Einsatz und Aufgabe der Plasmakammer bei PITZ

Plasmabeschleunigung bei PITZ

Matthias Gross
Technisches Seminar Zeuthen
13. Januar 2015

HELMHOLTZ ASSOCIATION

DESY

Motivation

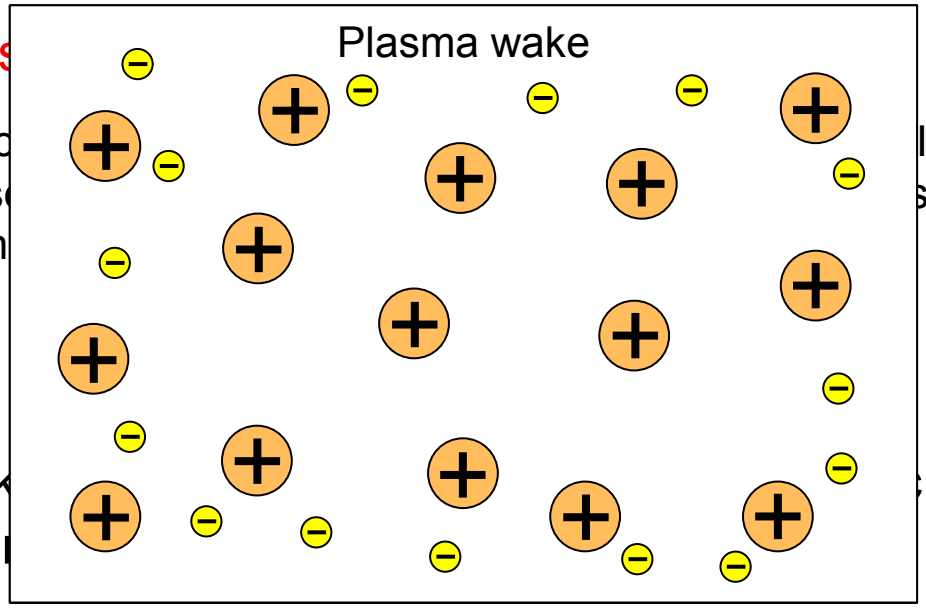
- Warum ein neuer Beschleunigertyp – wir können das doch schon?
- Herkömmliche Beschleuniger funktioneren sehr gut sind aber auch sehr groß (und sehr teuer…)

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

Problem von herkömmlichen Beschleunigern

- Grundsätzliches Problem: Mikroskopische Teilchen werden mit makroskopisch erzeugten Feldern beschleunigt
  - Kleine Feldstärke → Großer Beschleuniger
- Neue Idee: Plas
  - Nutze mikrosko
  - Plasma) – dies
  - ohne die Baum

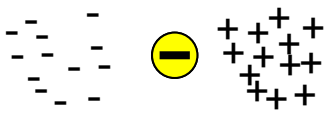


lonen in einem
sammen sein können

- Problem: Man k
  Atomen zusam
  . aus einzelnen
- Lösung: Gezielte Ionisation eines Gases zu einem Plasma mit den gewünschten Eigenschaften

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!!

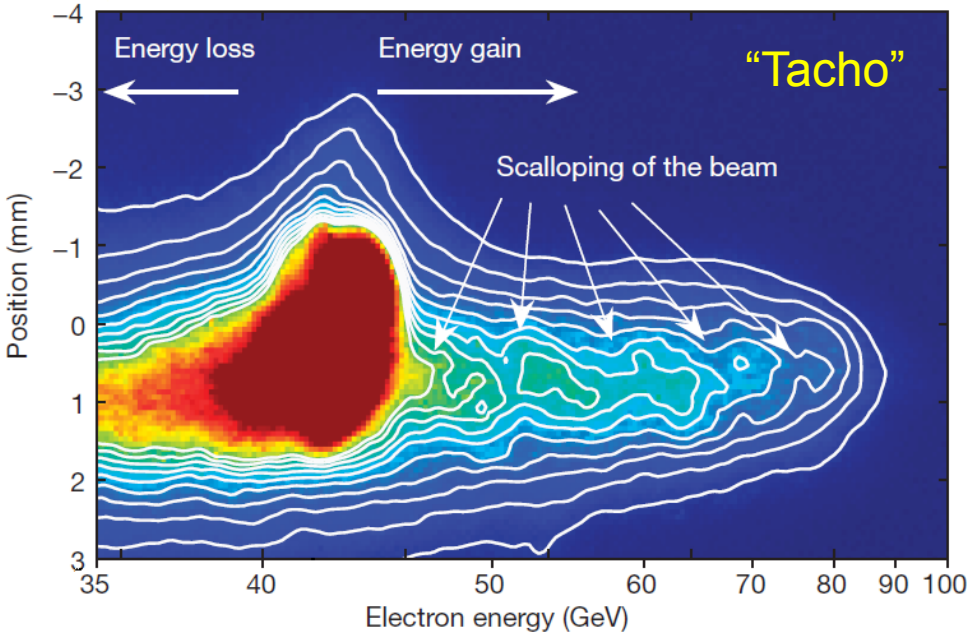
- Beispiel: Röntgenlaser European XFEL – Endenergie: 17,5 GeV
  - Länge mit herkömmlicher Technik: 1,7 km
  - Möglich mit Plasmabeschleunigung: etwa 20 cm

Demonstration von Strahlgetriebener Plasmabeschleungung

- Experiment am SLAC (bei San Francisco) in 2006:

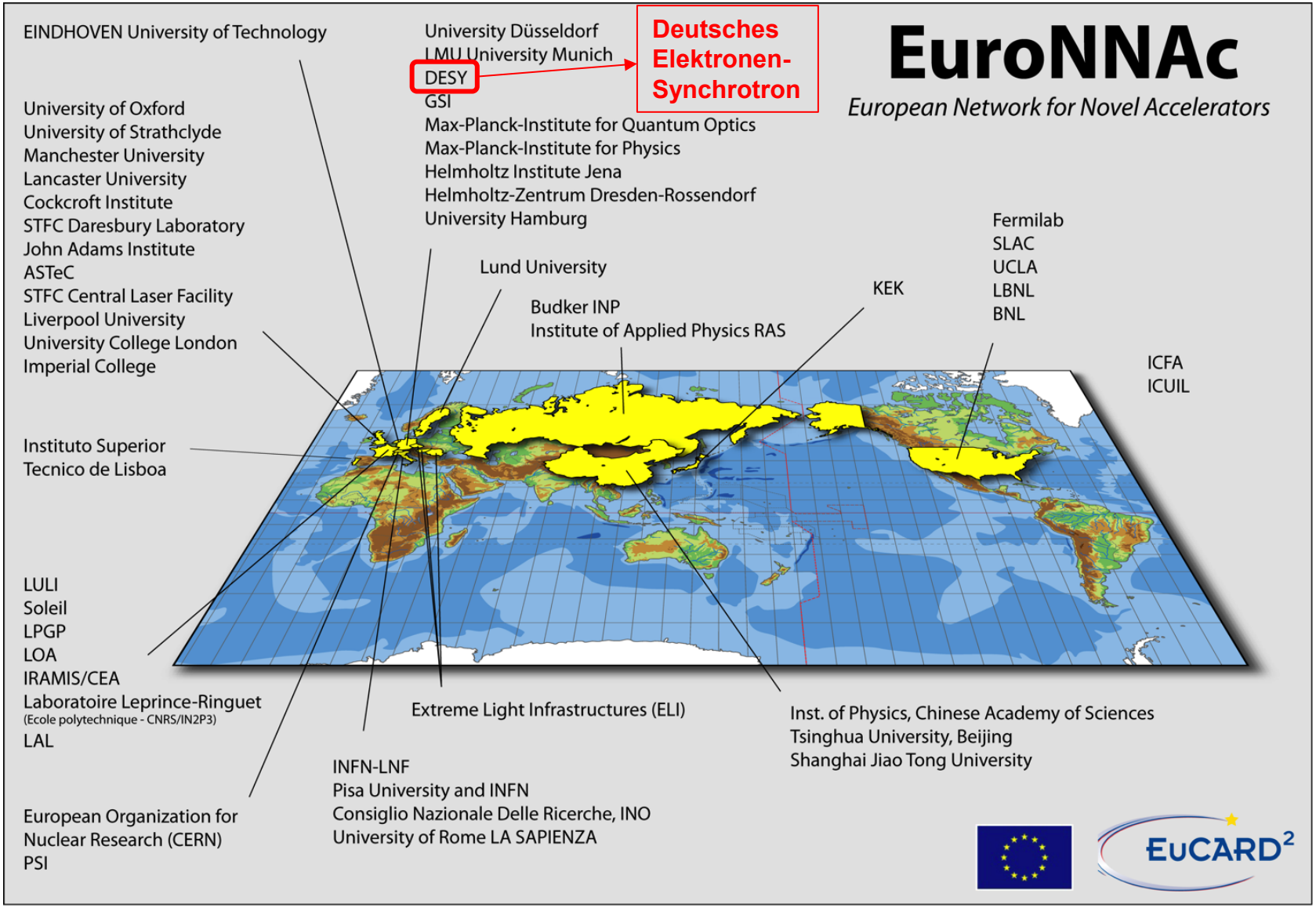
1. Beschleunigung der Elektronen mit dem **3 km** langen Beschleuniger auf Endenergie (42 GeV)
2. Verdoppelung der Elektronenenergie (auf 84 GeV) in einer **85 cm** langen, angeschlossenen Plasmazelle

From: Blumenfeld et al. *Nature* **445**, p. 741



- 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!

