

Beschleuniger-Technologien der Zukunft

PITZ, Plasma und Co.

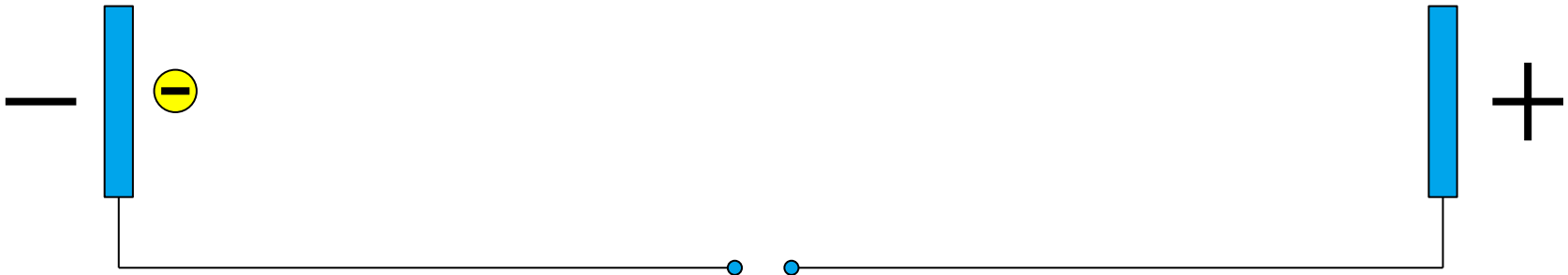
Matthias Gross

Abendvortrag

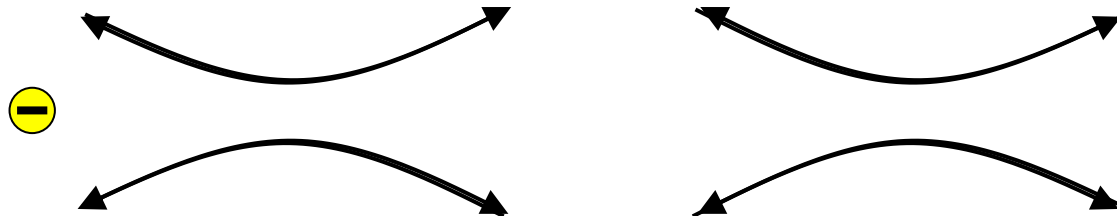
DESY, Zeuthen, 22. Oktober 2014

Beschleunigertypen der Gegenwart

> Gleichspannung (statisch)



> Wechselspannung (dynamisch)



Anwendungen

> Medizin

- Krebstherapie (Bestrahlung)



> Sicherheit

- Durchleuchtung von LKWs, Containern etc. (Alternative zu Röntgen)



> Technologie

- Röhrenfernseher



> Grundlagenforschung

- Collider: Higgs und Co.
- **Freie Elektronen Laser**



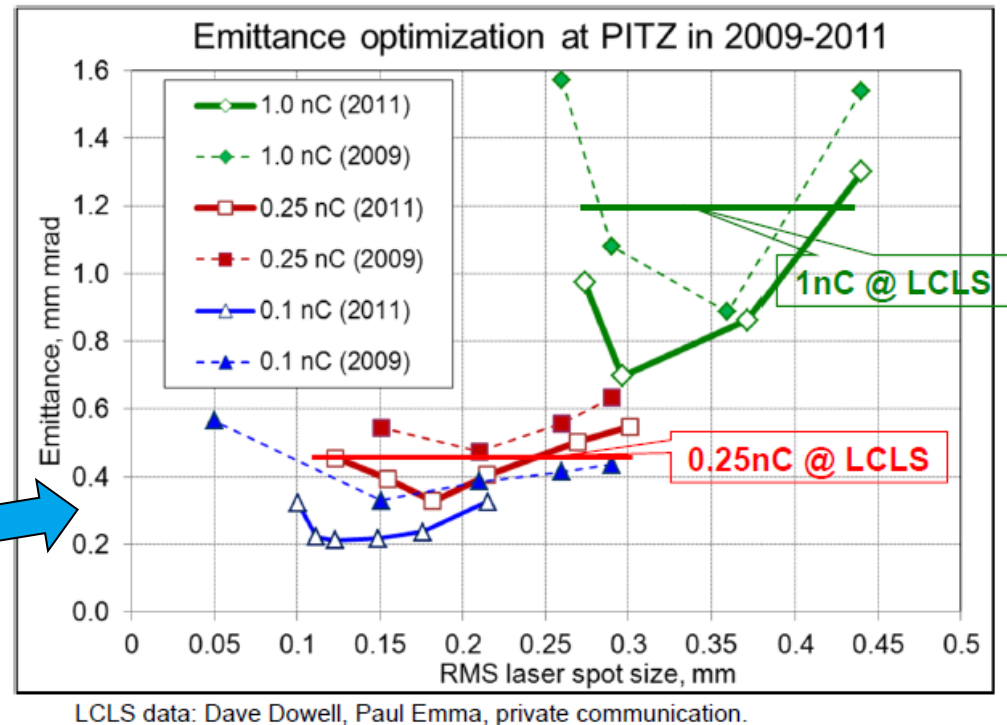
Röntgenlaser European XFEL – startet in 2017

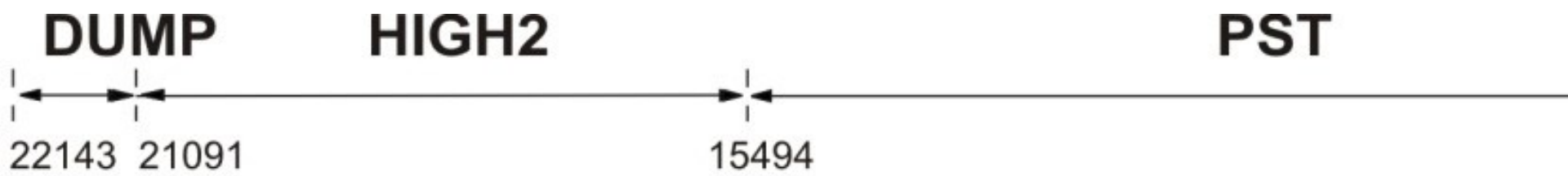
- > Erzeugt ultrakurze Laserlichtblitze im Röntgenbereich
 - Bis zu 27000 Pulse pro Sekunde
 - **Milliardenfach intensiver als die besten herkömmlichen Röntgenquellen**
- > Internationales Großprojekt
 - Zur Zeit im Aufbau am DESY Campus in Hamburg
 - Deutschland und elf weitere Staaten sind beteiligt
 - Kosten: etwa 1 Milliarde €, eingebaut in einem 3,4 km langen Tunnelsystem
- > Anwendungen
 - **Biologie:** Detaillierte Bilder von Zellbestandteilen, Eiweißmolekülen, Viren etc.
 - **Chemie:** Filme von chemischen Reaktionen
 - **Materialwissenschaft:** Studium des genauen Aufbaus von Nanomaterialien
 - **Astrophysik:** Untersuchung von extrem heißen und zusammenpressten Proben (Fusionsprozesse als neue Energiequelle?)



