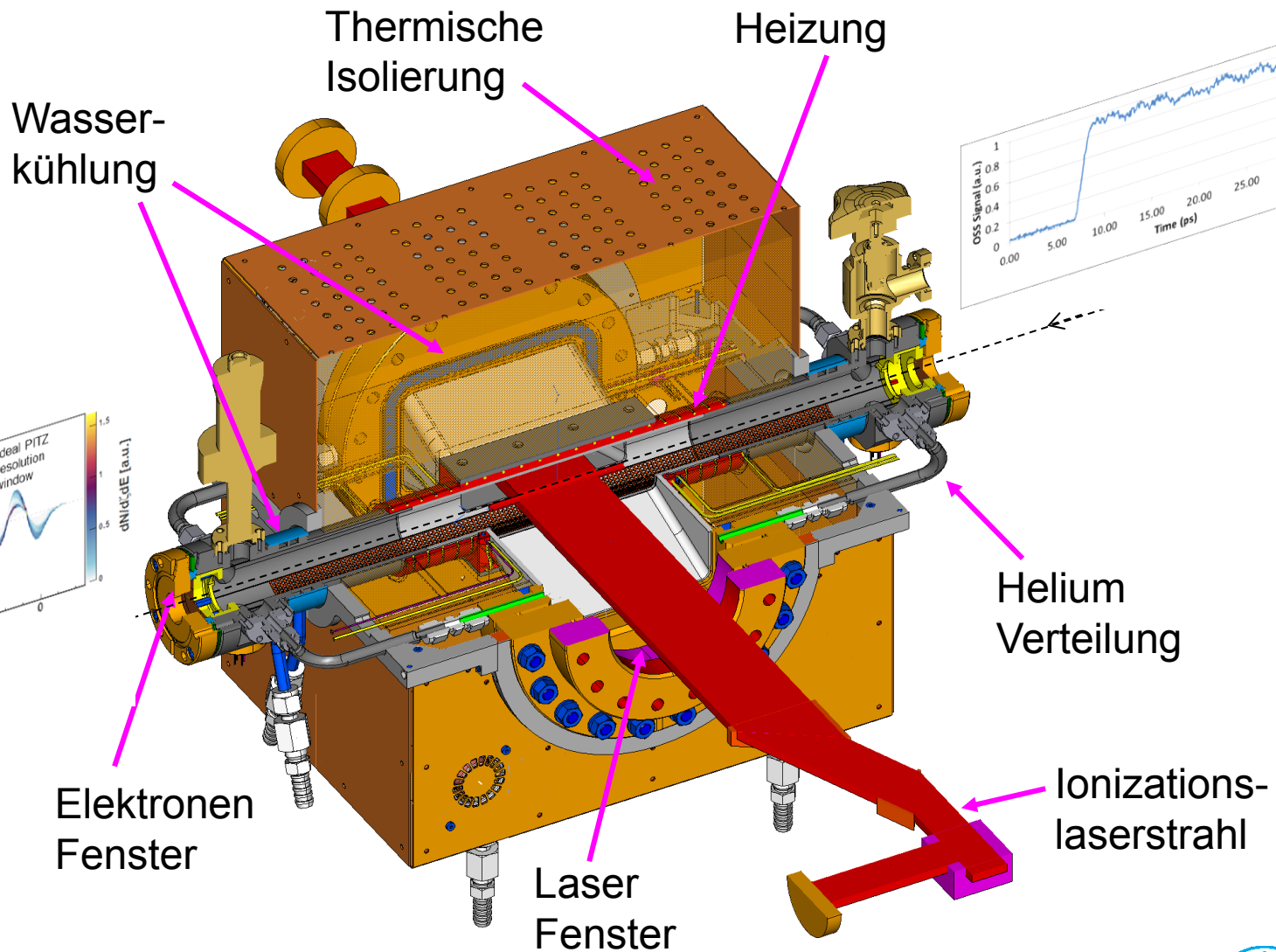
Simulation der Selbstmodulation



Courtesy:
Alberto Martinez de la Ossa

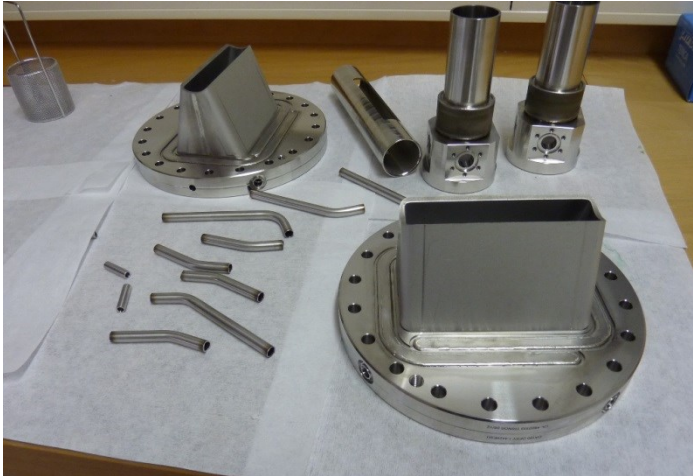
PITZ Plasmazelle

Design:
Gerald Koss

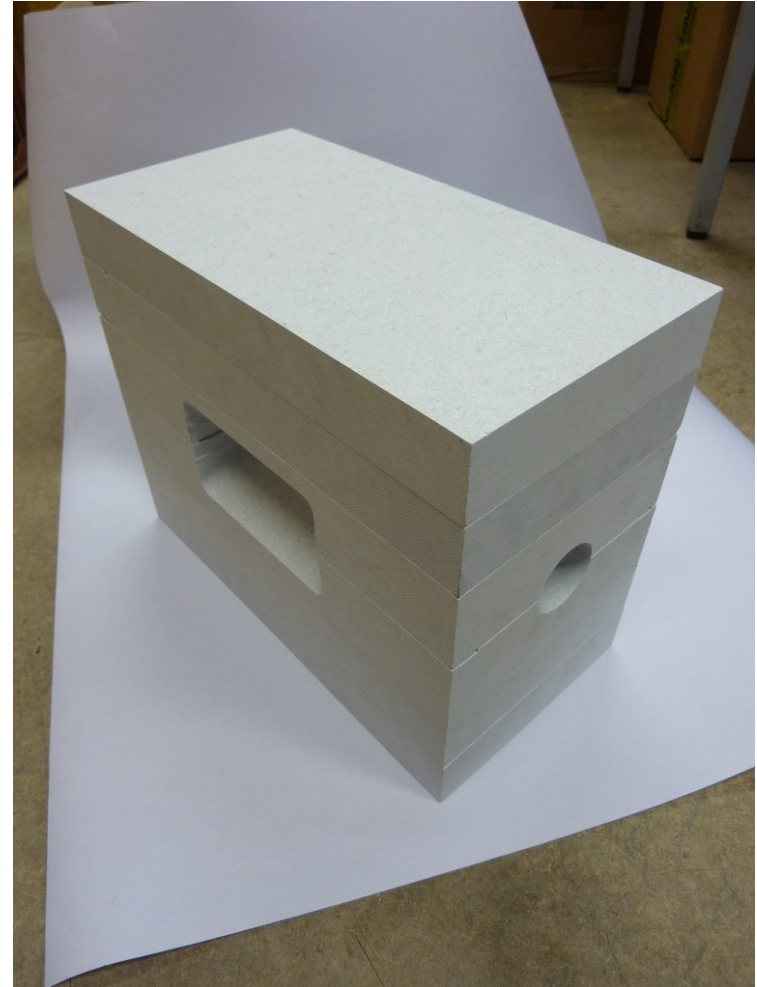


Plasmazellenteile vor dem Zusammenbau