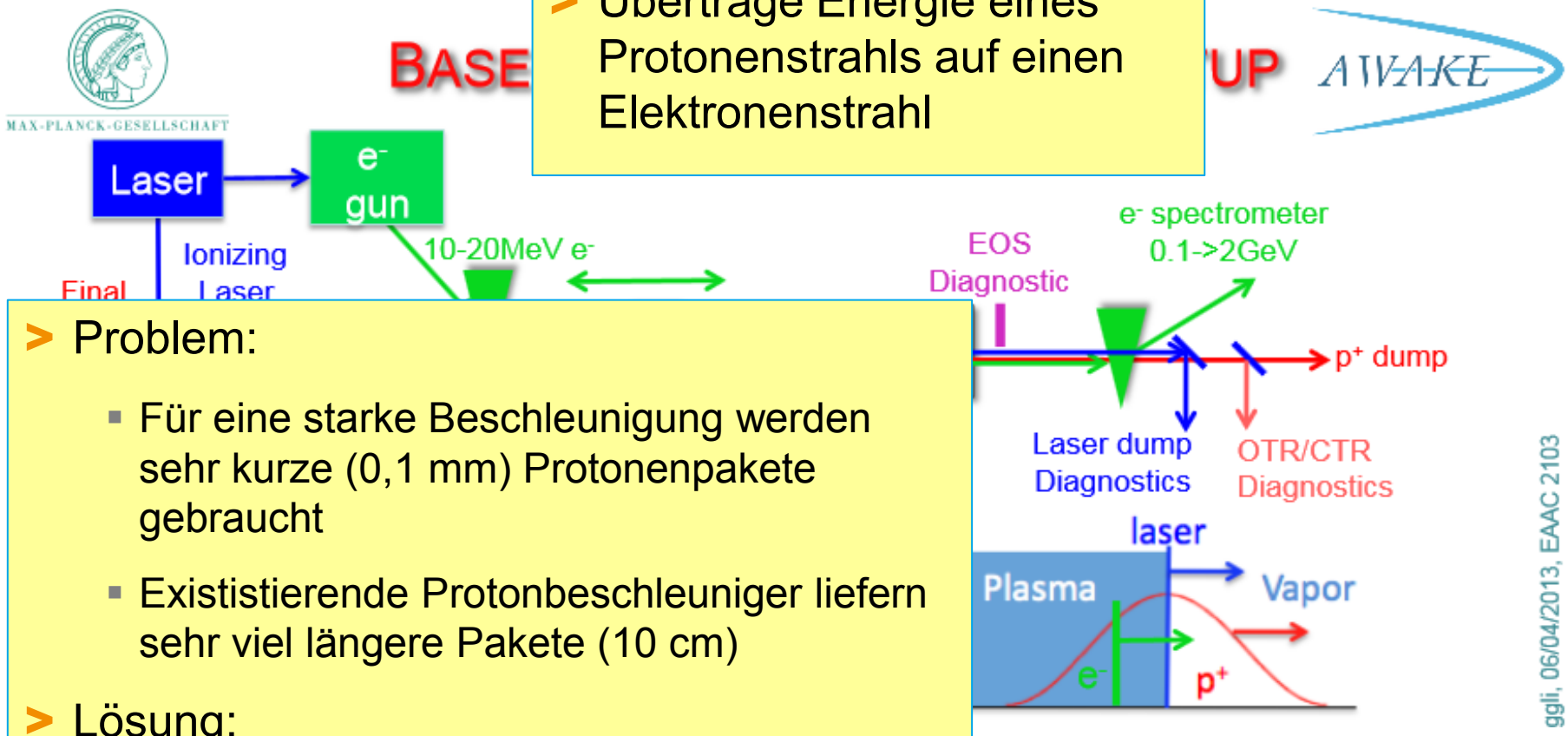
Plasmabeschleunigung: Weltweite Forschungsaktivitäten mit Konzentration in Europa



Courtesy:
Ralph Aßmann

Plasmabeschleunigung: Geplantes Experiment am CERN

- Teilchenstrahlgetrieben
- Übertrage Energie eines Protonenstrahls auf einen Elektronenstrahl

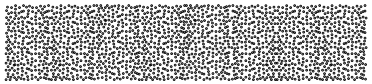


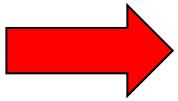
- Problem:
  - Für eine starke Beschleunigung werden sehr kurze (0,1 mm) Protonenpakete gebraucht
  - Exististierende Protonbeschleuniger liefern sehr viel längere Pakete (10 cm)
- Lösung:
  - **Selbstmodulation**

Courtesy:
Patric Muggli

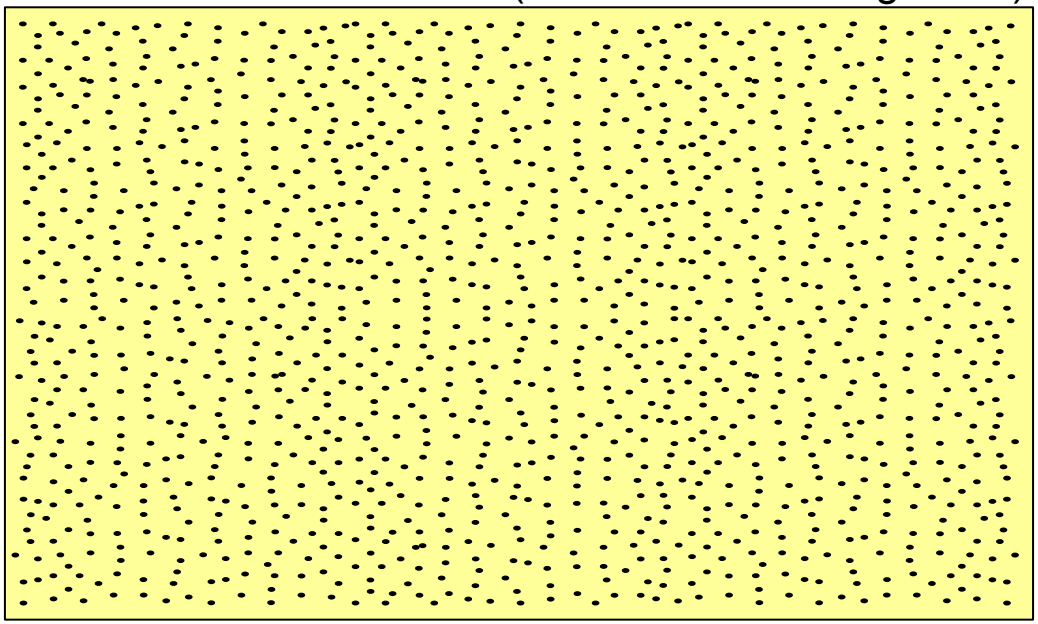
Ausgangsposition

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



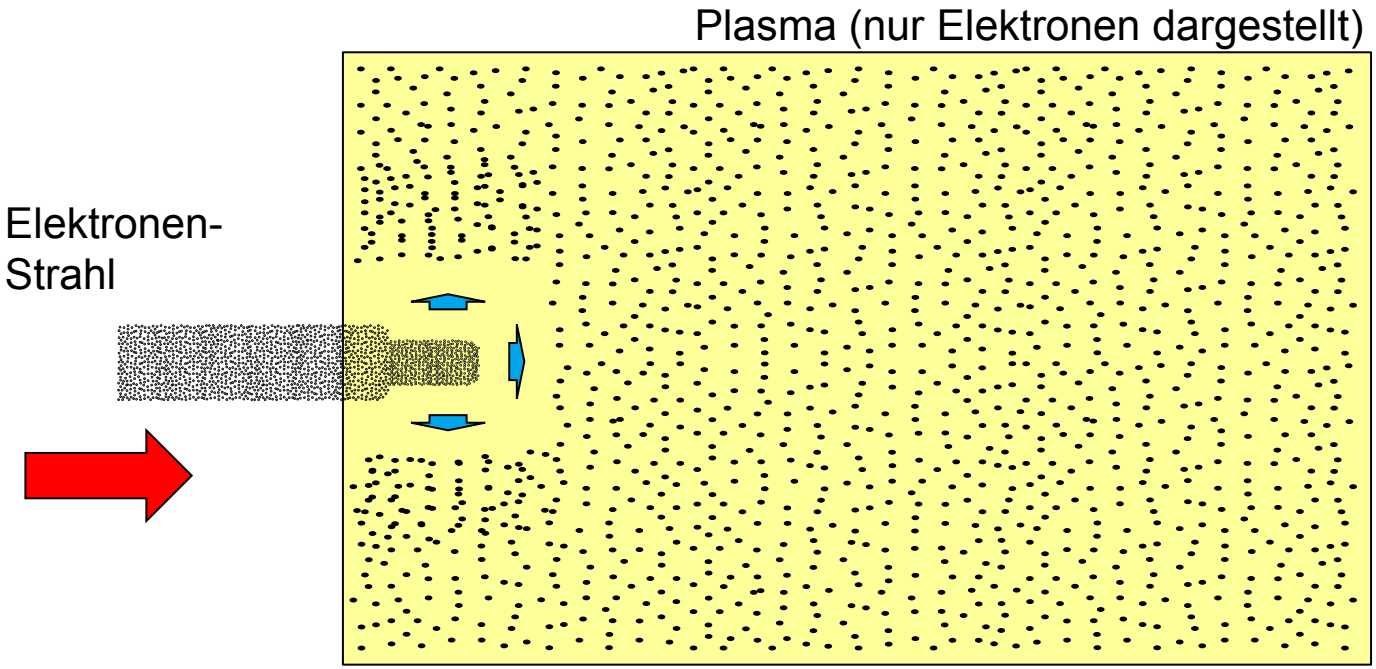


Plasma (nur Elektronen dargestellt)