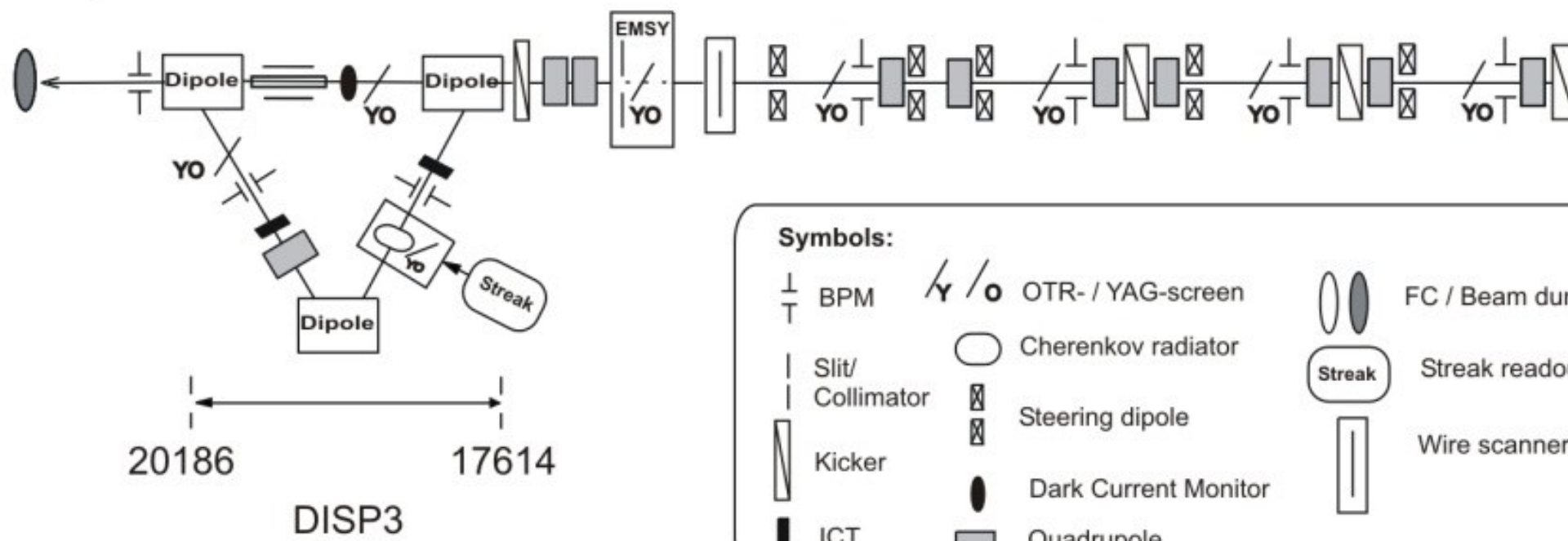
Photoinjektor-Teststand am DESY in Zeuthen (PITZ)

- 1990er Jahre: Konzept für Röntgenlaser wurde entwickelt
 - Qualität des Elektronenstrahls muss stark verbessert werden!
 - Was man am Anfang (Injektor) verkehrt macht kann später nicht mehr repariert werden
- → Beschluss 1999: Photoinjektor-Teststand PITZ wird gebaut
- 2007: Für den Betrieb des Röntgenlasers wichtige Betriebsparameter werden zum ersten mal erreicht
- 2011: **Weltrekord!**





Beam Dump Sweeper EMSY3 Phase Space Tomography module



Symbols:

BPM	OTR- / YAG-screen	FC / Beam dump
Slit/ Collimator	Cherenkov radiator	Streak reader
Kicker	Steering dipole	Wire scanner
ICT	Dark Current Monitor	
	Quadrupole	

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 (Durchmesser bzw. Länge)
European XFEL (linear)	17,5 GeV	1,7 km
HERA (Ring)	27,5 GeV	2 km
LEP (Ring)	105 GeV	8,6 km
SLC (linear)	50 GeV	3,2 km



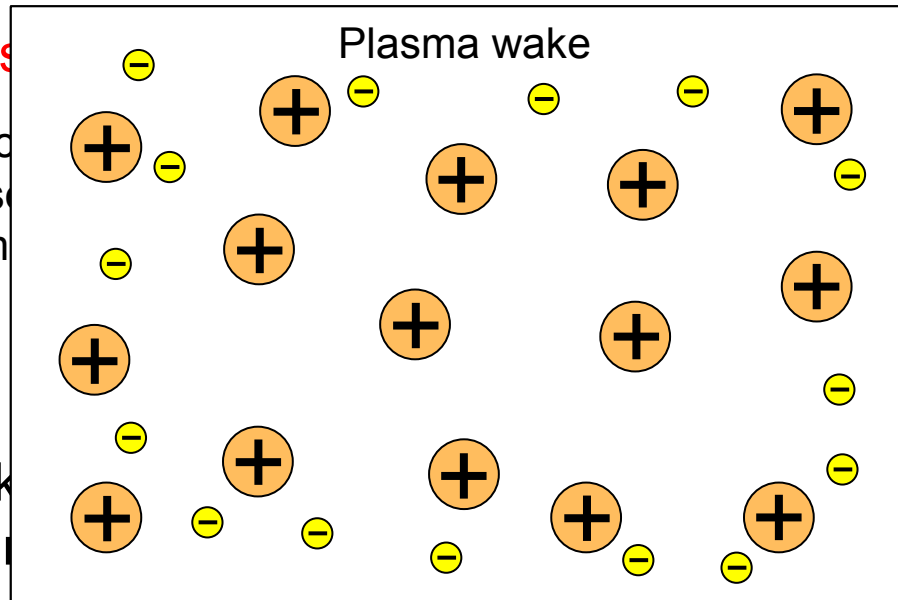
Problem von herkömmlichen Beschleunigern

- > Grundsätzliches Problem: Mikroskopische Teilchen werden mit makroskopisch erzeugten Feldern beschleunigt

- Kleine Feldstärke → Großer Beschleuniger

- > Neue Idee: **Plasma**

- Nutze mikroskopische Teilchen (z.B. Ionen in einem Plasma) – dies ermöglicht die Beschleunigung ohne die Baugröße



Ionen in einem Plasma zusammen sein können

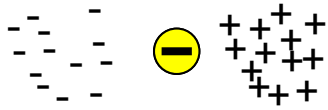
- > **Problem:** Man kann nicht viele Ionen zusammenbringen

... 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



Neuer Beschleunigertyp: PWA

- > Dynamischer Beschleuniger mit Wanderwelle

Plasmawanderwellenbeschleuniger



P lasma

W akefield

A ccelerator

'Wake':
Kielwasser

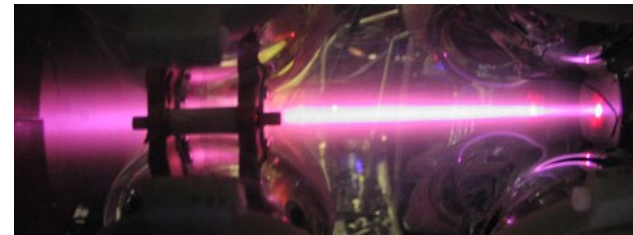


Die Kraftquelle

> Wie treibt man eine Plasmawelle?