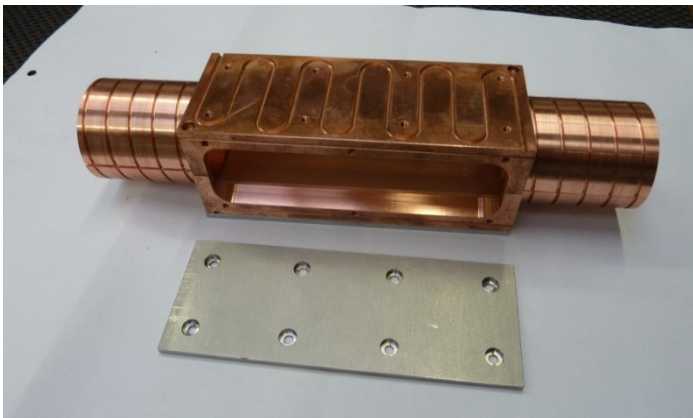
Vakuumkammer aus Edelstahl



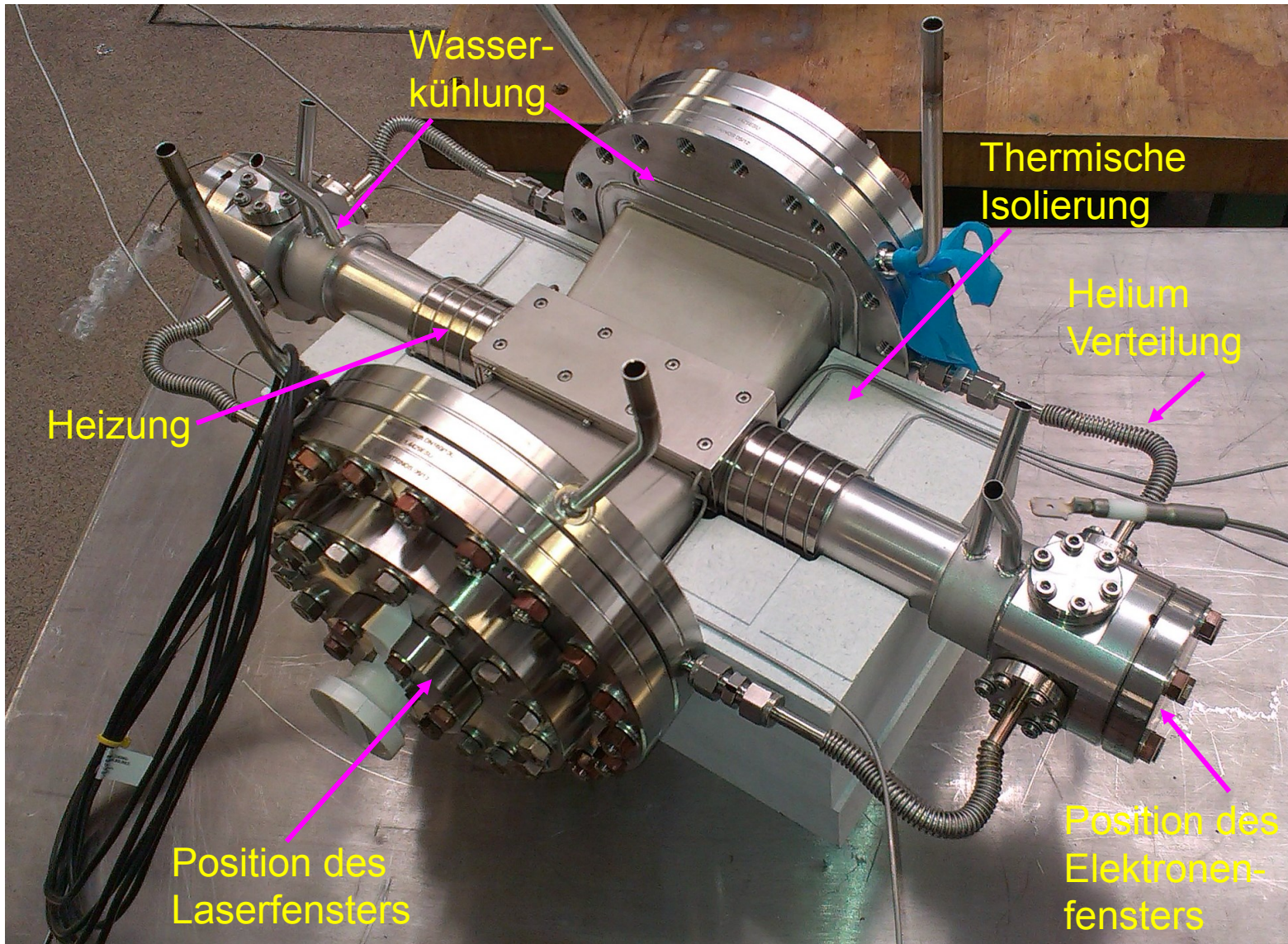
Wärmeisolierung: Formsteine



Wärmeverteiler aus Kupfer

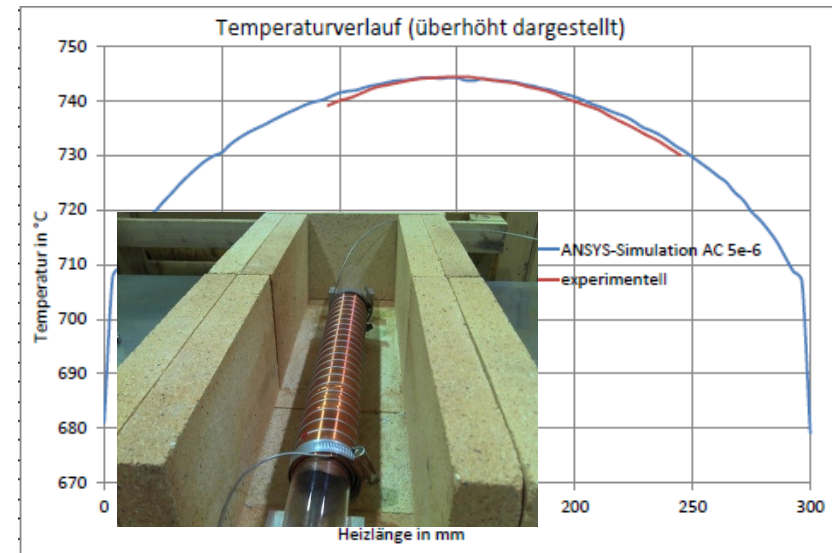


Zusammengebaute Plasmazelle

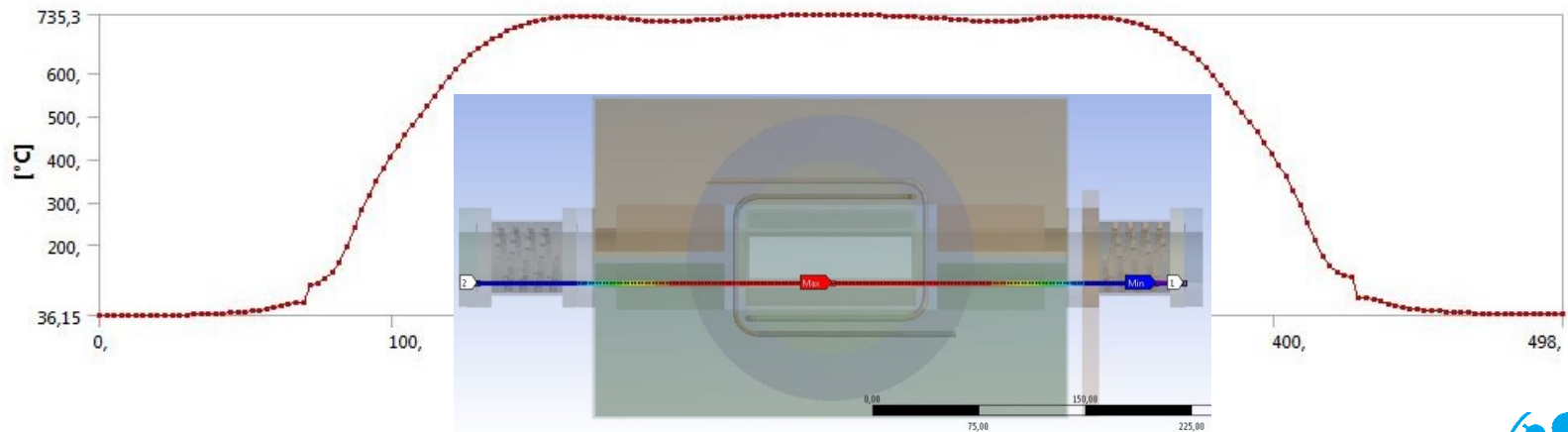


Design des Heiz/Kühlsystems