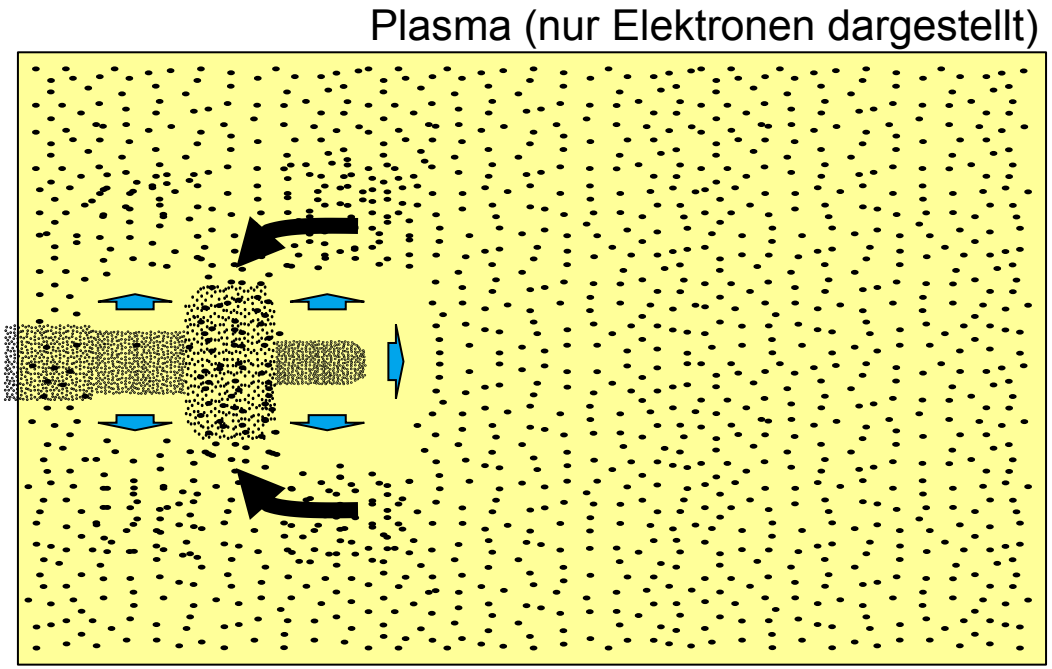


Gleichmäßig verteilt

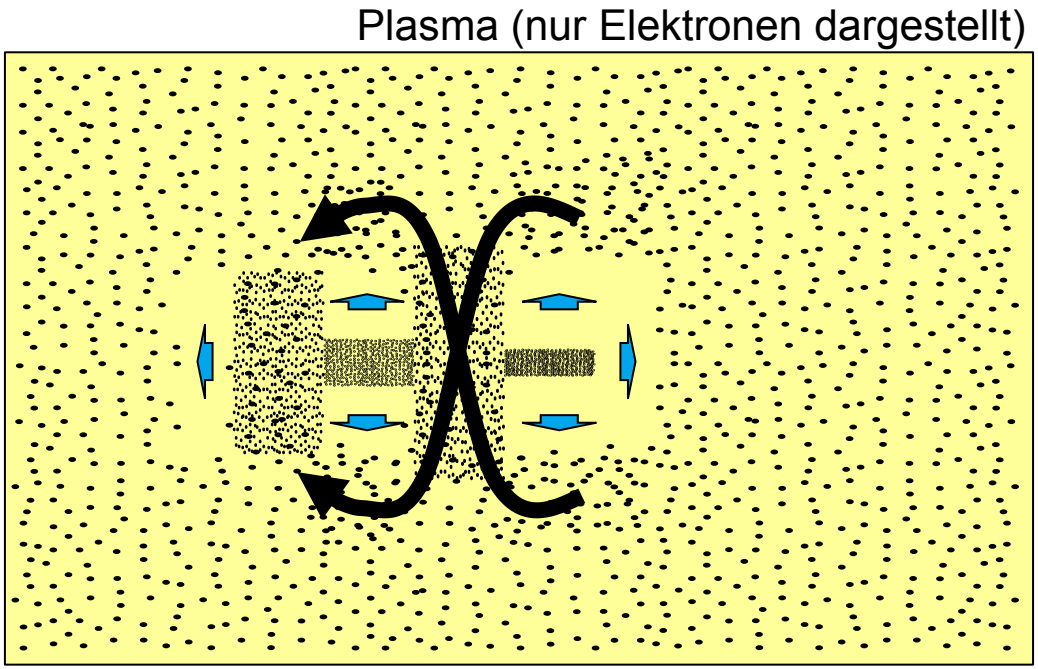
Eintritt in das Plasma



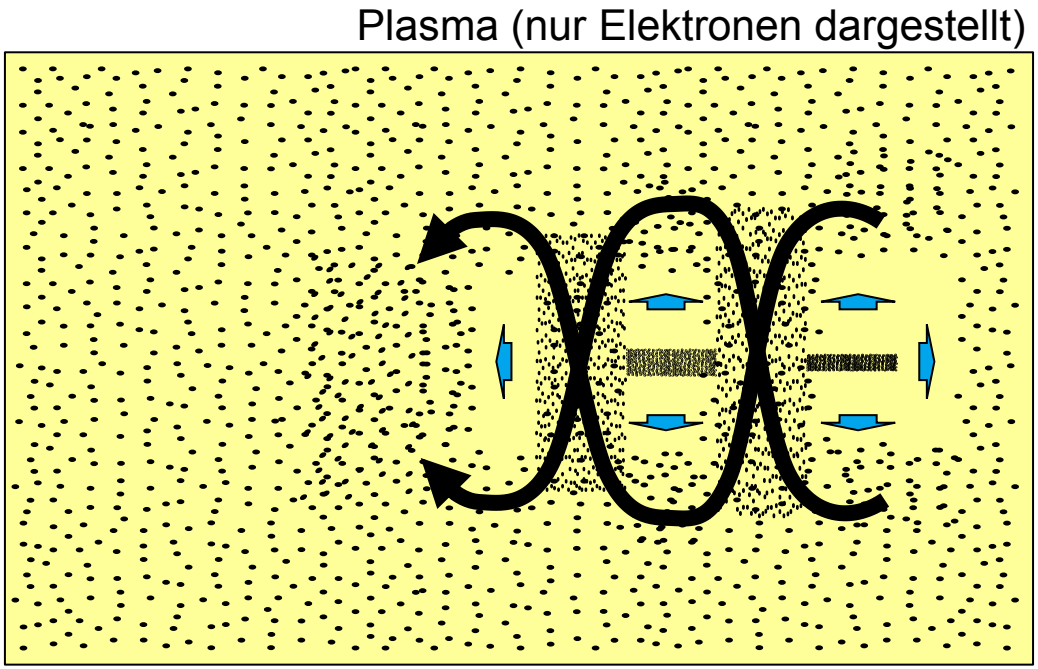
Beginn der Aufteilung in Pakete



Fortschreitende Aufteilung

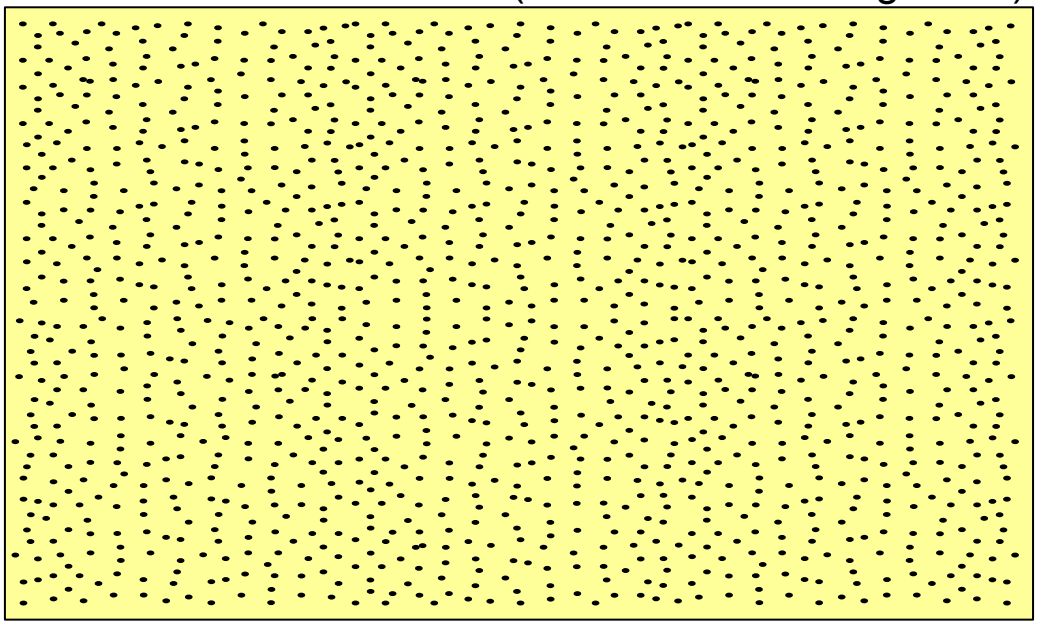


Fortschreitende Aufteilung

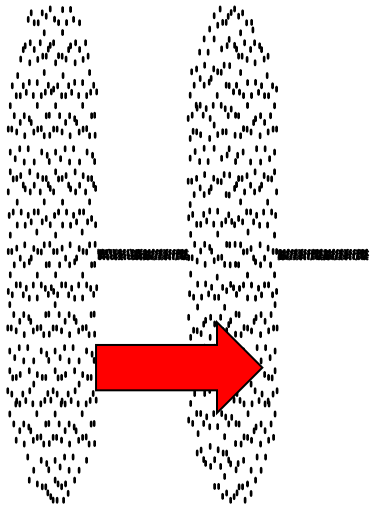


Nach dem Plasmadurchgang

Plasma (nur Elektronen dargestellt)