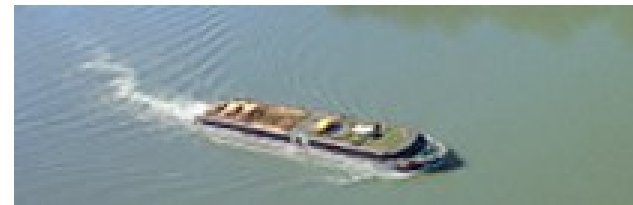
A) Mit einem starken Laserpuls
LDPWA

 *Laser Driven*

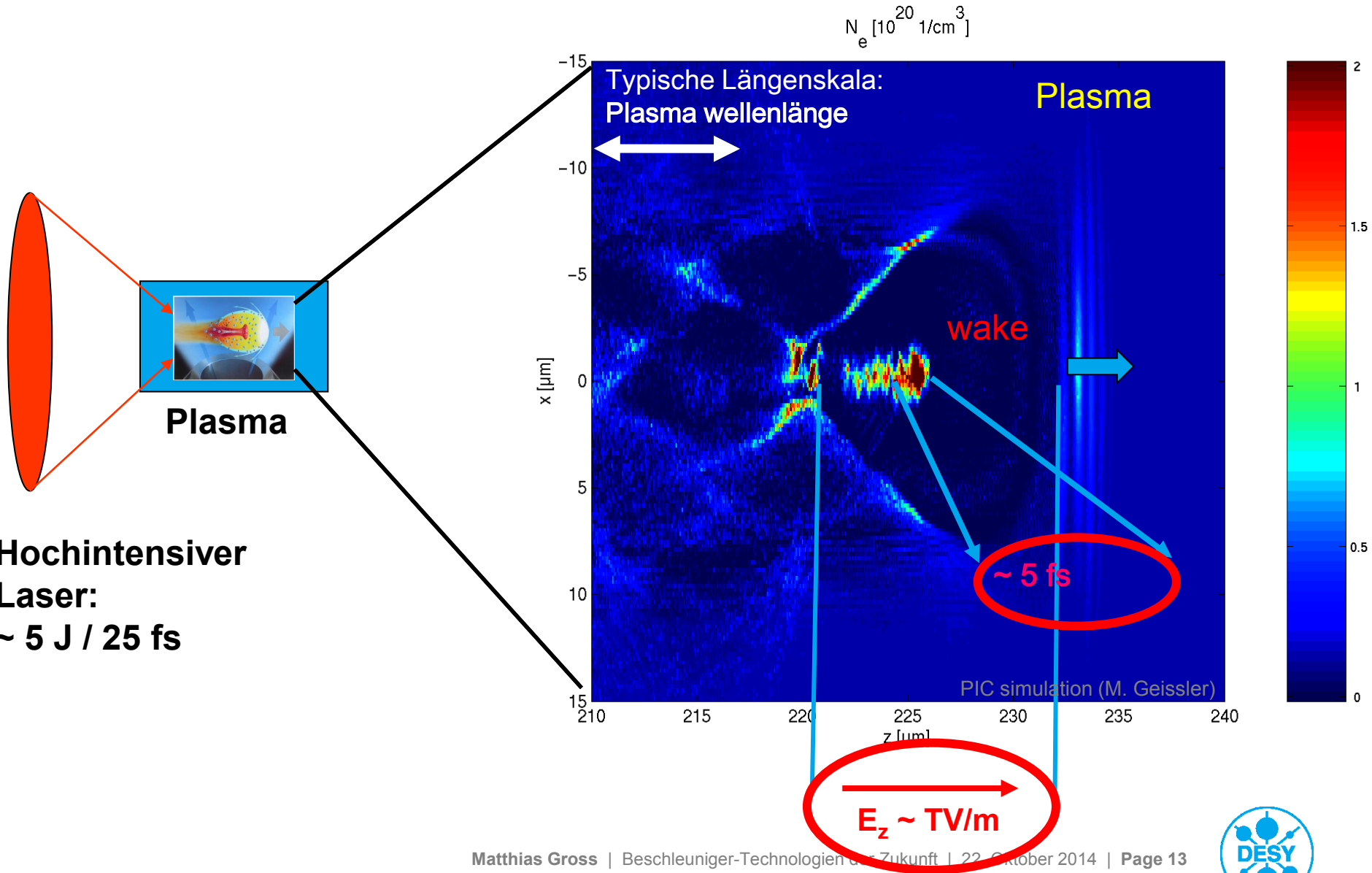


B) Mit einem Teilchenstrahl
PDPWA

 *Particle Driven*



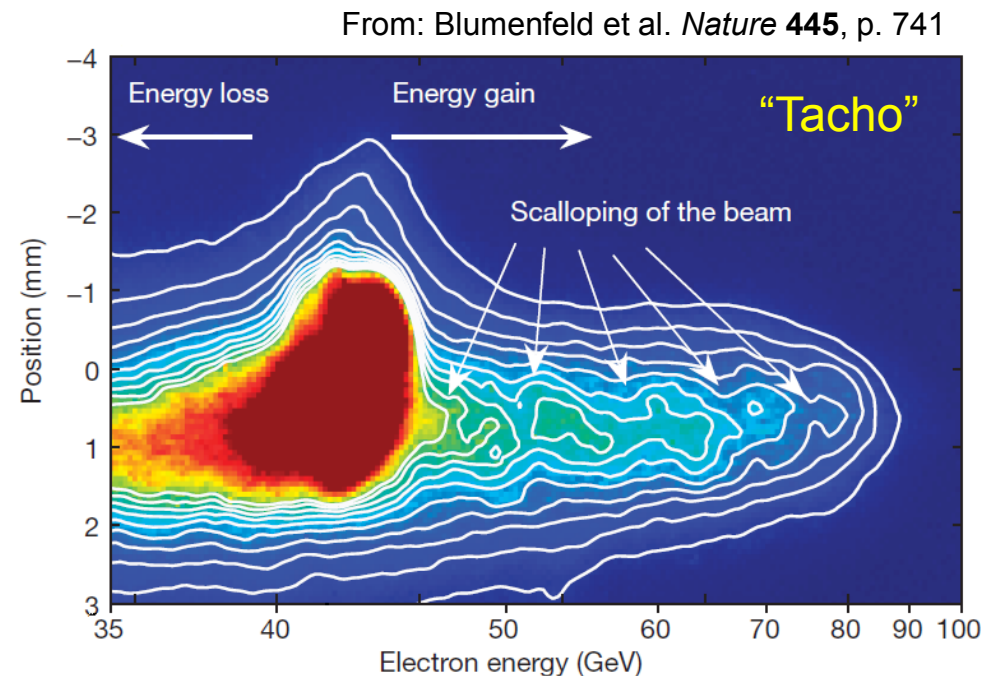
Simulation von Lasergetriebener Plasmabeschleunigung



Demonstration von Strahltriebener 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

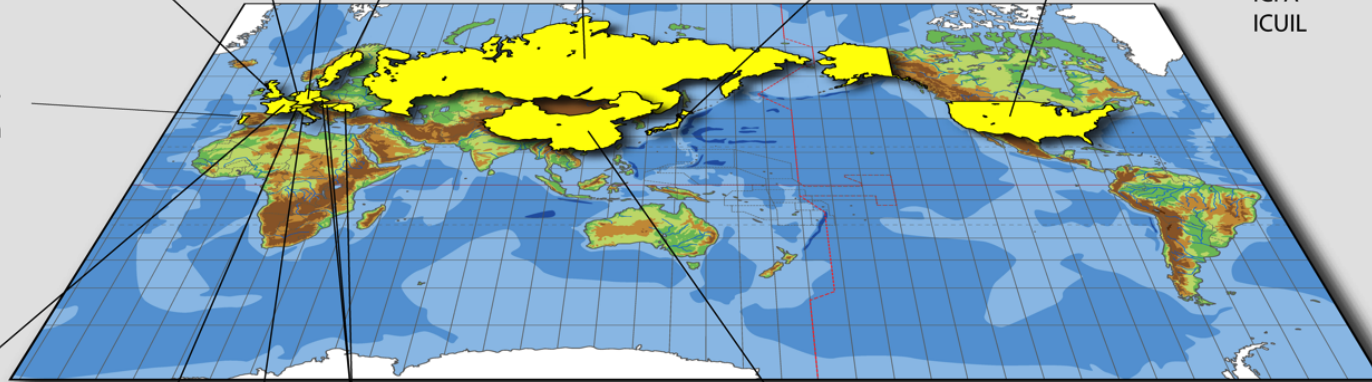
Extreme Light Infrastructures (ELI)