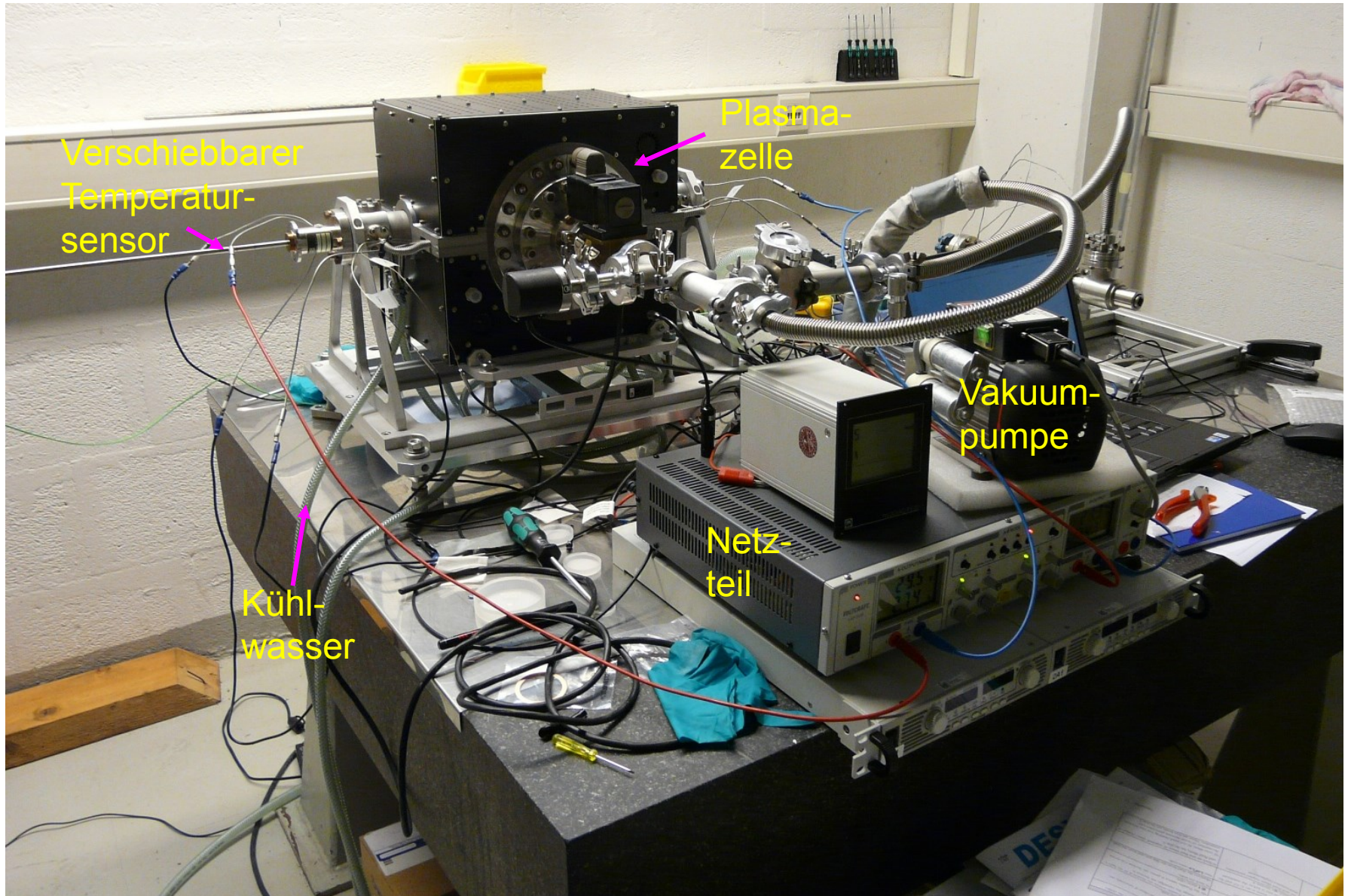
- **Prototyp**: Einfache Quarzröhre, keine Kühlung (Hohe Temperatur an Enden)
- Heizleistung: 305W; Max. Temperatur: 745°C
- Simulation und Experiment stimmen überein



- **ANSYS Simulation der Plasmazelle** (Volle Heizleistung): Max. Temperatur 735°C