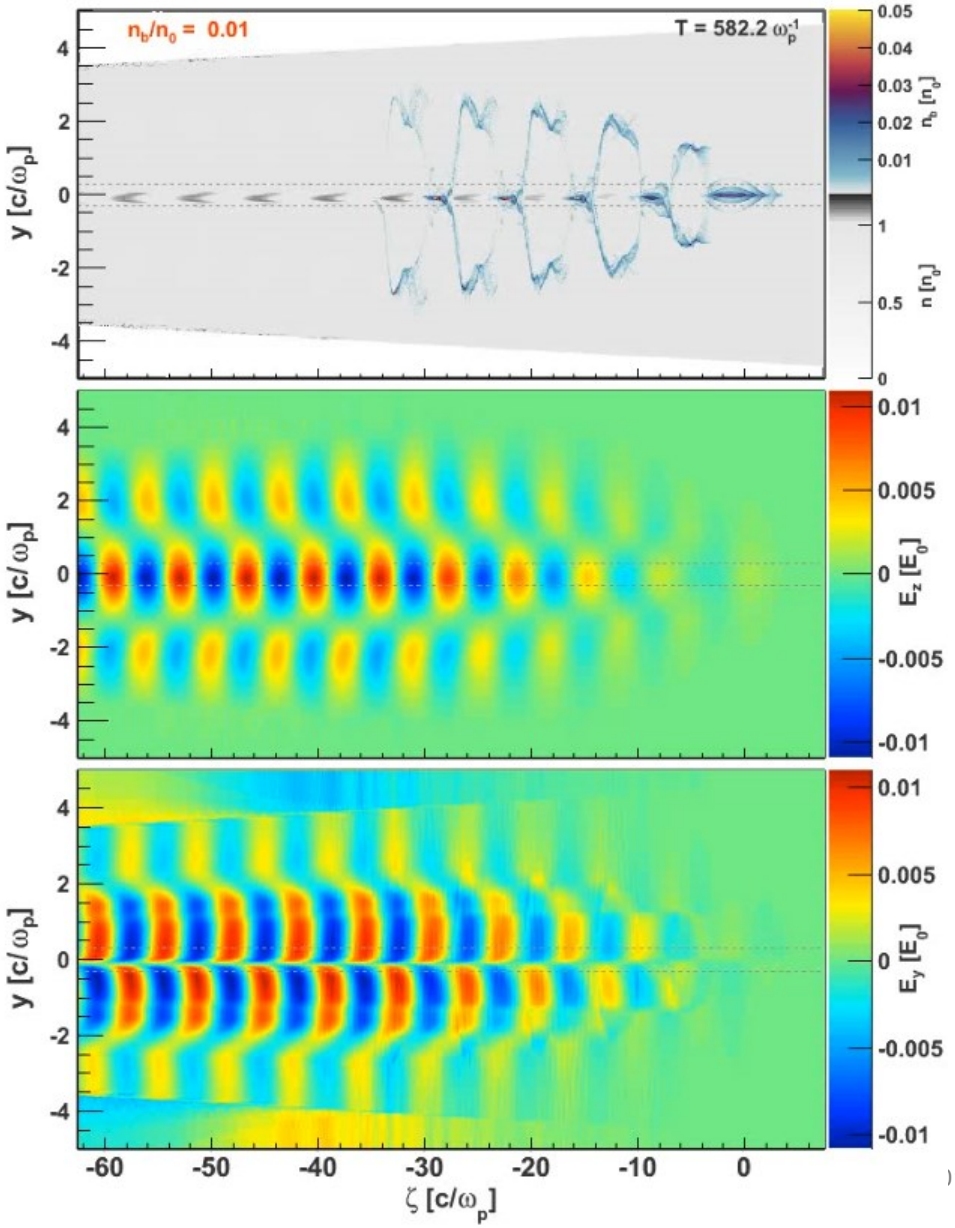


Elektronen-Strahl



In Pakete aufgeteilt

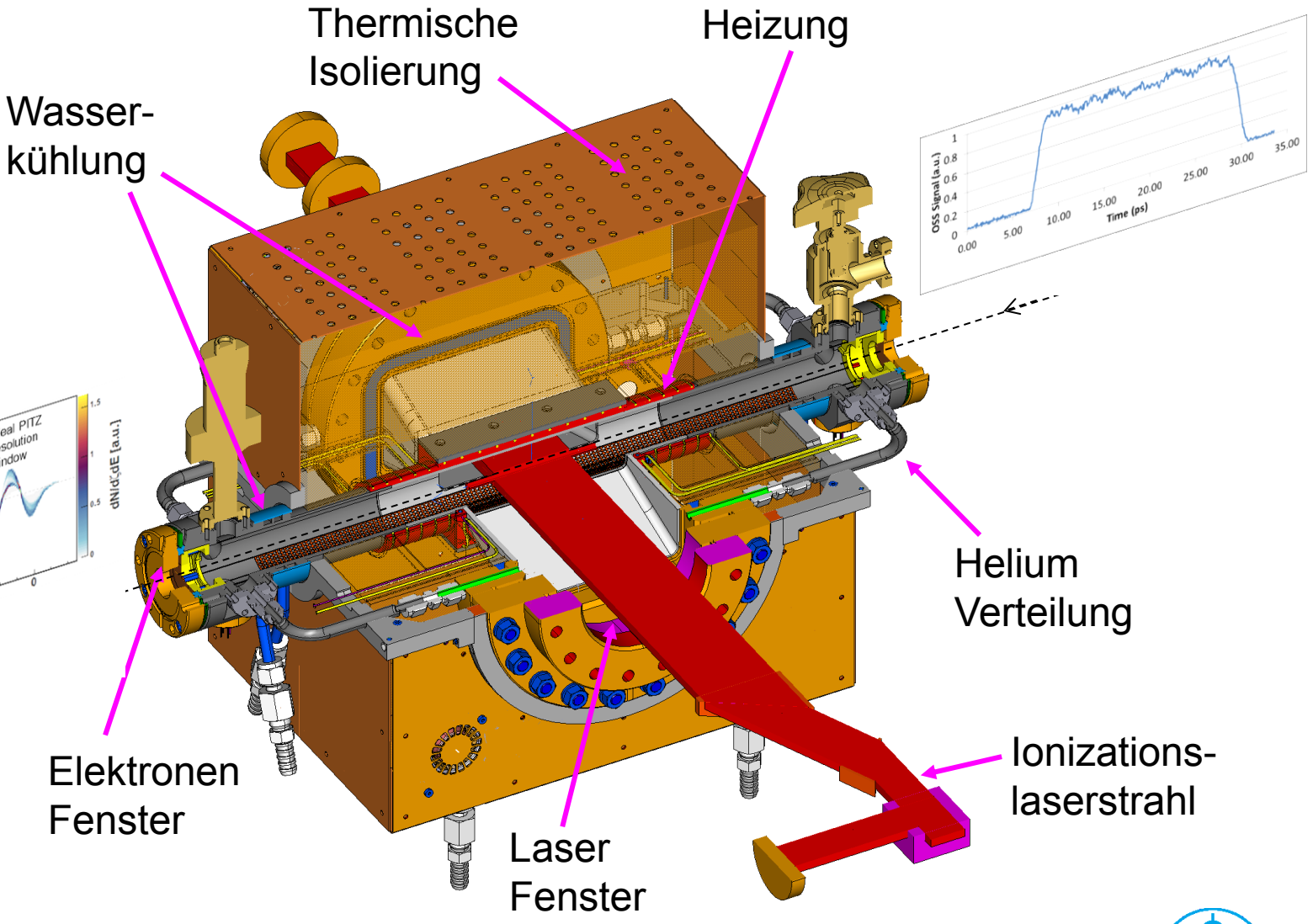
Simulation der Selbstmodulation



Courtesy:
Alberto Martinez de la Ossa

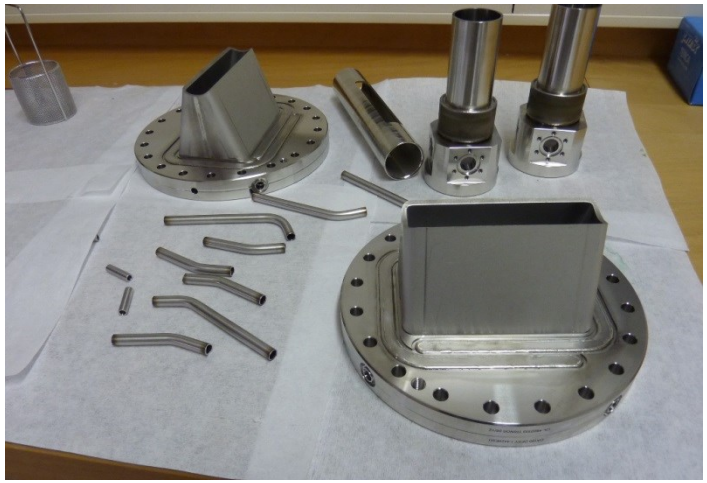
PITZ Plasmazelle

Design:
Gerald Koss

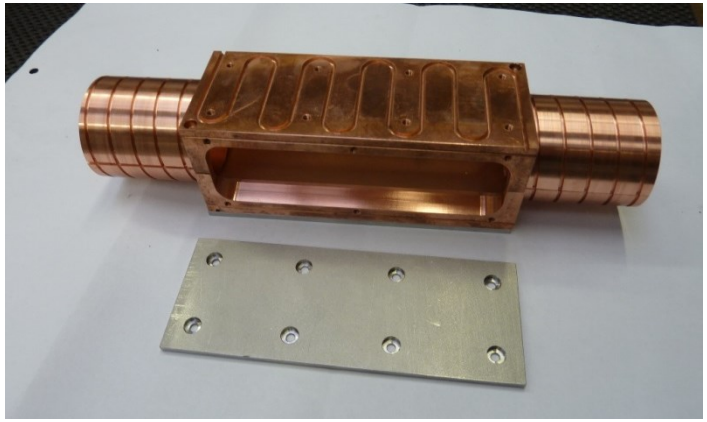


Plasmazellenteile vor dem Zusammenbau

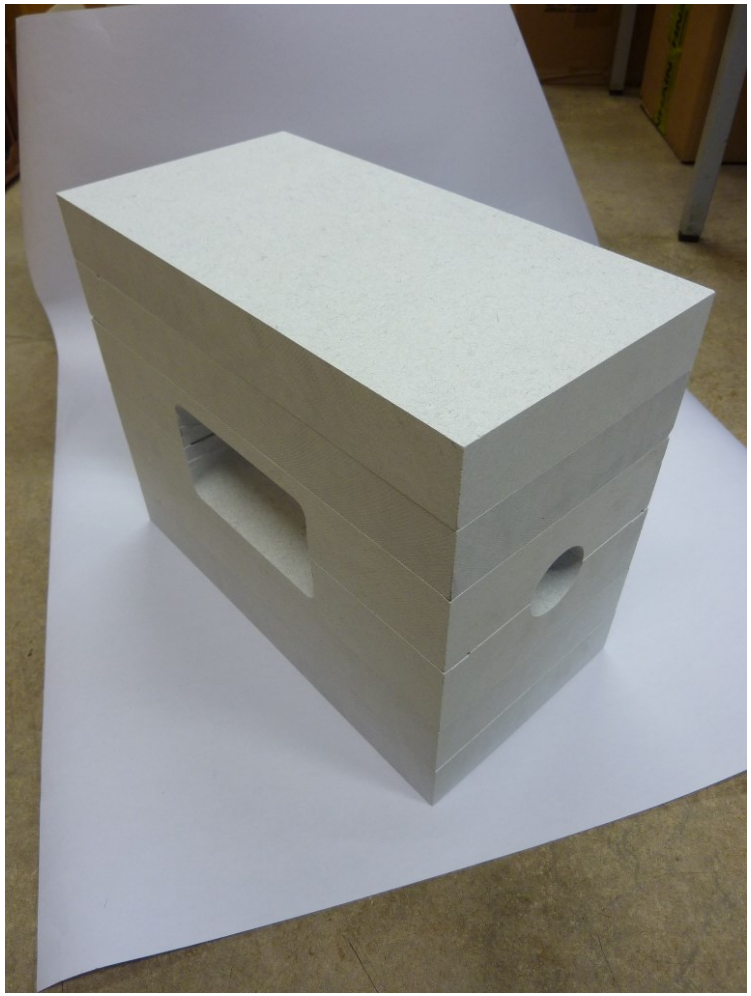
Vakuumkammer aus Edelstahl