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

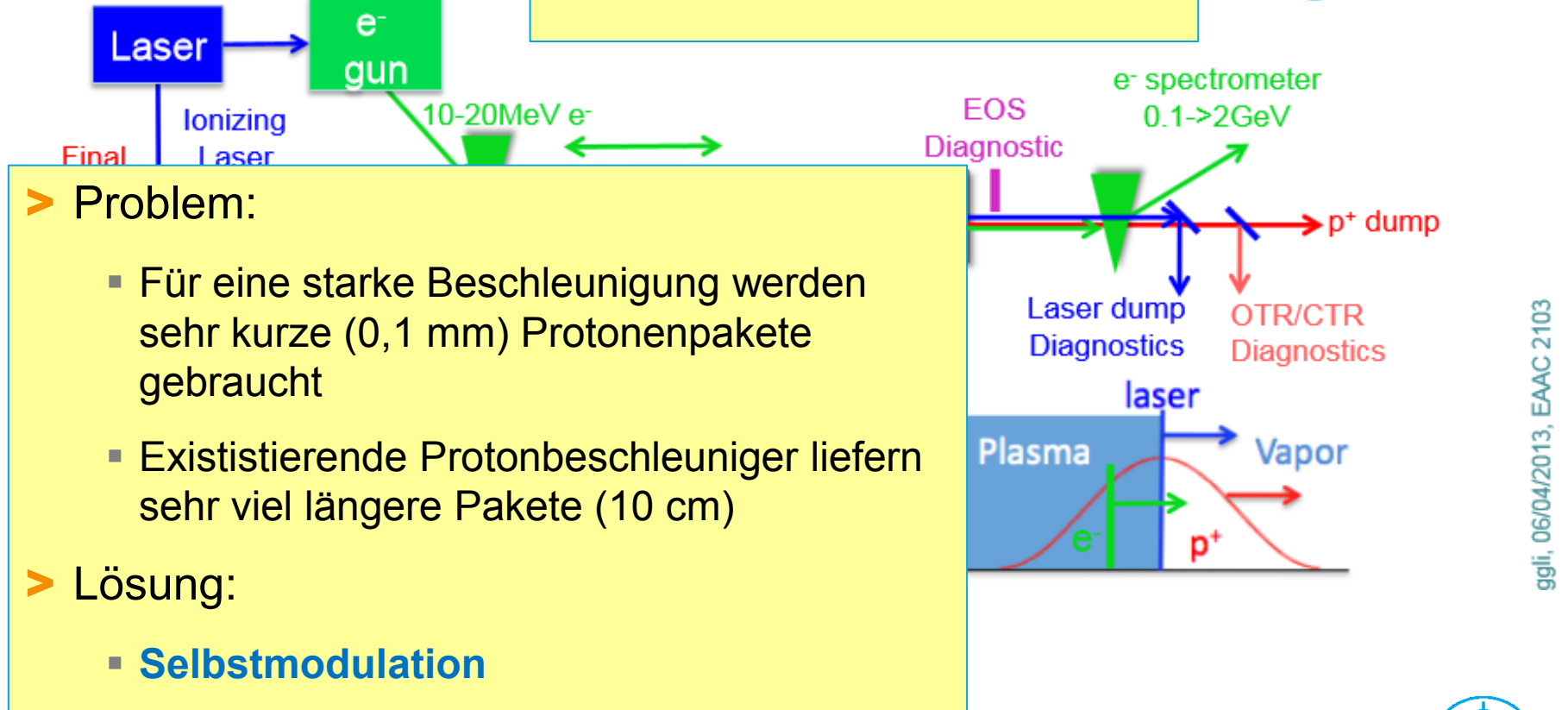


Courtesy:
 Ralph Aßmann

Plasmabeschleunigung: Geplantes Experiment am CERN



MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

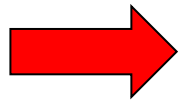
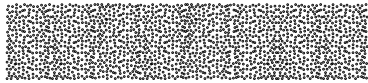


ggli, 06/04/2013, EAAC 2103

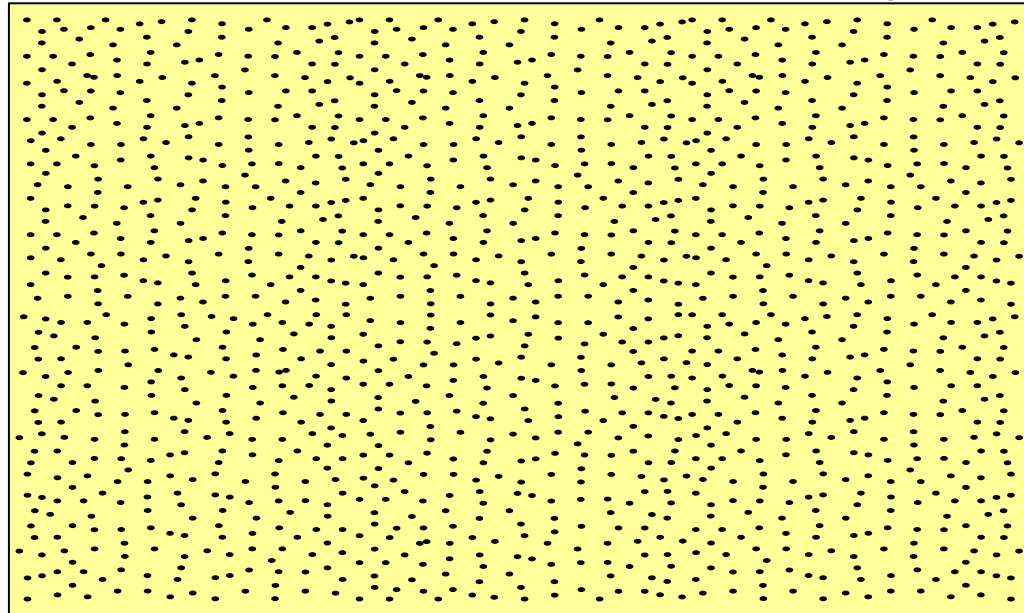


Ausgangsposition

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

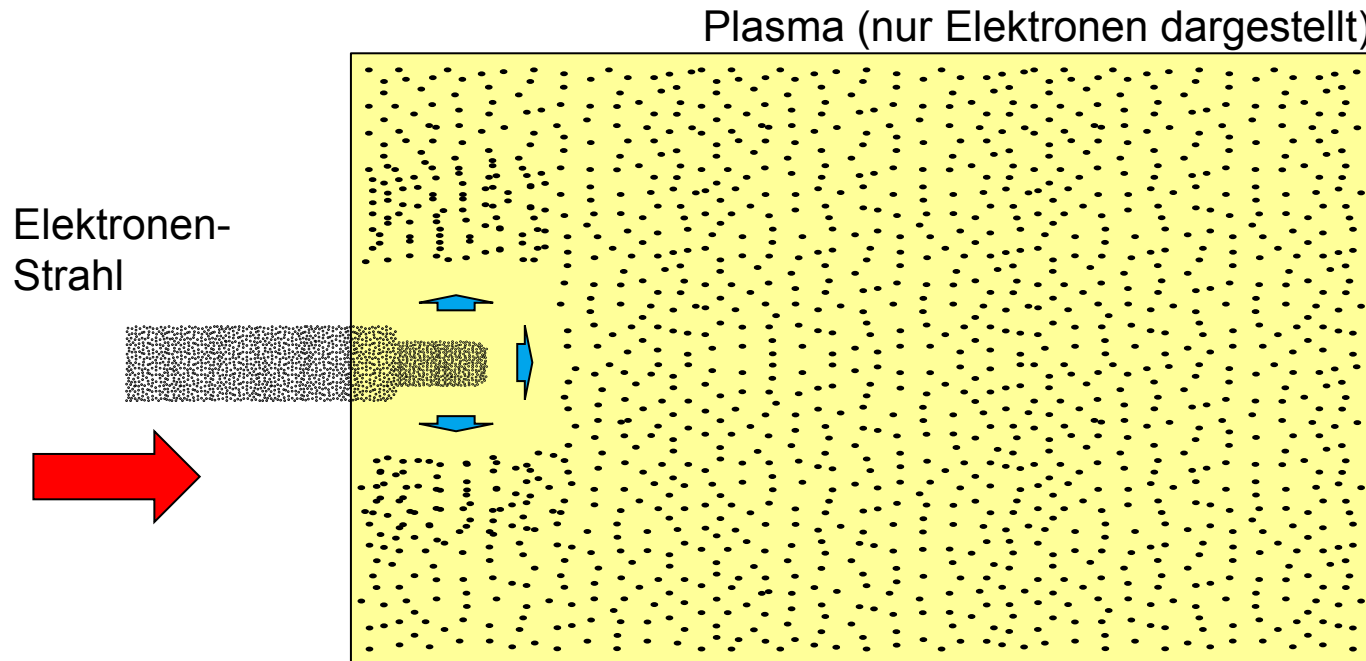


Plasma (nur Elektronen dargestellt)