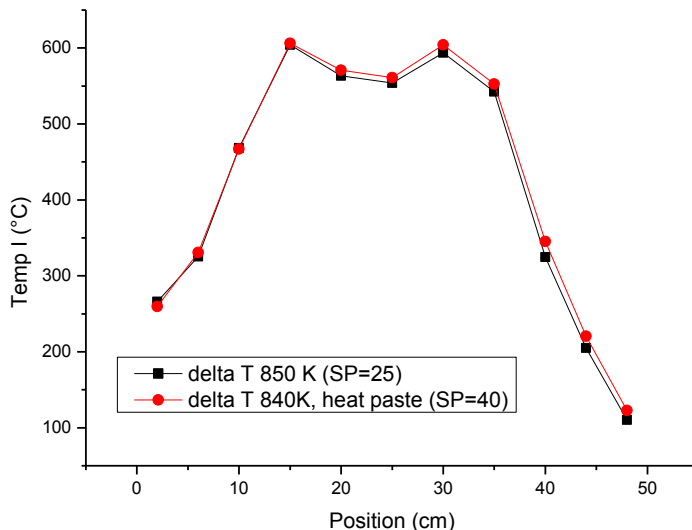


Temperaturmessung: Versuchsaufbau

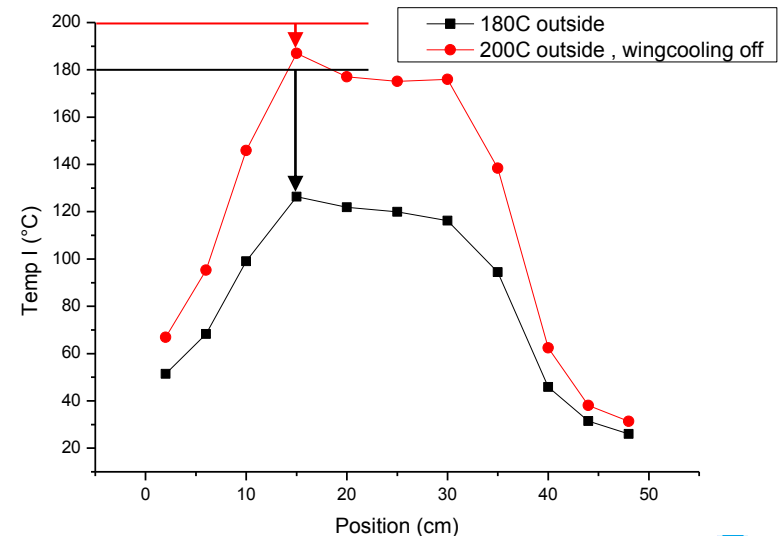


Temperaturverteilung in der Plasmazelle

- > Volle Leistung (720W)
- > Max. Temperatur nur $\approx 600^{\circ}\text{C}$ (870°C außen)
- > Nur geringe Hilfe durch Heizpaste und Erhöhung der Kühlwassertemperatur

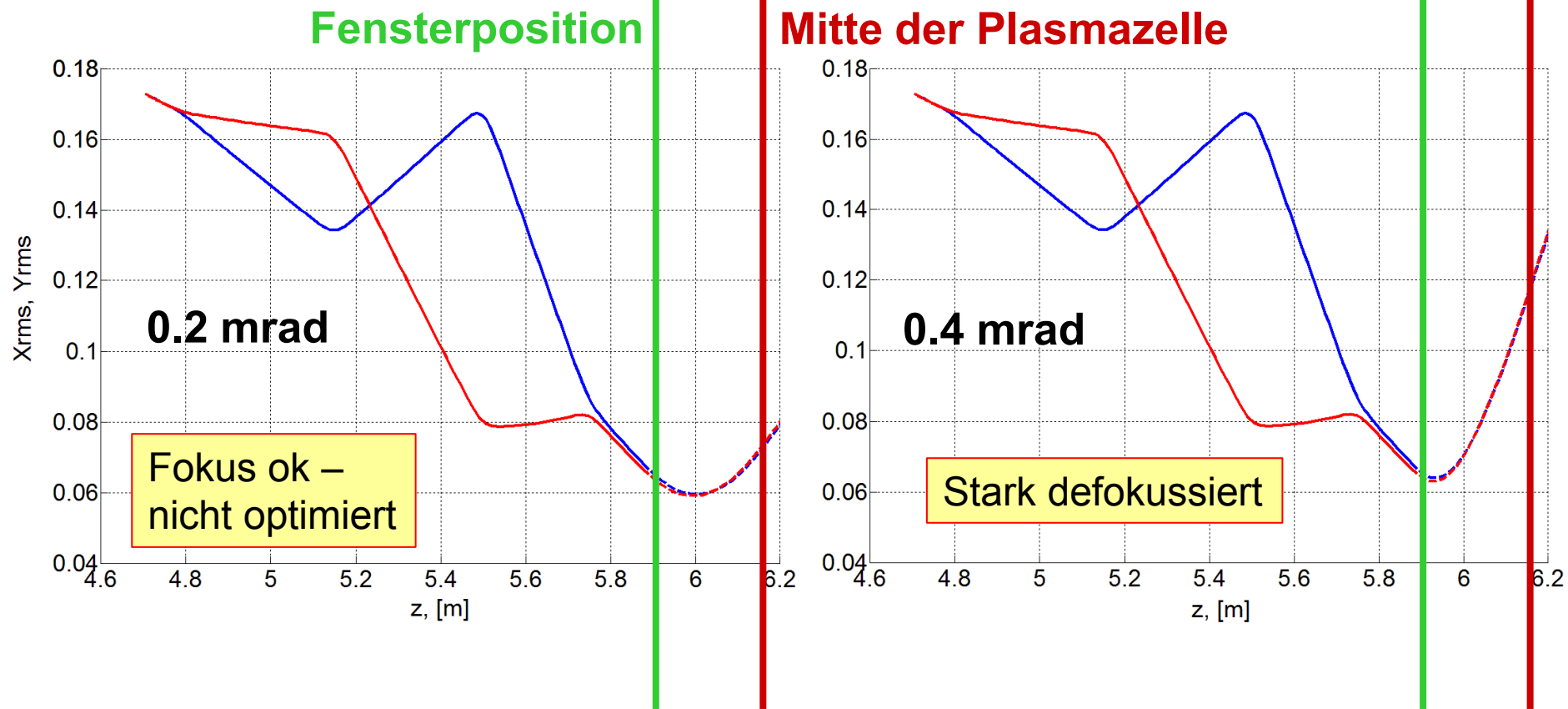


- > Test bei mittlerer Heizleistung
- > **Reduktion des Kühlwasserflusses in den Seitenarmen: großer Unterschied!**
- > Temperaturdifferenz von außen nach innen $<20^{\circ}\text{C}$



Streuung am Elektronenfenster

- ASTRA Simulationen: Streuung am Fenster erschwert Fokussierung des Elektronenstrahls