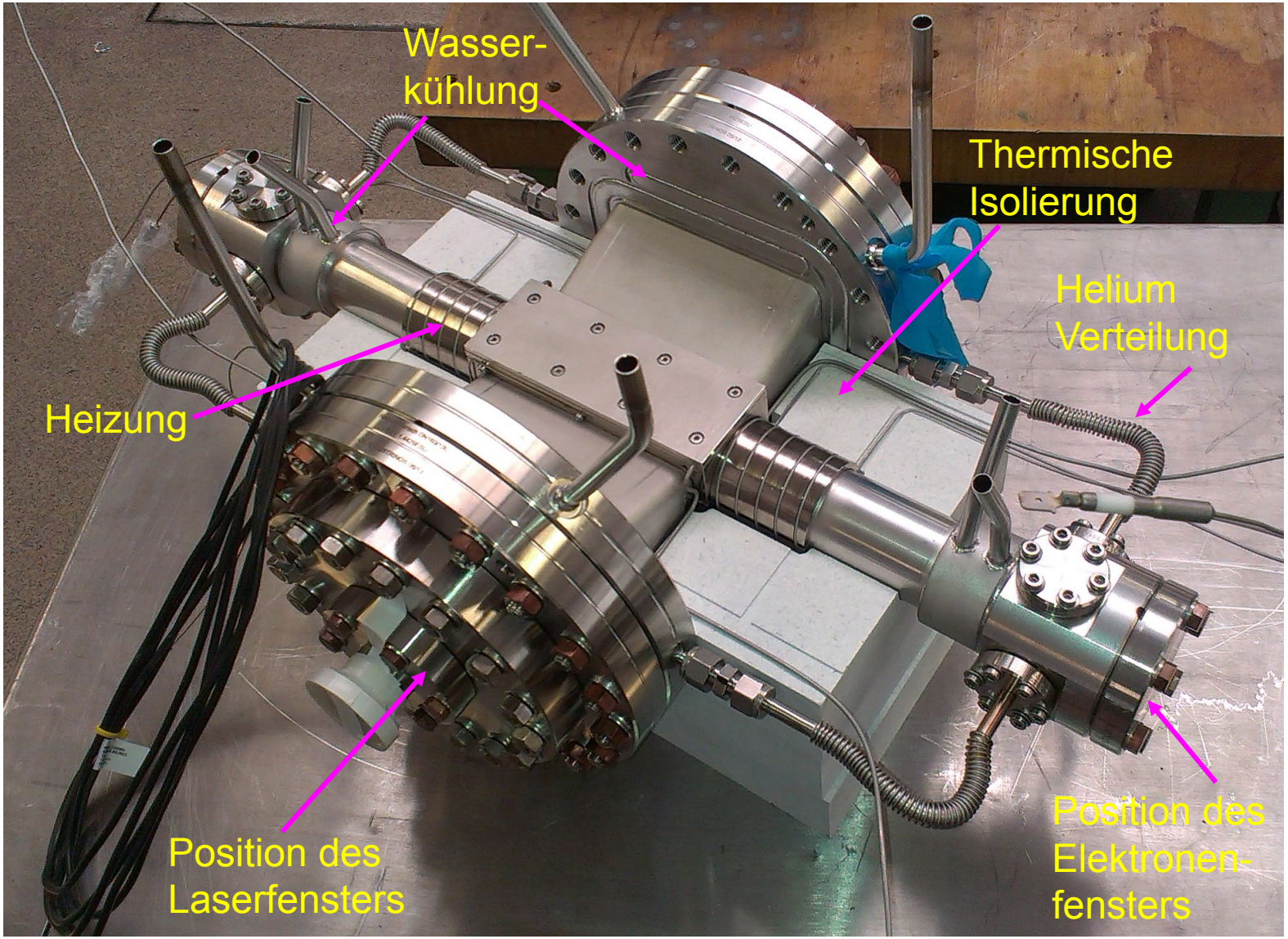
Wärmeverteiler aus Kupfer



Wärmeisolierung: Formsteine

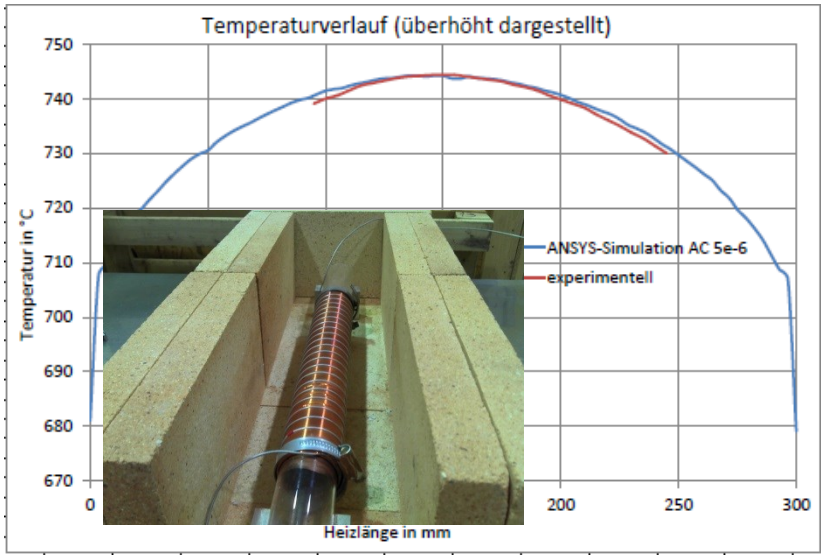


Zusammengebaute Plasmazelle

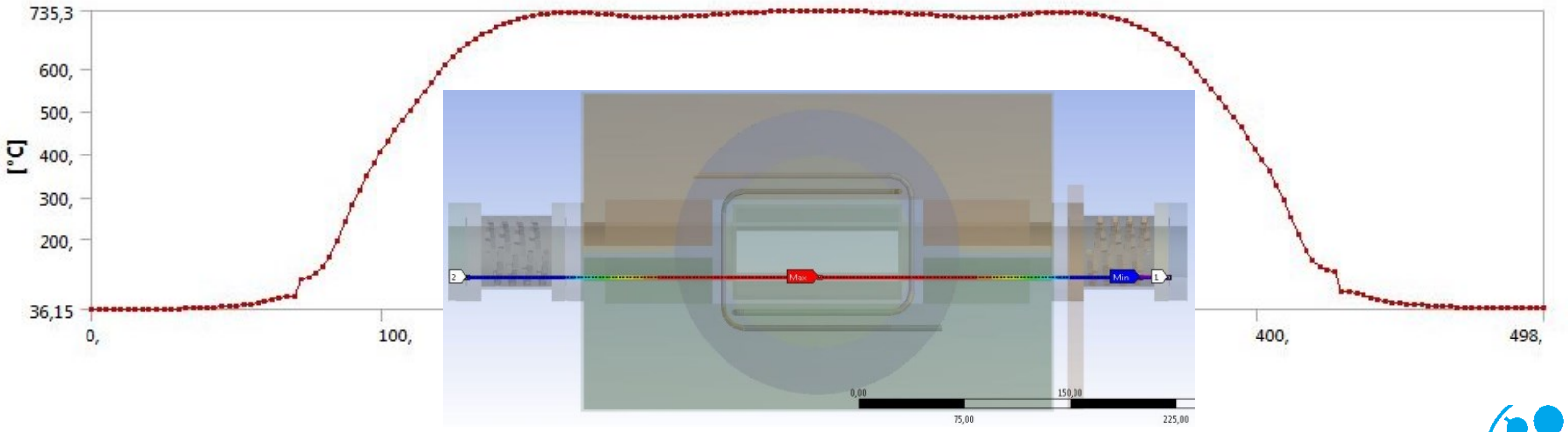


Design des Heiz/Kühlsystems

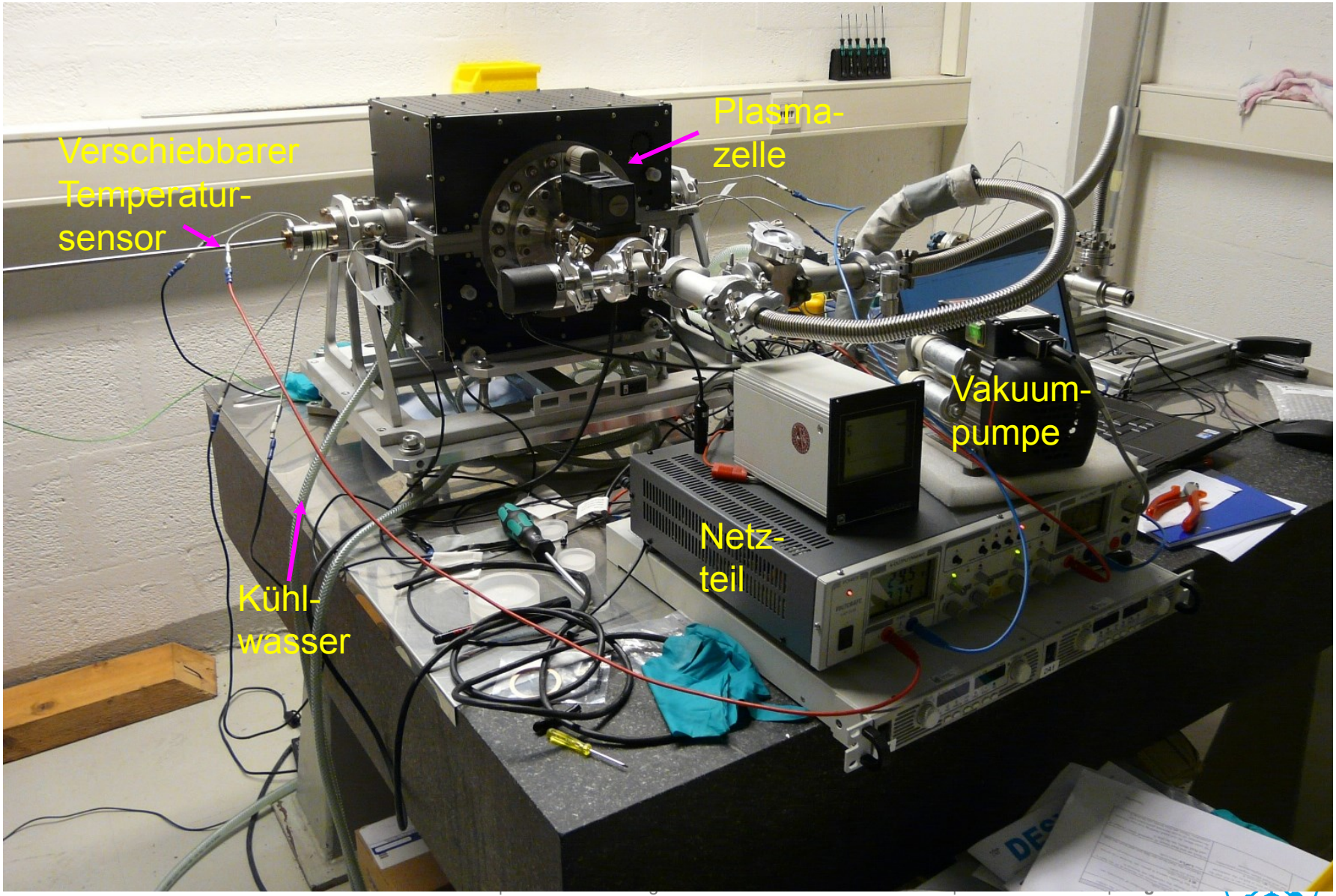
- Prototyp: Einfache Quarzröhre, keine Kühlung (Hohe Temperatur an Enden)
- Heizleistung: 305W; Max. Temperatur: 745°C
- Simulation und Experiment stimmen überein