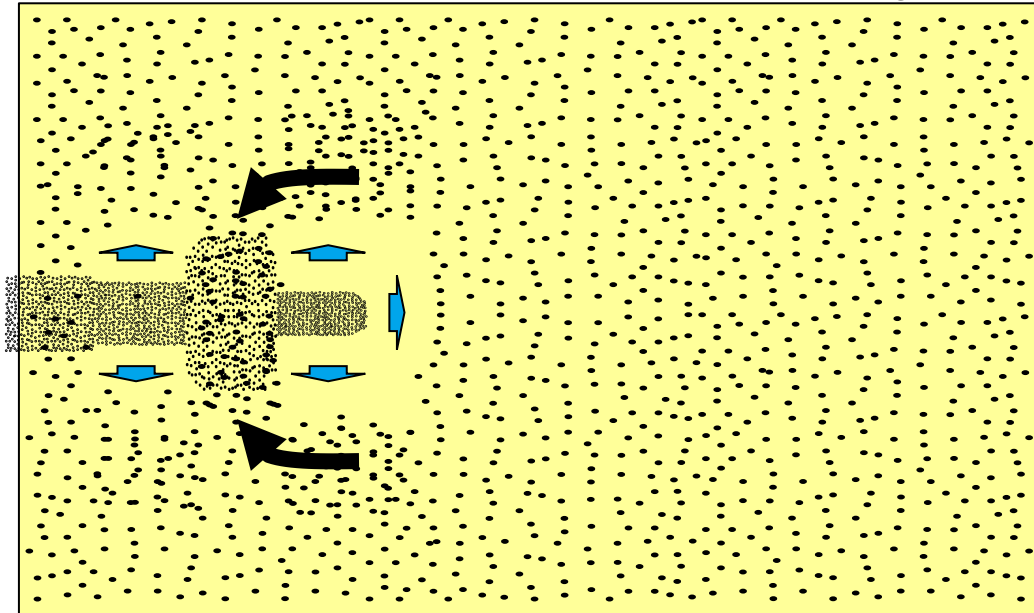
Gleichmäßig
verteilt

Eintritt in das Plasma



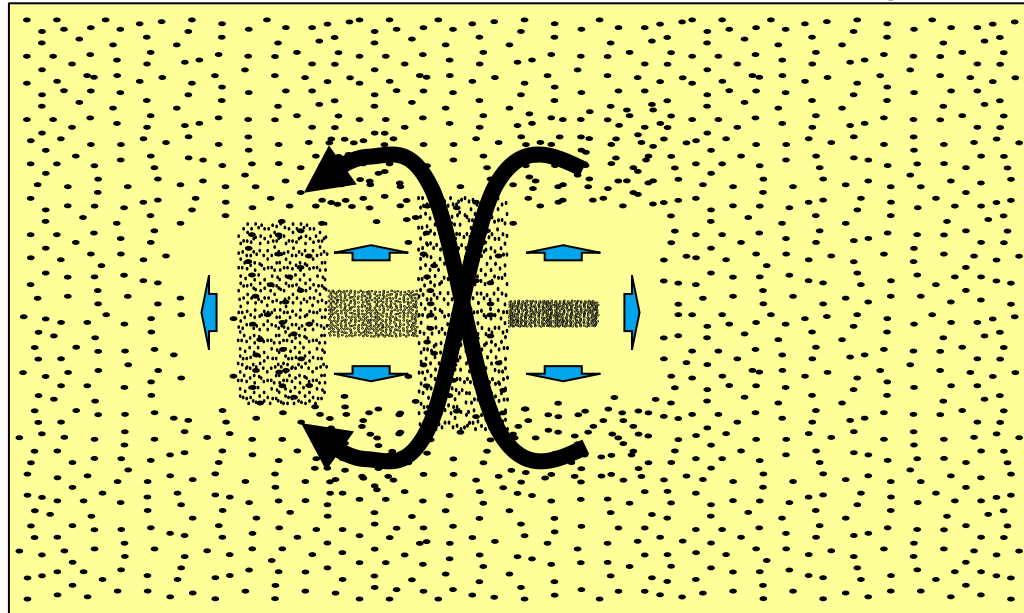
Beginn der Aufteilung in Pakete

Plasma (nur Elektronen dargestellt)



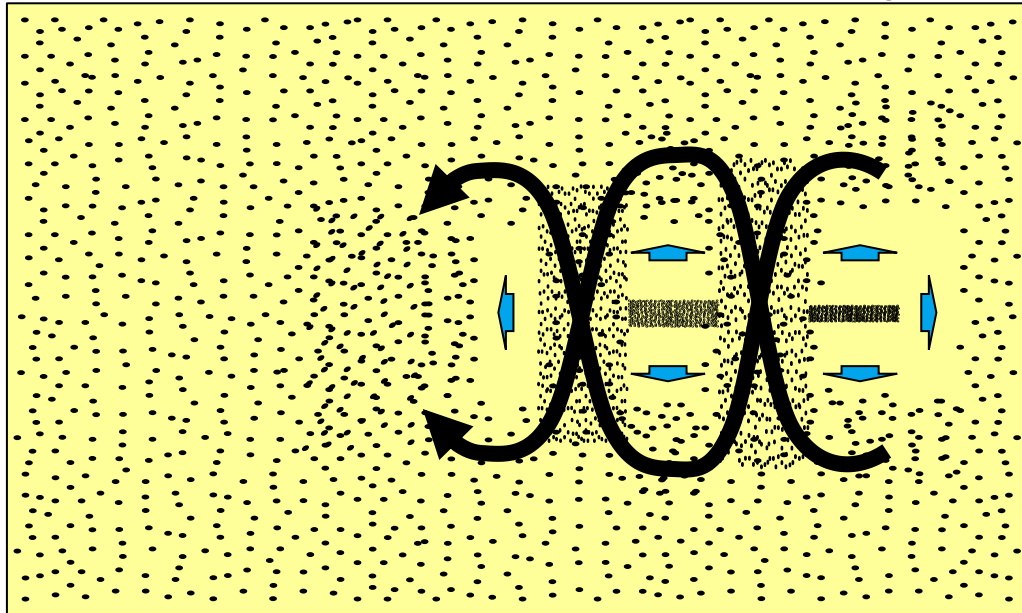
Fortschreitende Aufteilung

Plasma (nur Elektronen dargestellt)