- Maximal erlaubter Streuwinkel: 0.2 mrad

Theorie: Mehrfache Coulombstreuung

- > Von: Claus Grupen “Teilchendetektoren”: Mehrfache Coulombstreuung

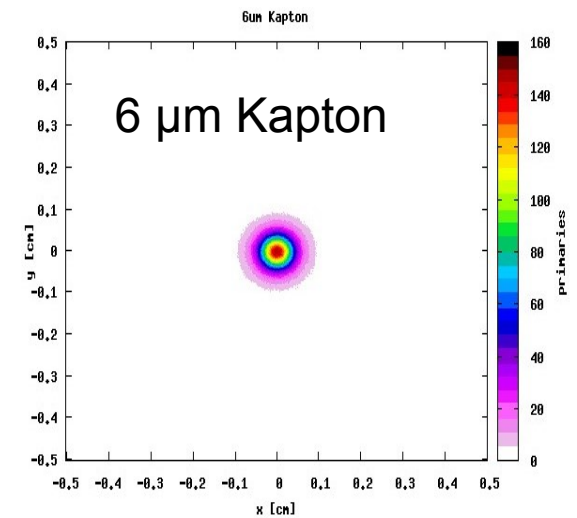
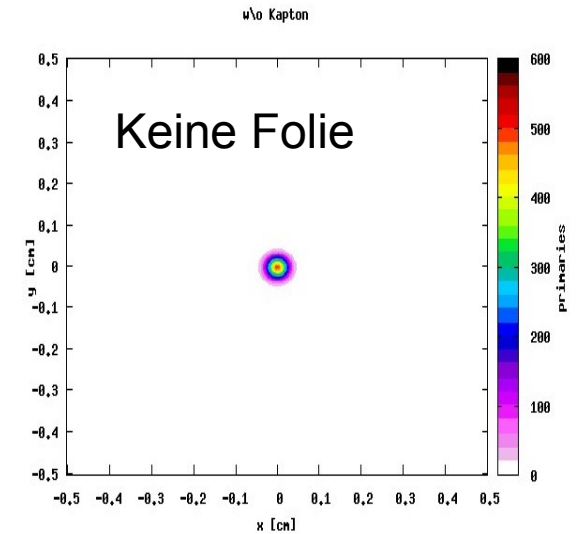
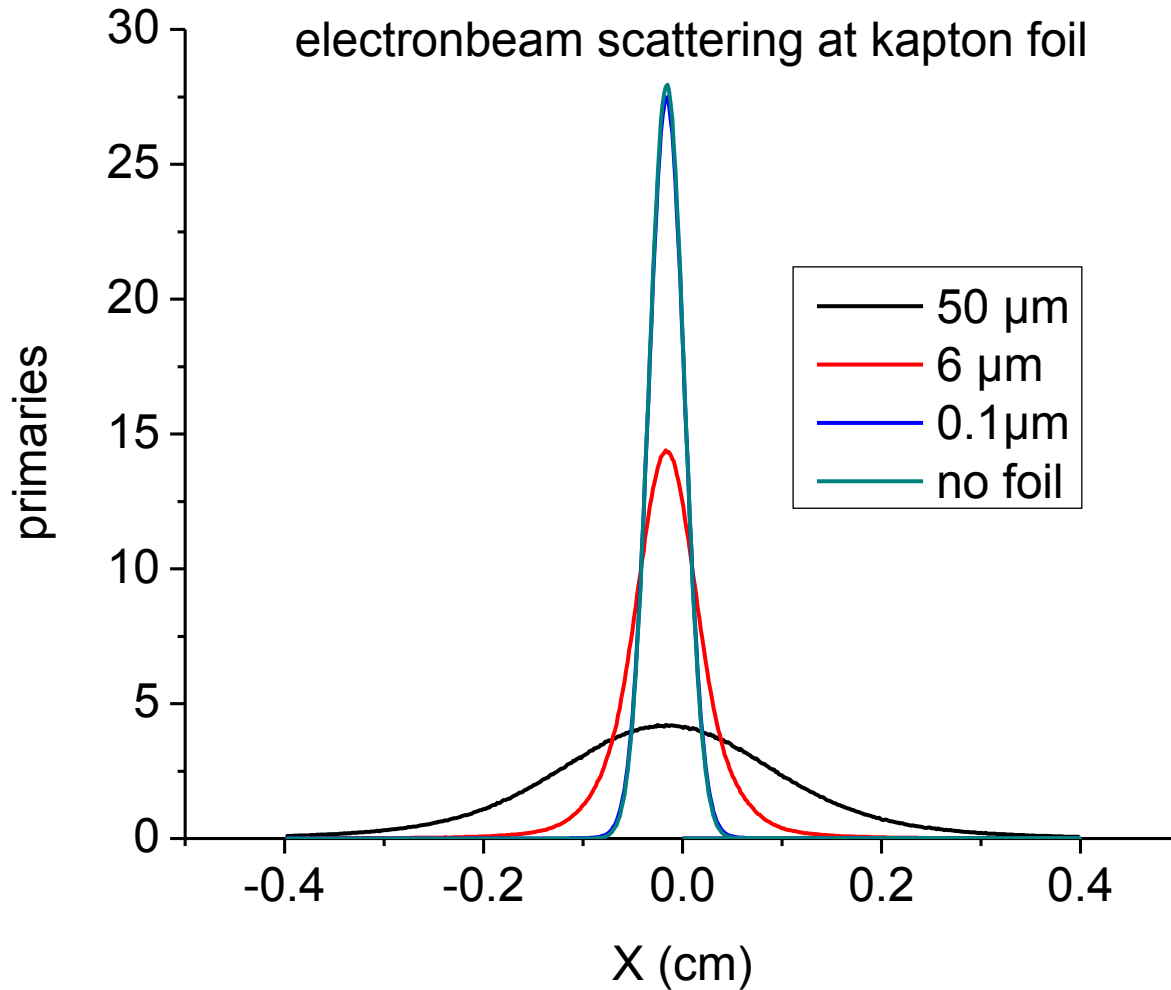
The rms of the projected scattering angle distribution:

$$\theta_{rms} = \frac{13.6 \text{ MeV}}{\beta pc} z \sqrt{\frac{x}{X_0}} \left[1 + 0.038 \ln \left(\frac{x}{X_0} \right) \right]$$
$$\beta pc = 22 \text{ MeV}; z = 1; X_0 = 0.28 \text{ m}$$

- > Wichtige Materialeigenschaft: Strahlungslänge X_0
 - Gold: 0.3 cm
 - Kapton (Polyimid): 28.6 cm
 - Beryllium: 35.3 cm
 - Polyethylen: 50.3 cm