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

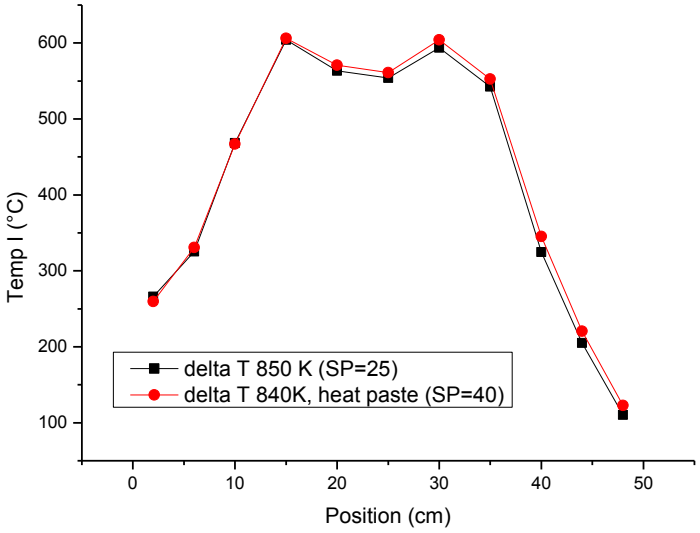


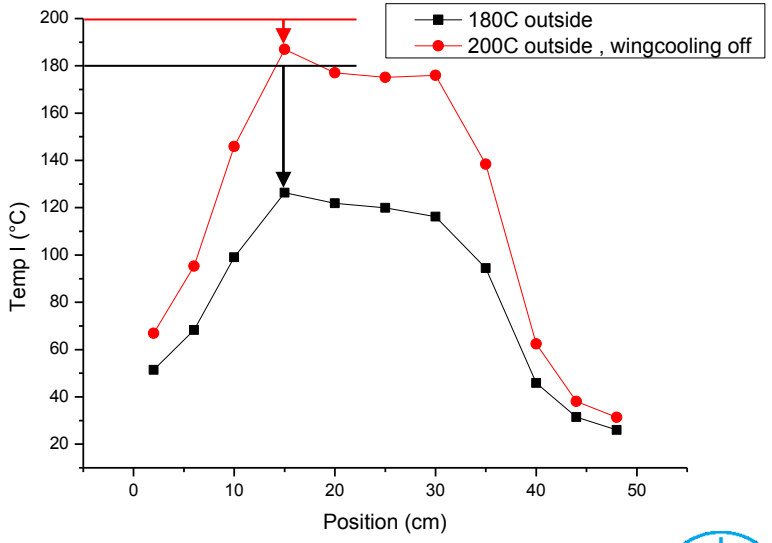
Temperaturmessung: Versuchsaufbau



Temperaturverteilung in der Plasmazelle

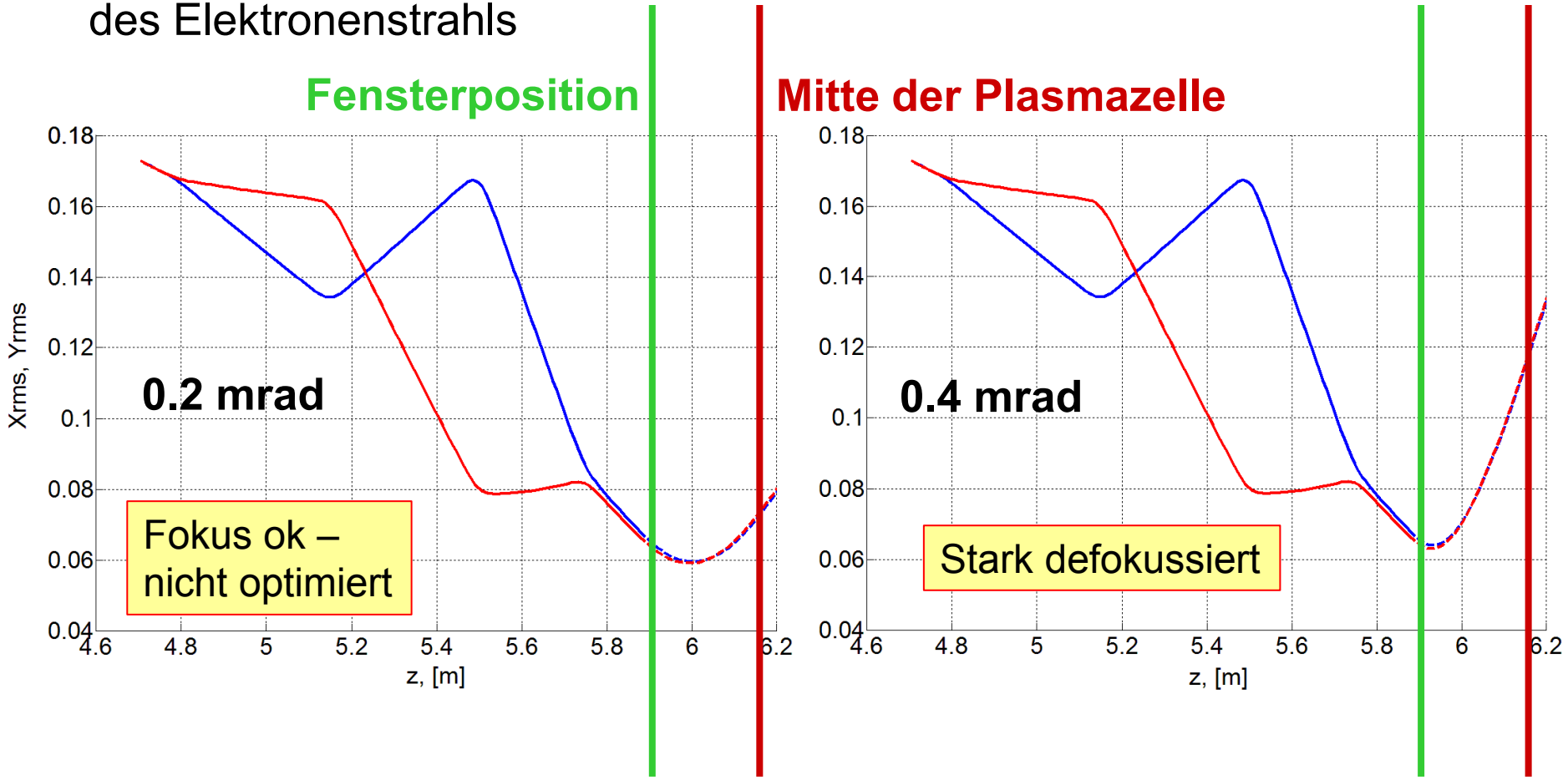
- Volle Leistung (720W)
- Max. Temperatur nur ≈ 600°C (870°C außen)
- Nur geringe Hilfe durch Heizpaste und Erhöhung der Kühlwassertemperatur
- Test bei mittlerer Heizleistung
- Reduktion des Kühlwasserflusses in den Seitenarmen: großer Unterschied!
- Temperaturdifferenz von außen nach innen <20°C





Streuung am Elektronenfenster

- ASTRA Simulationen: Streuung am Fenster erschwert Fokussierung des Elektronenstrahls



- Maximal erlaubter Streuungswinkel: 0.2 mrad

Theorie: Mehrfache Coulombstreuung

- Von: Claus Grupen “Teilchendetektoren”: Mehrfache Coulombstreuung

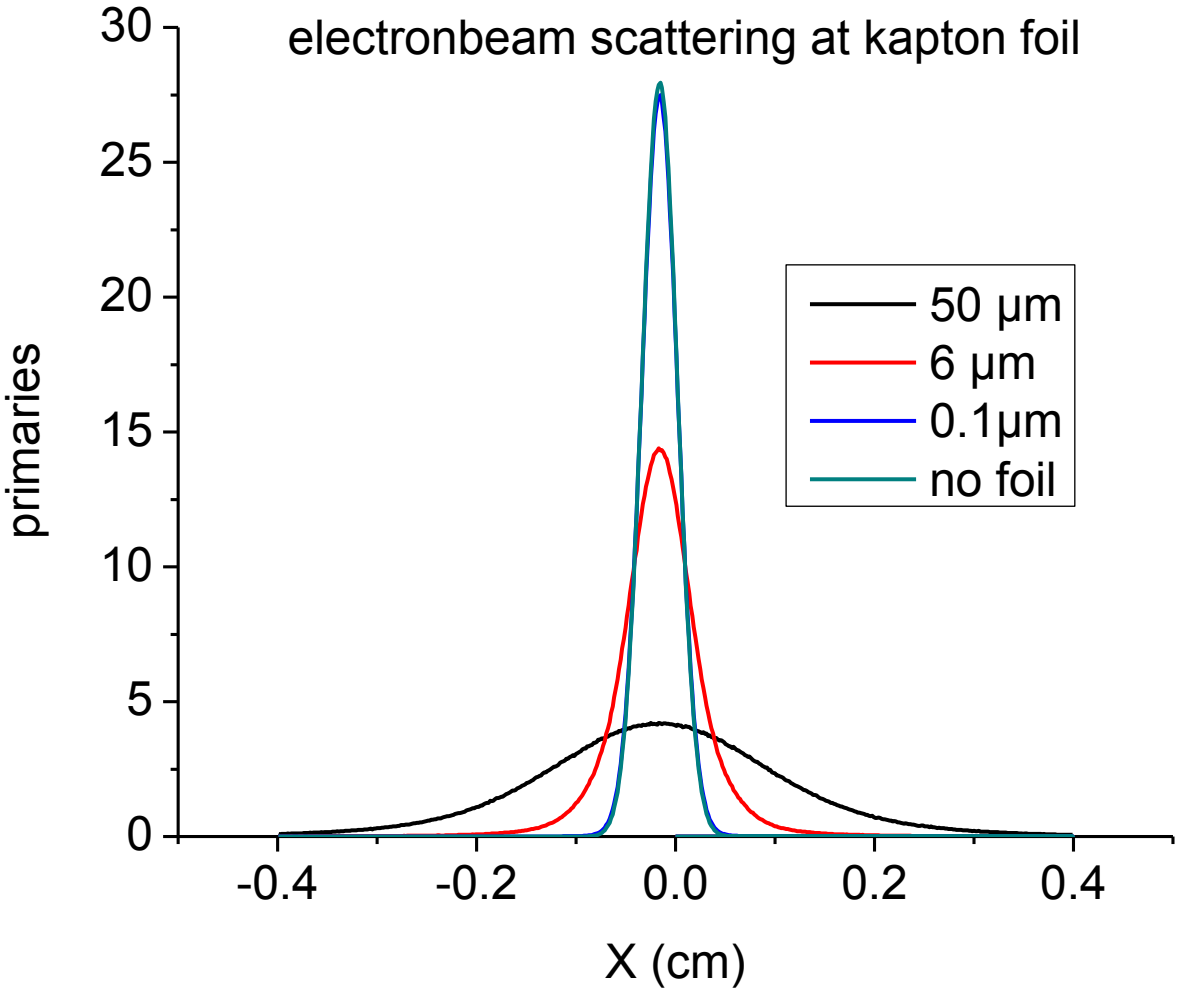
The rms of the projected scattering angle distribution:

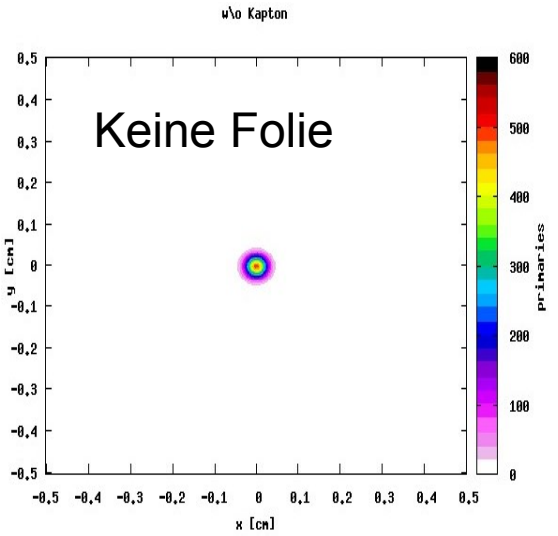
$$\theta_{rms} = \frac{13.6MeV}{\beta pc} z \sqrt{\frac{x}{X_0}} \left[1 + 0.038 \ln\left(\frac{x}{X_0}\right)\right]$$

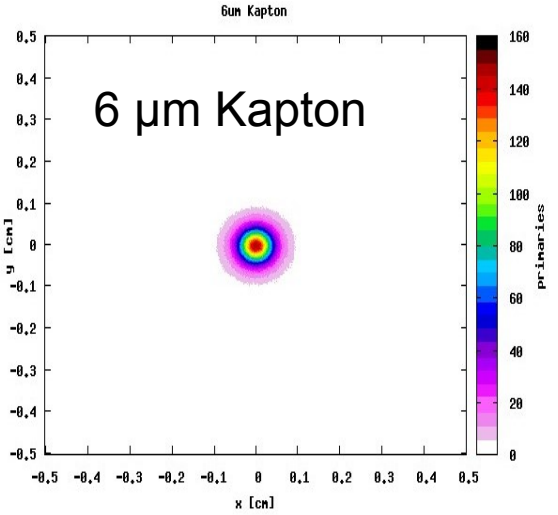
$$\beta pc = 22MeV;\ z = 1;\ X_0 = 0.28m$$