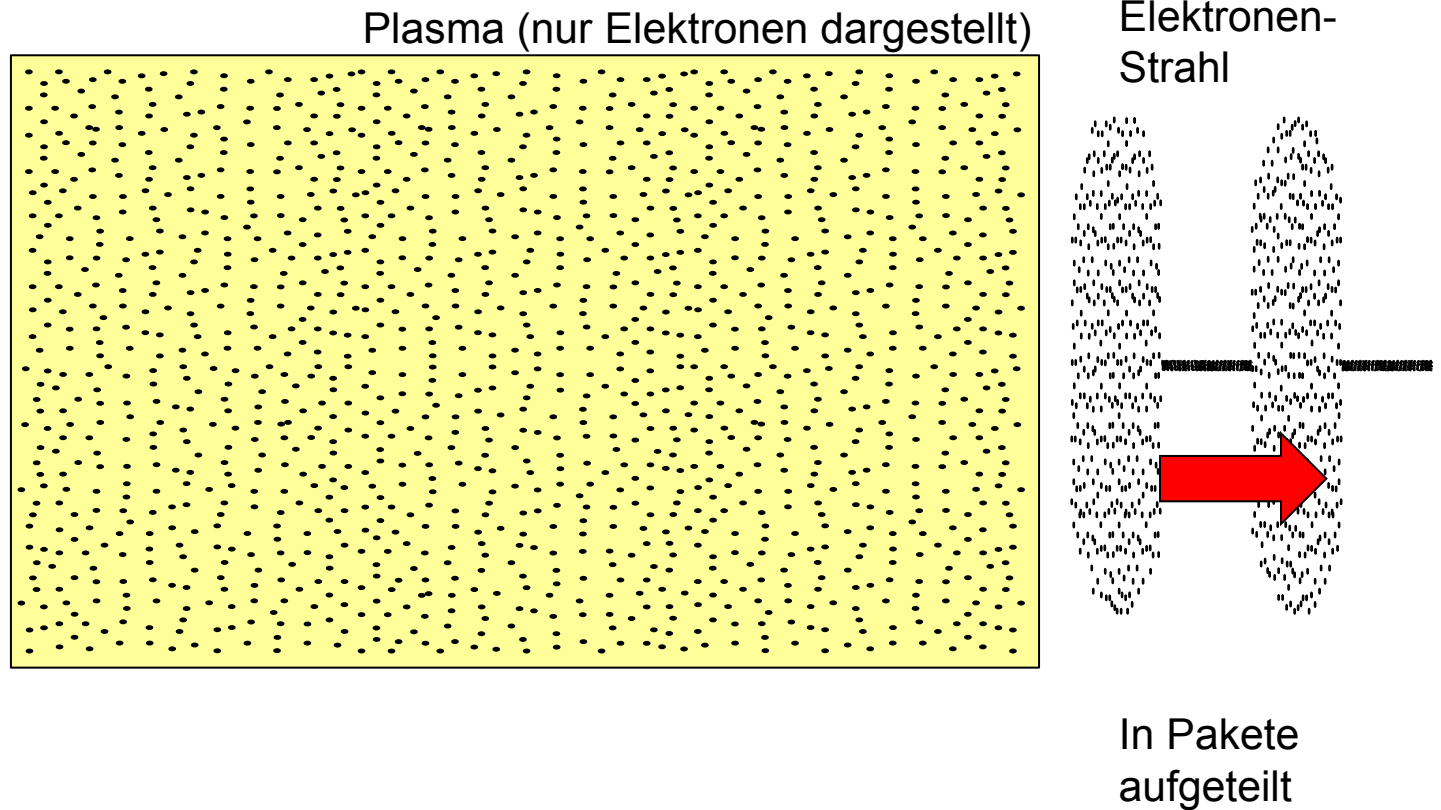


Fortschreitende Aufteilung

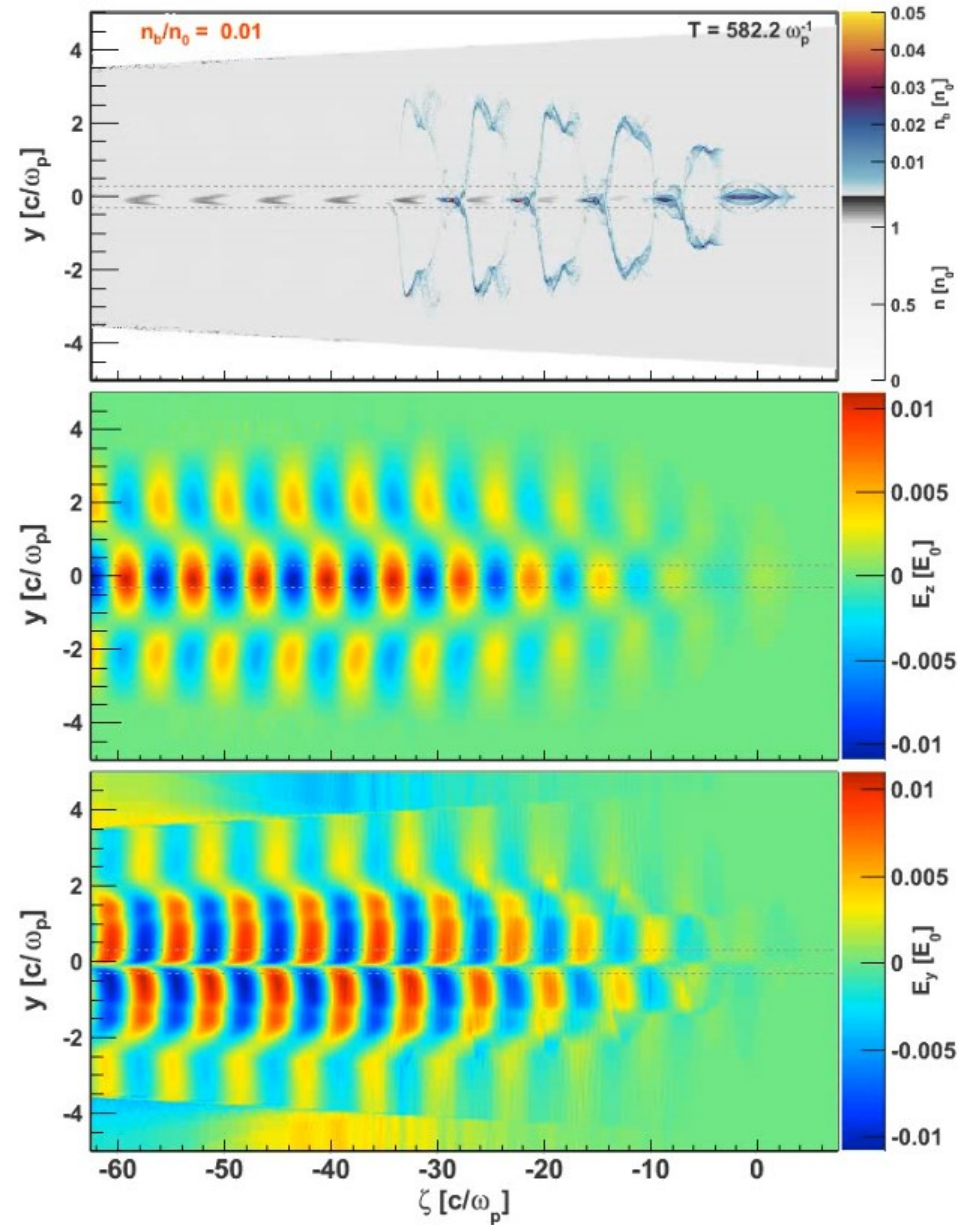
Plasma (nur Elektronen dargestellt)



Nach dem Plasmadurchgang



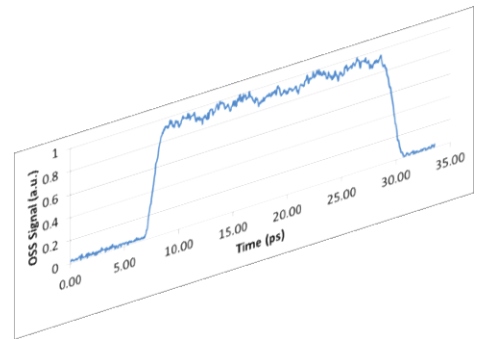
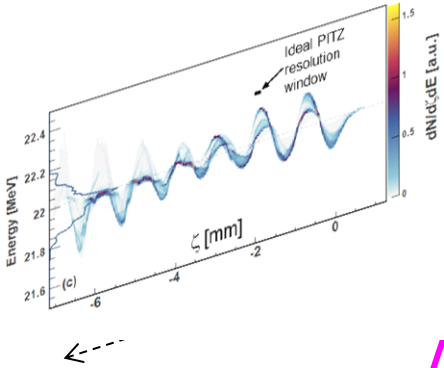
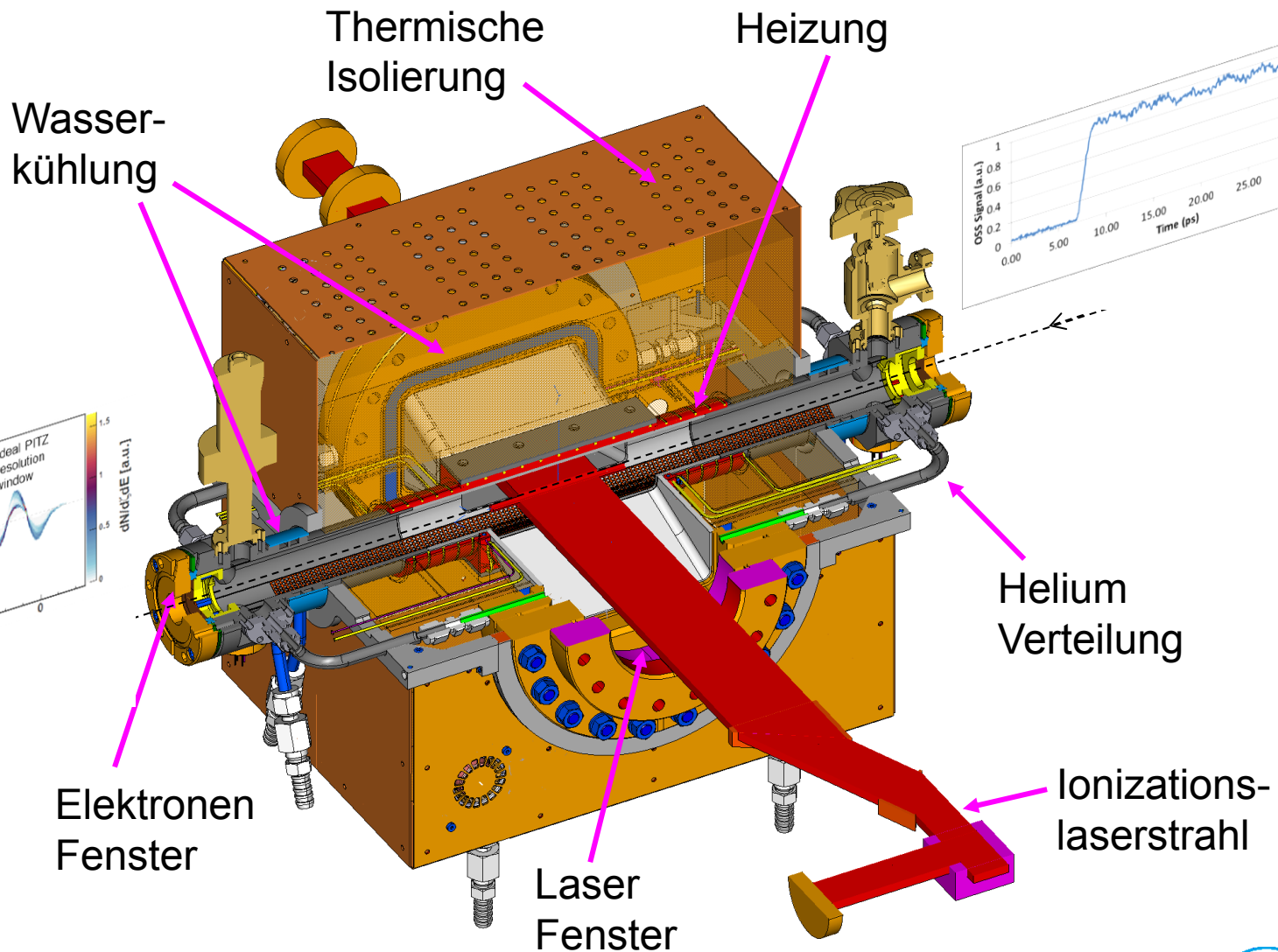
Simulation der Selbstmodulation