Simulation: FLUKA



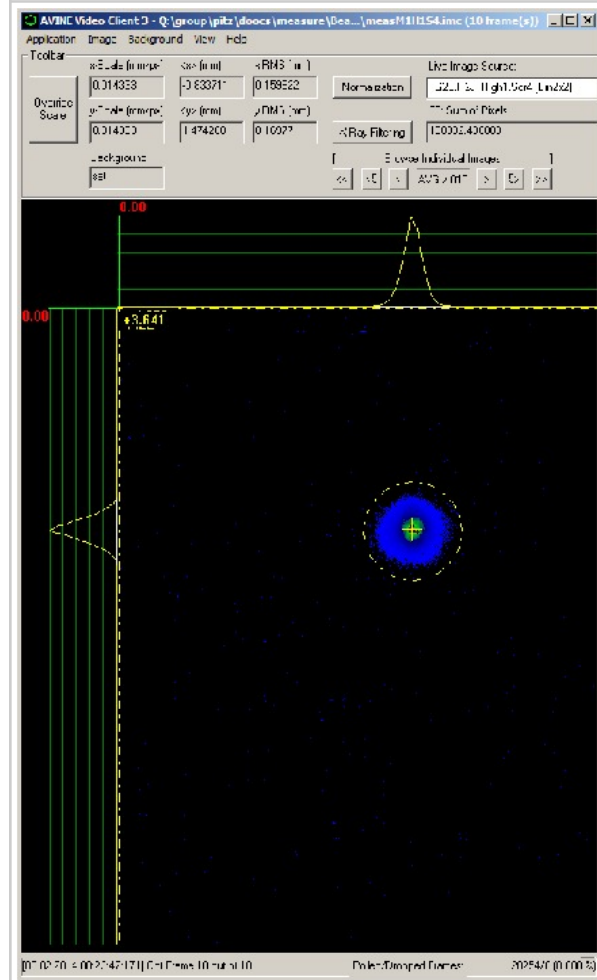
Courtesy: Rico Schütze



Experiment in PITZ Beam Line – 50um Kapton

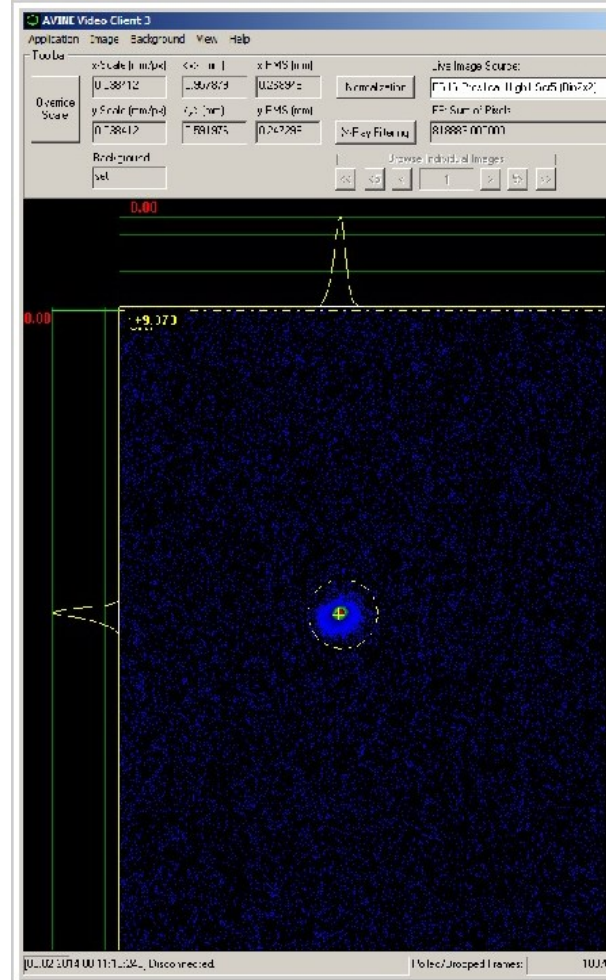
08.02.2014 00:36 M. Gross, G. Pathak Beam at High1.Scr4

Xrms = 0.159mm
Yrms = 0.169mm



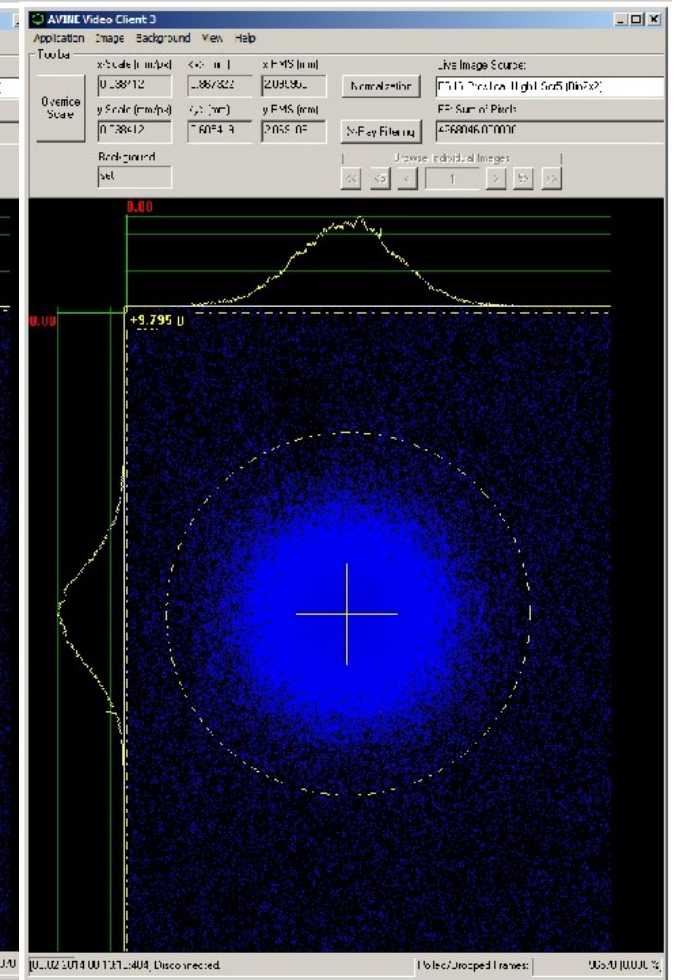
08.02.2014 00:11 M. Gross, G. Pathak Beam at High1.Scr5 - MI, n