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

Simulation: FLUKA



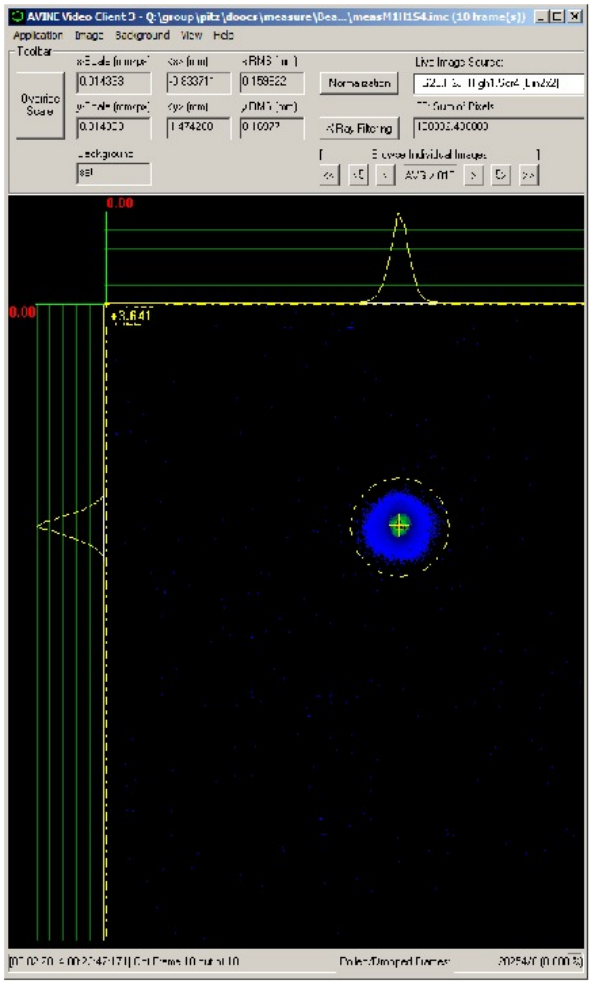




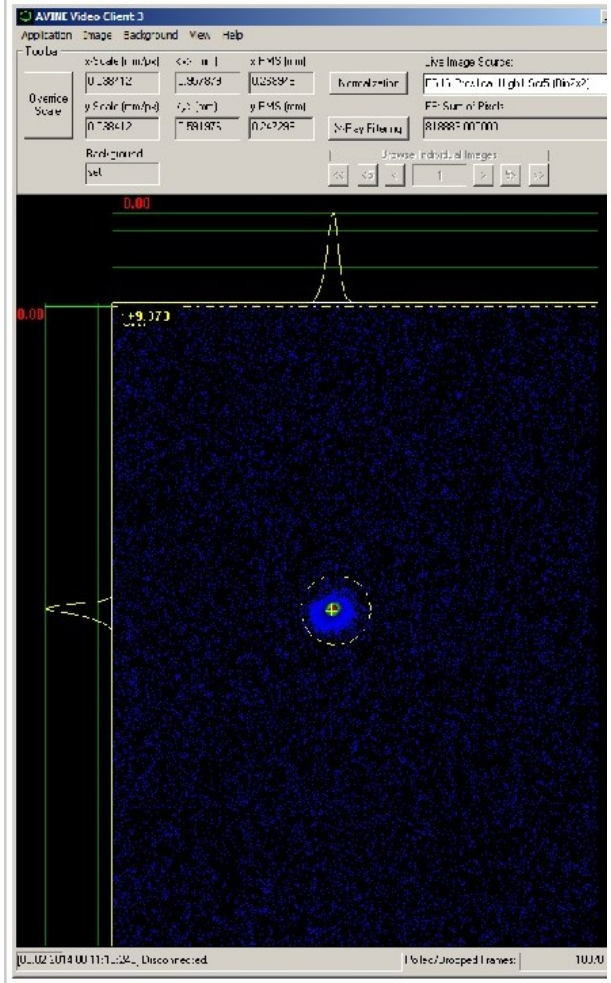
Courtesy: Rico Schütze

Experiment in PITZ Beam Line – 50um Kapton

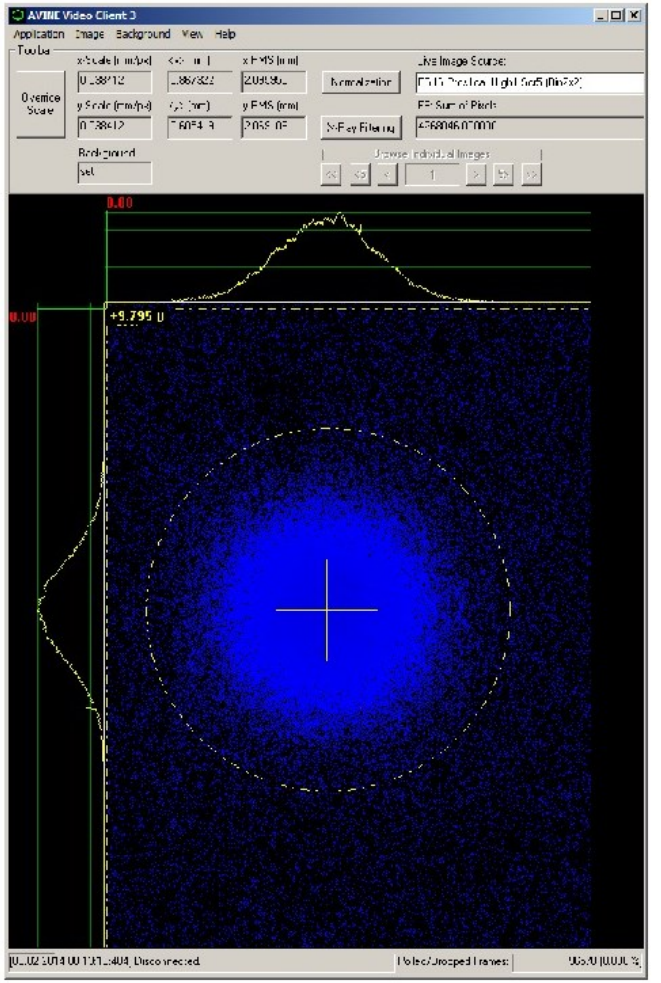
08.02.2014 00:36 M.Gross, G.Pathak **Beam at High1.Scr4**
Xrms = 0.159mm
Yrms = 0.169mm



08.02.2014 00:11 M. Gross, G. Pathak **Beam at High1.Scr5 - M1, n**
Xrms = 0.268mm
Yrms = 0.247mm

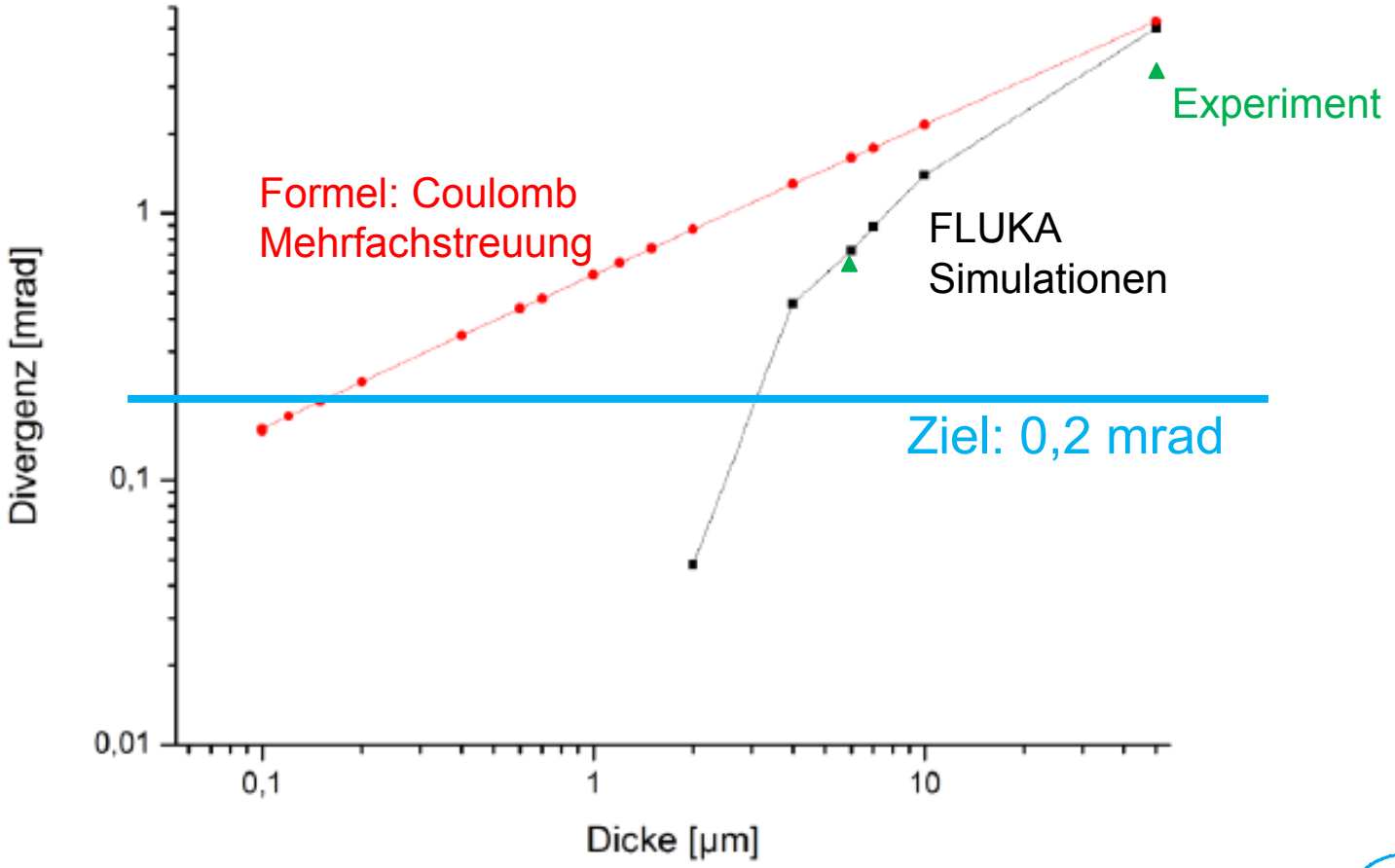


08.02.2014 00:13 M.Gross, G.Pathak **Beam with Kapton at High1Scr.5**
Xrms= 2.095mm
Yrms= 2.069mm



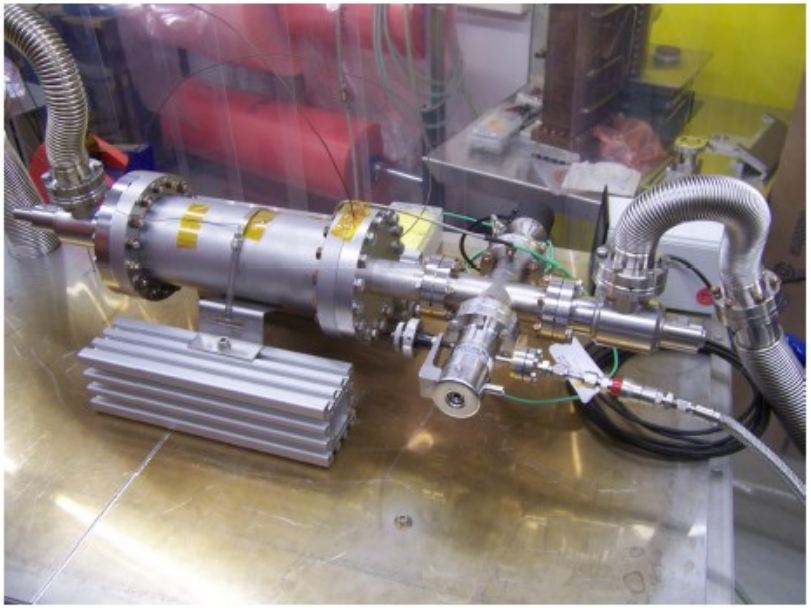
Elektronenfenster (Streuung des Elektronenstrahls)

- Dicke des Elektronenfensters sollte mehrere μm betragen



Gasdiffusion durch das Elektronenfenster

- Messung der Leckrate / Einfluss auf Ionengetterpumpe (IGP)