Courtesy:
Alberto Martinez de la Ossa

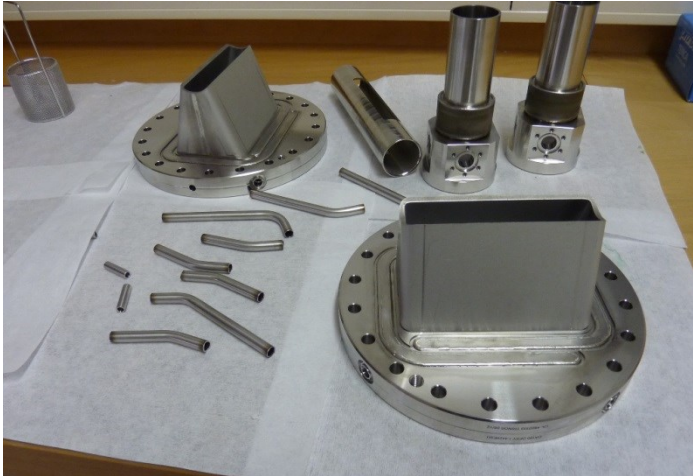
PITZ Plasmazelle

Design:
Gerald Koss

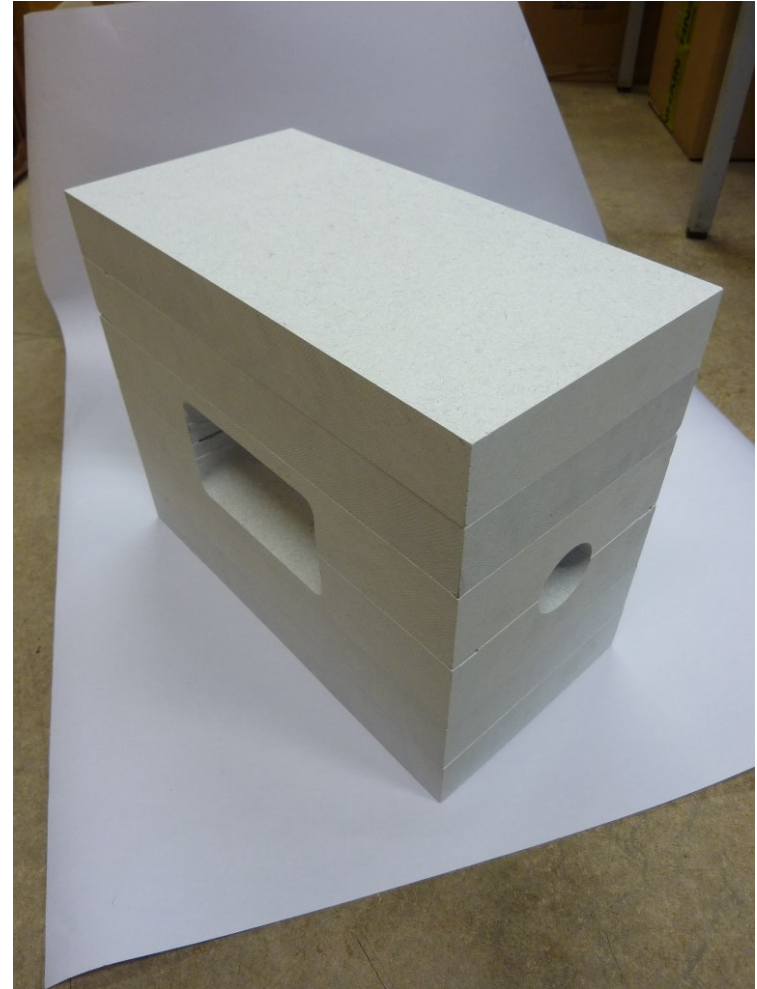


Plasmazellenteile vor dem Zusammenbau

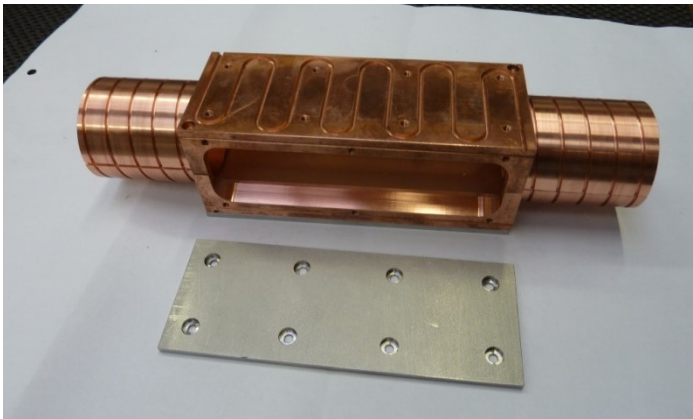
Vakuumkammer aus Edelstahl



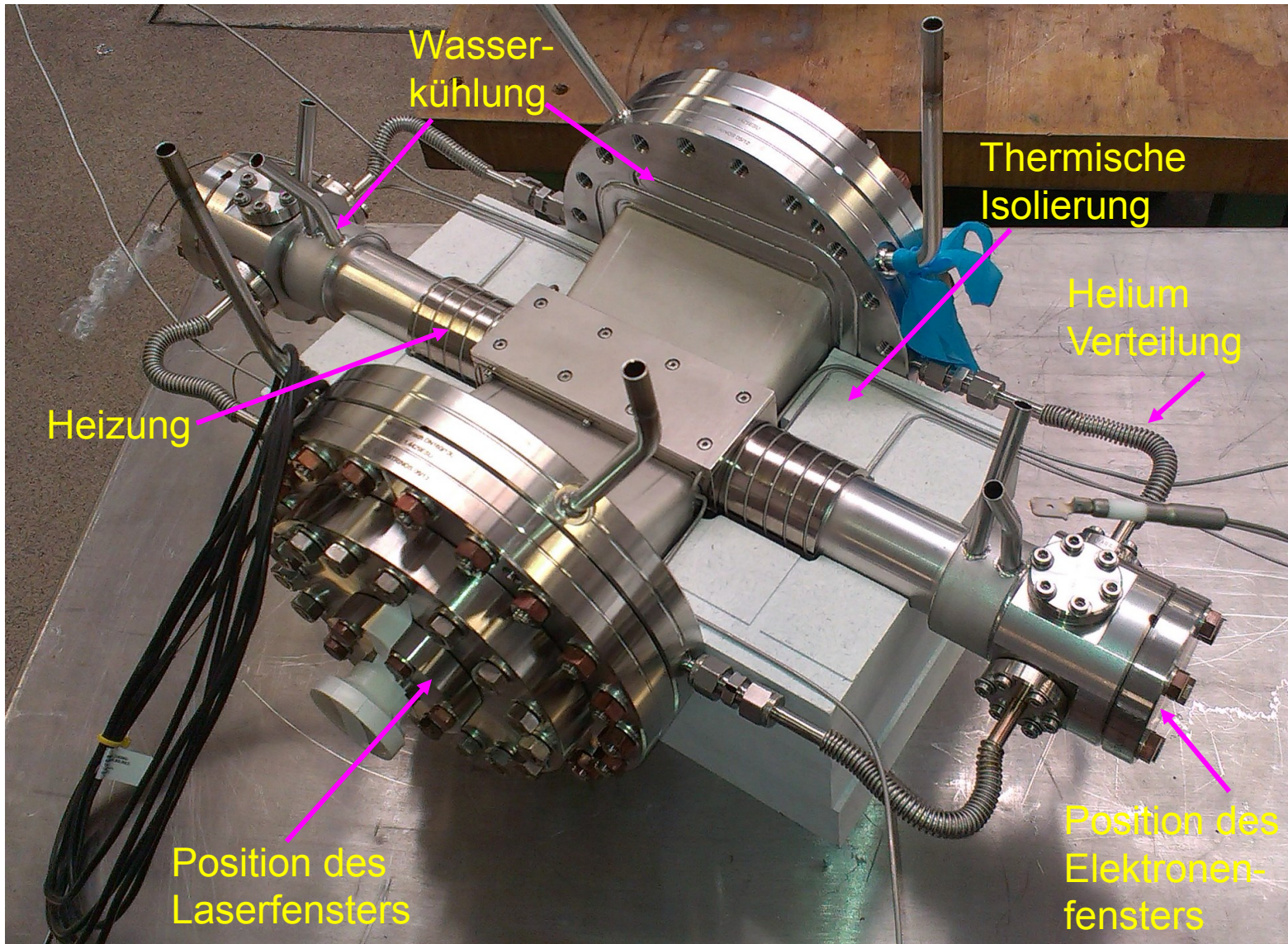
Wärmeisolierung: Formsteine