Xrms = 0.268mm
Yrms = 0.247mm



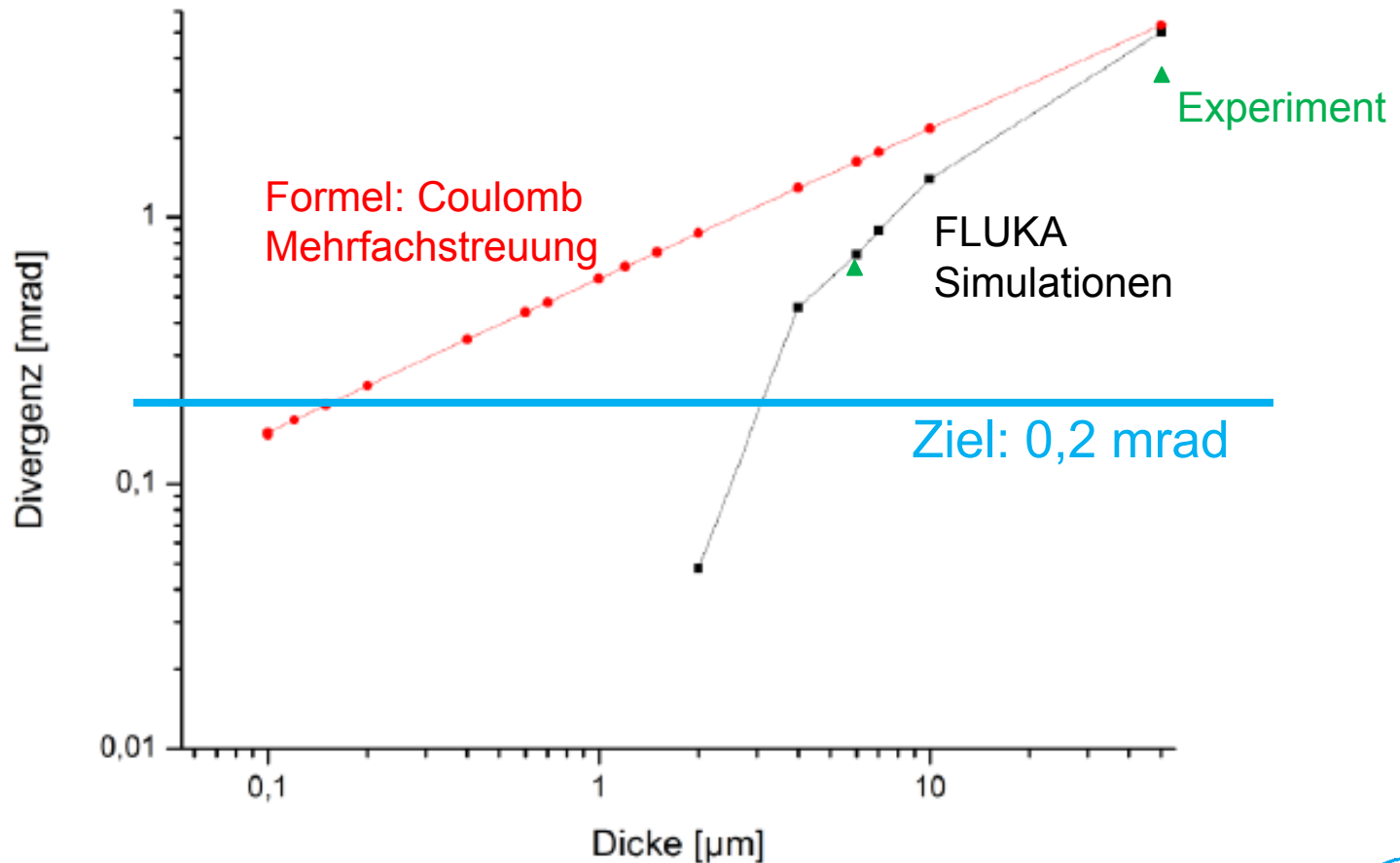
08.02.2014 00:13 M. Gross, G. Pathak Beam with Kapton at High1.Scr.5

Xrms = 2.095mm
Yrms = 2.069mm



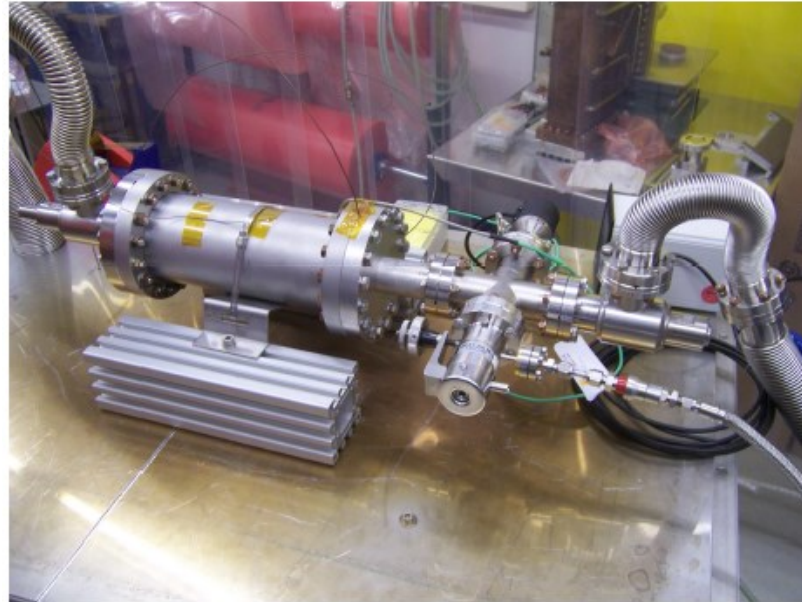
Elektronenfenster (Streuung des Elektronenstrahls)

- Dicke des Elektronenfensters sollte mehrere μm betragen



Gasdiffusion durch das Elektronenfenster

- > Messung der Leckrate / Einfluss auf Ionengetterpumpe (IGP)