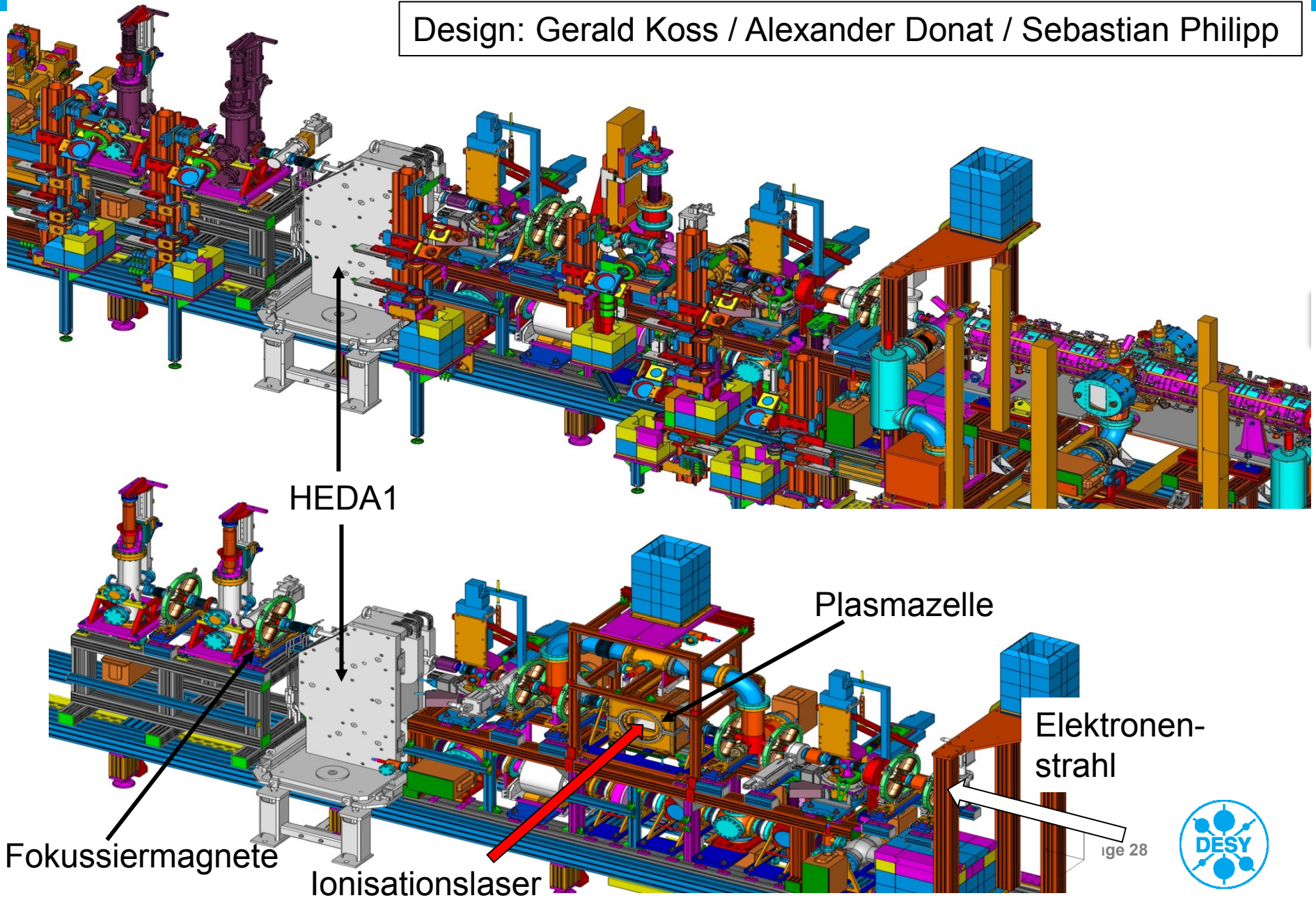


(b) Realized arrangement (without heating jacket)

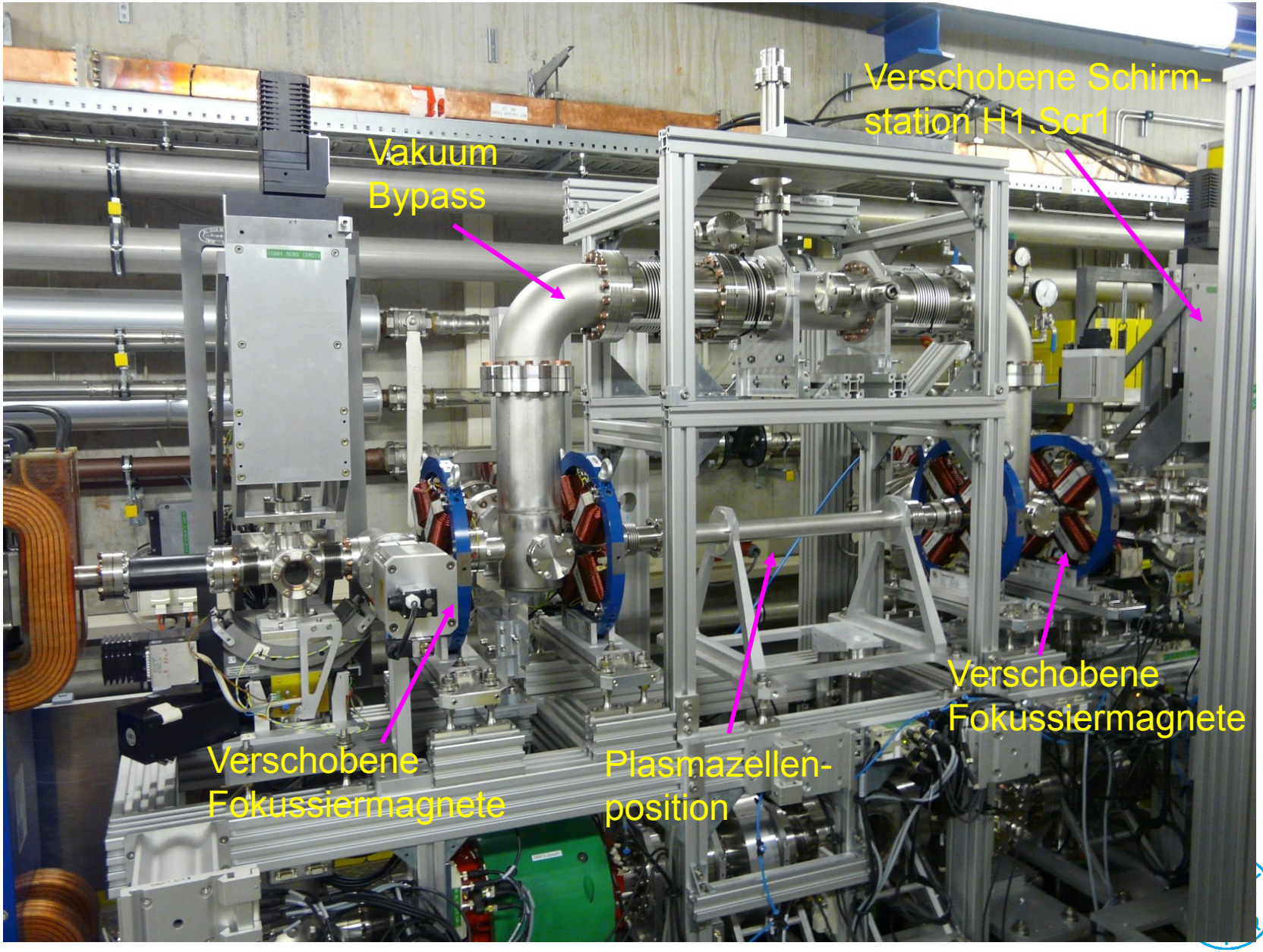
- Experiments werden derzeit durchgeführt

Plasmazelle: Einbau in den Beschleuniger

Design: Gerald Koss / Alexander Donat / Sebastian Philipp

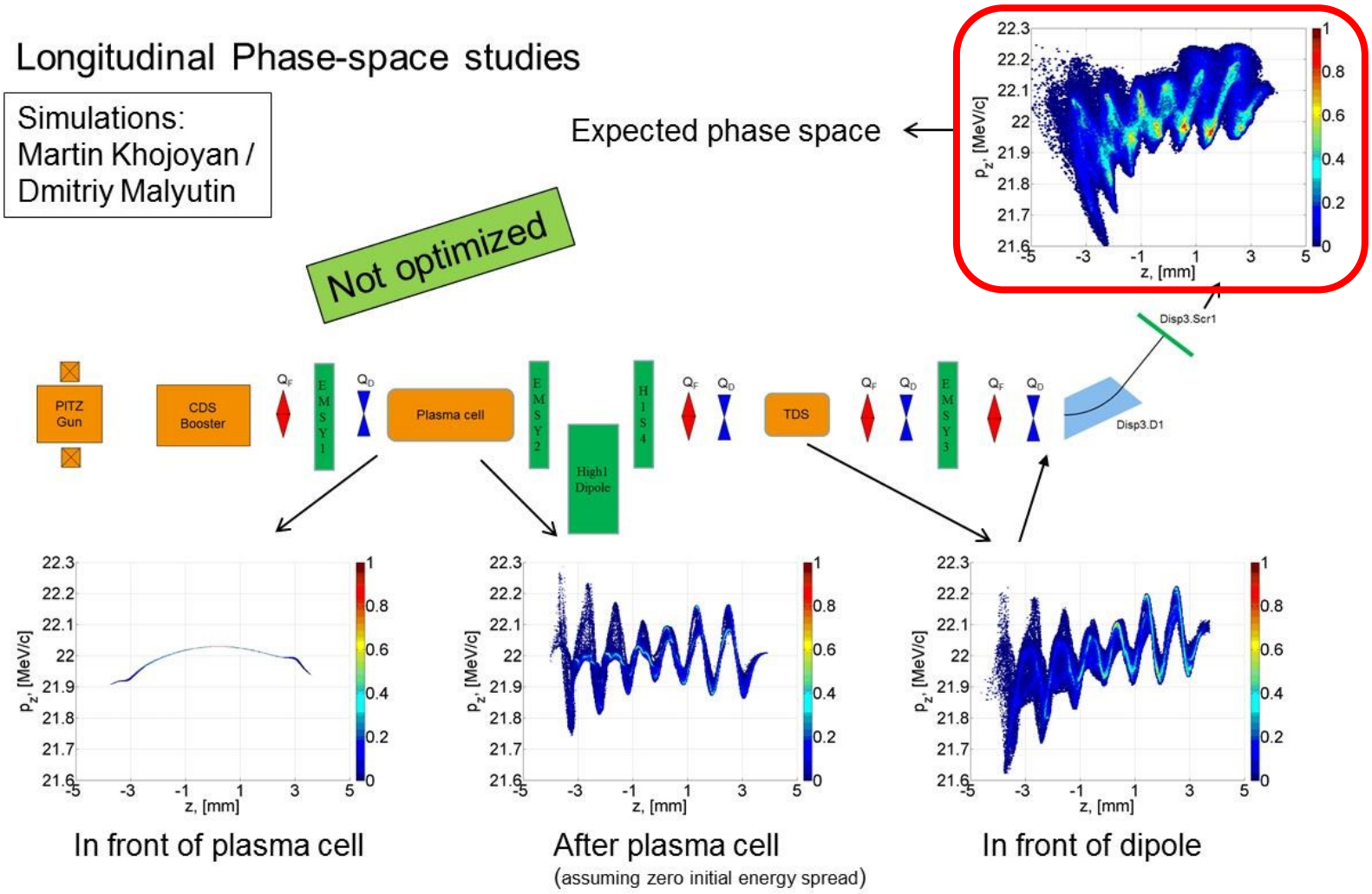


Derzeitiger Status der PITZ Beamline



Derzeitiges Team

- Mechanik / Konstruktion
  - Gerald Koss
  - Sebastian Philipp
- Vakuum
  - Dieter Richter
- Experimente
  - Rico Schütze (Bachelor)
  - Gaurav Pathak (Doktorand)
  - Osip Lishilin (Doktorand)
- Organisation
  - Matthias Gross

Ausblick

- Dieses Jahr: Selbstmodulationsexperimente bei PITZ