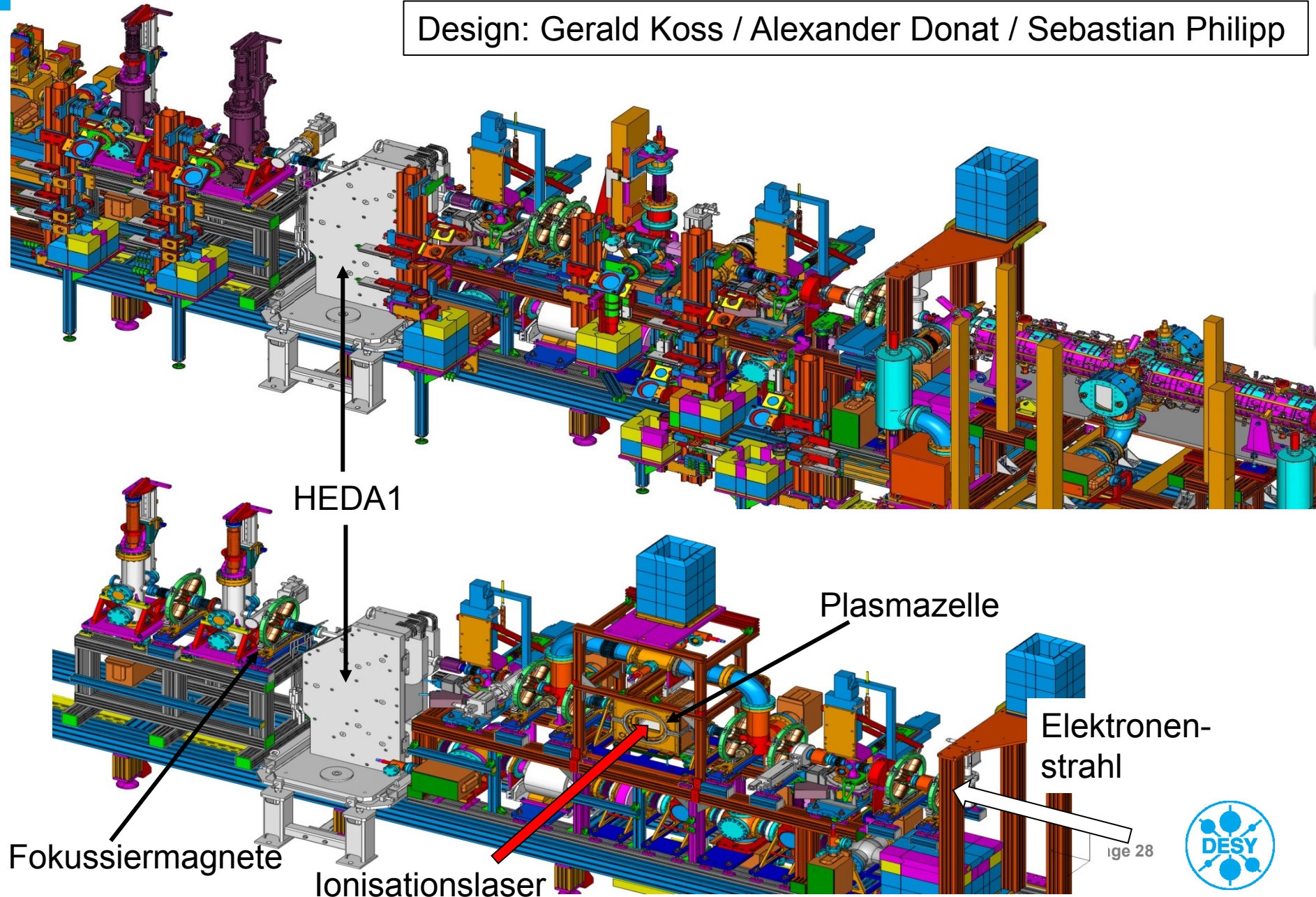


(b) Realized arrangement (without heating jacket)

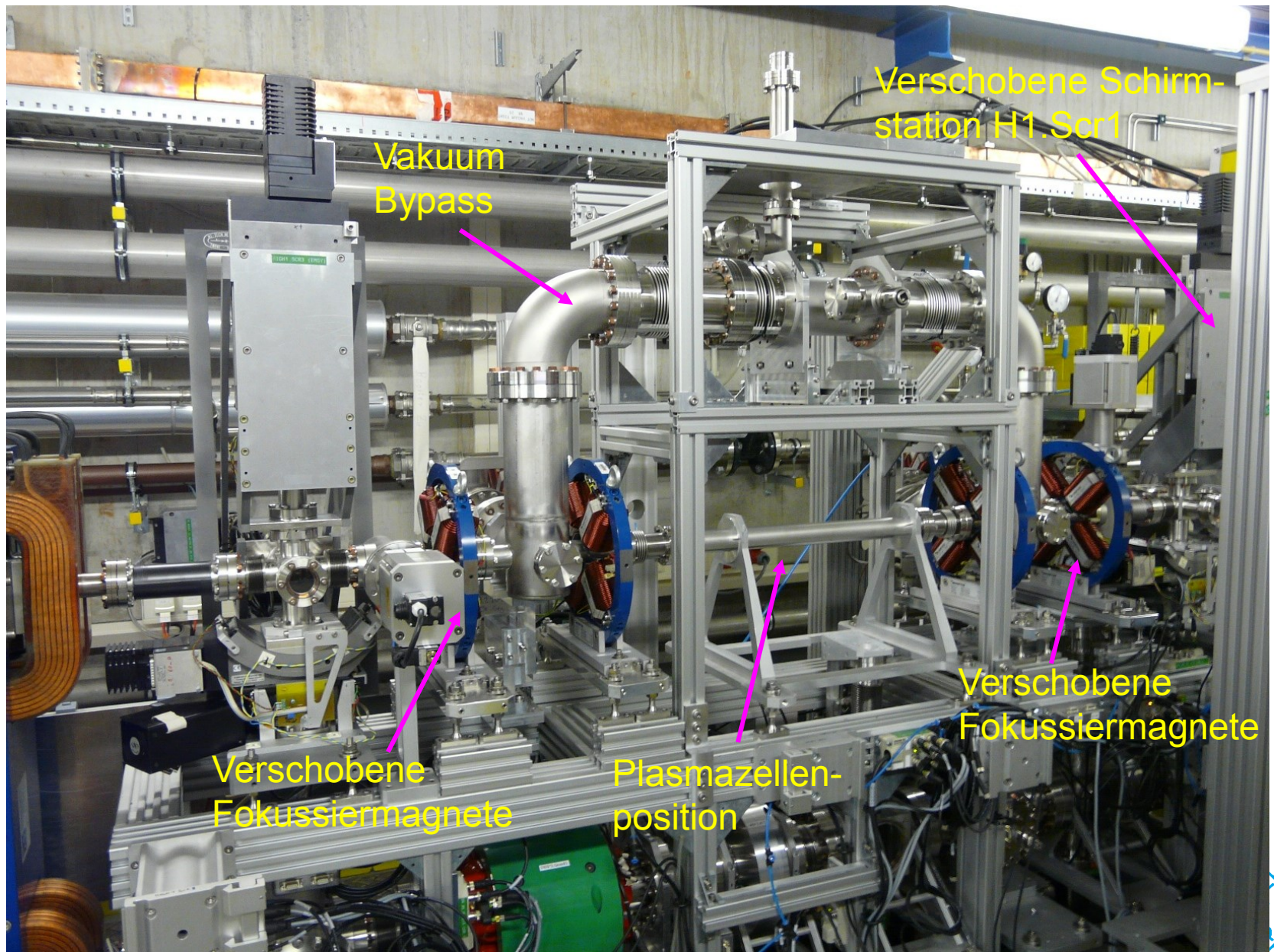
- > Experiments werden derzeit durchgeführt

Plasmazelle: Einbau in den Beschleuniger

Design: Gerald Koss / Alexander Donat / Sebastian Philipp



Derzeitiger Status der PITZ Beamline



Derzeitiges Team

> Mechanik / Konstruktion

- Gerald Koss
- Sebastian Philipp

> Vakuum

- Dieter Richter

> Experimente

- Rico Schütze (Bachelor)
- Gaurav Pathak (Doktorand)
- Osip Lishilin (Doktorand)

> Organisation

- Matthias Gross

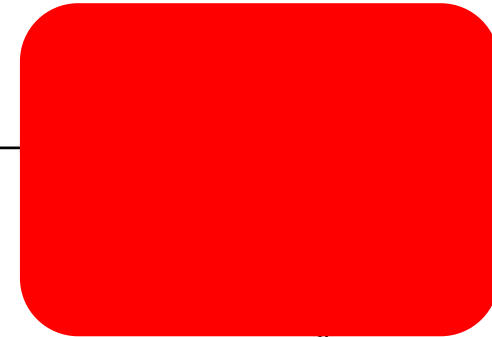


> Dieses Jahr: Selbstmodulationsexperimente bei PITZ

Longitudinal Phase-space studies

Simulations:
Martin Khojayan /
Dmitriy Maluytin

Expected phase space ←



Not optimized