Wärmeverteiler aus Kupfer



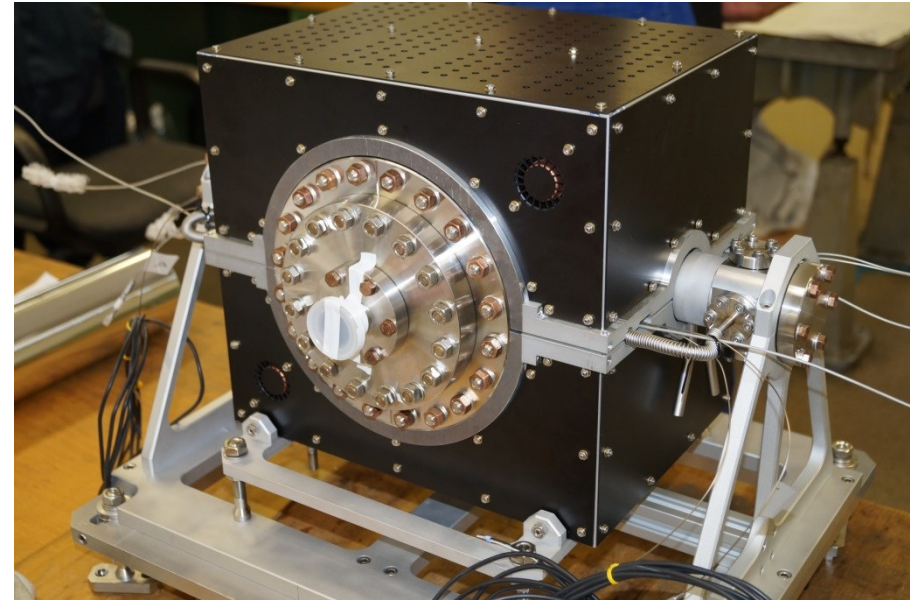
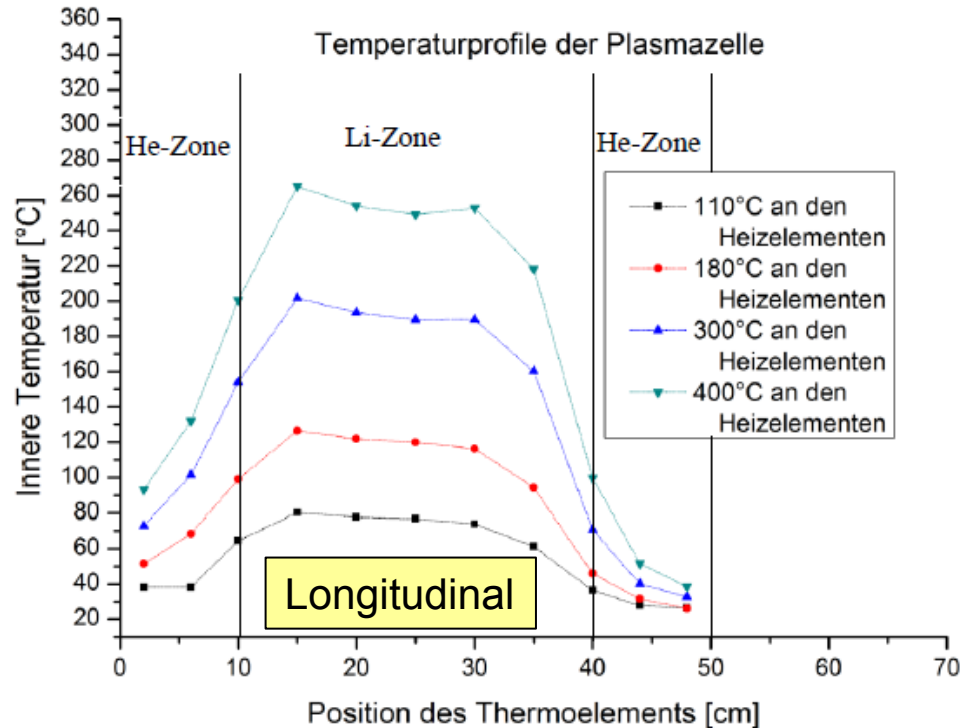
Zusammengebaute Plasmazelle



Erste Messungen mit der PITZ Plasmazelle

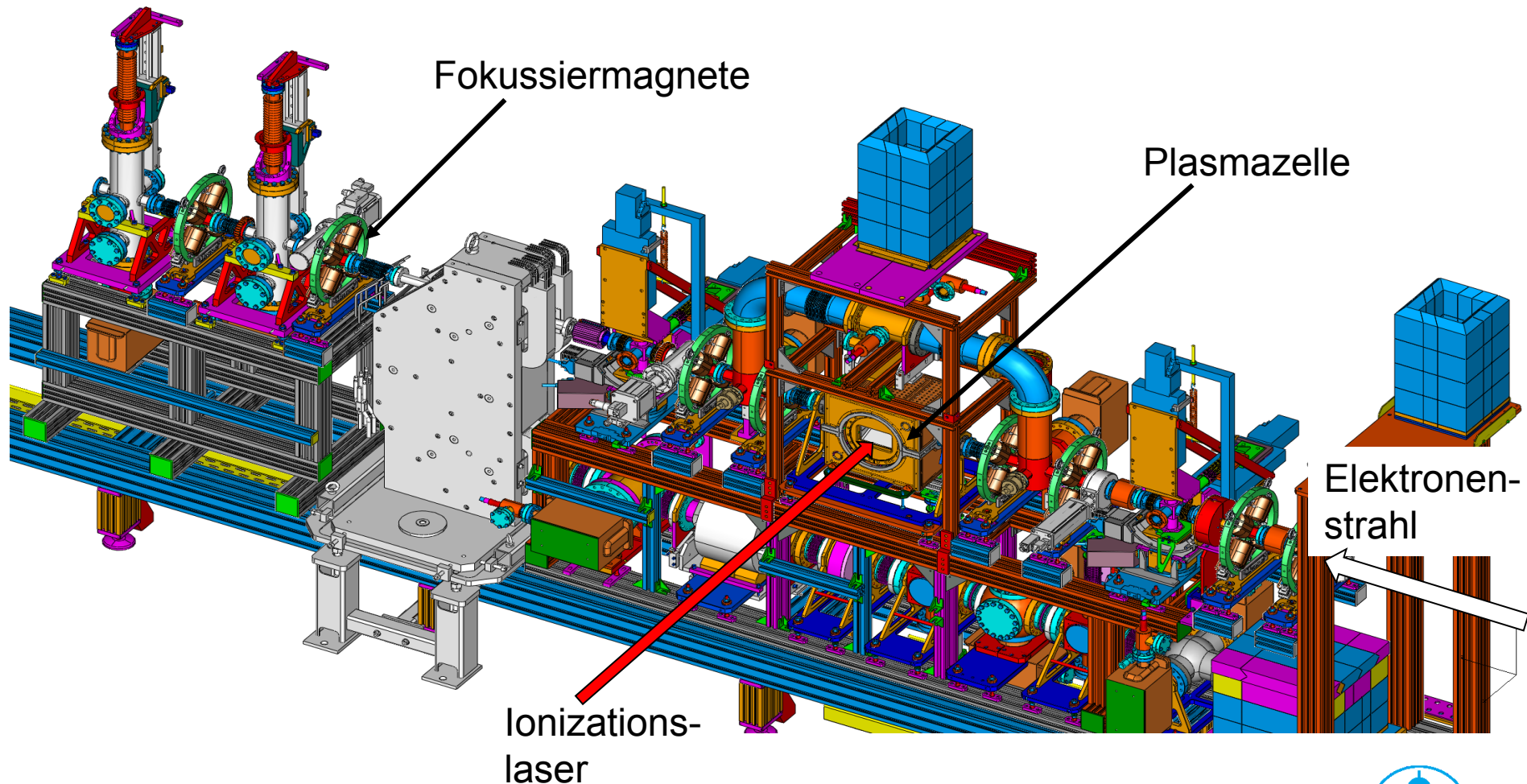
➤ Messungen von Temperaturprofilen

- Vorläufige Resultate → Einfluss der Messapparatur

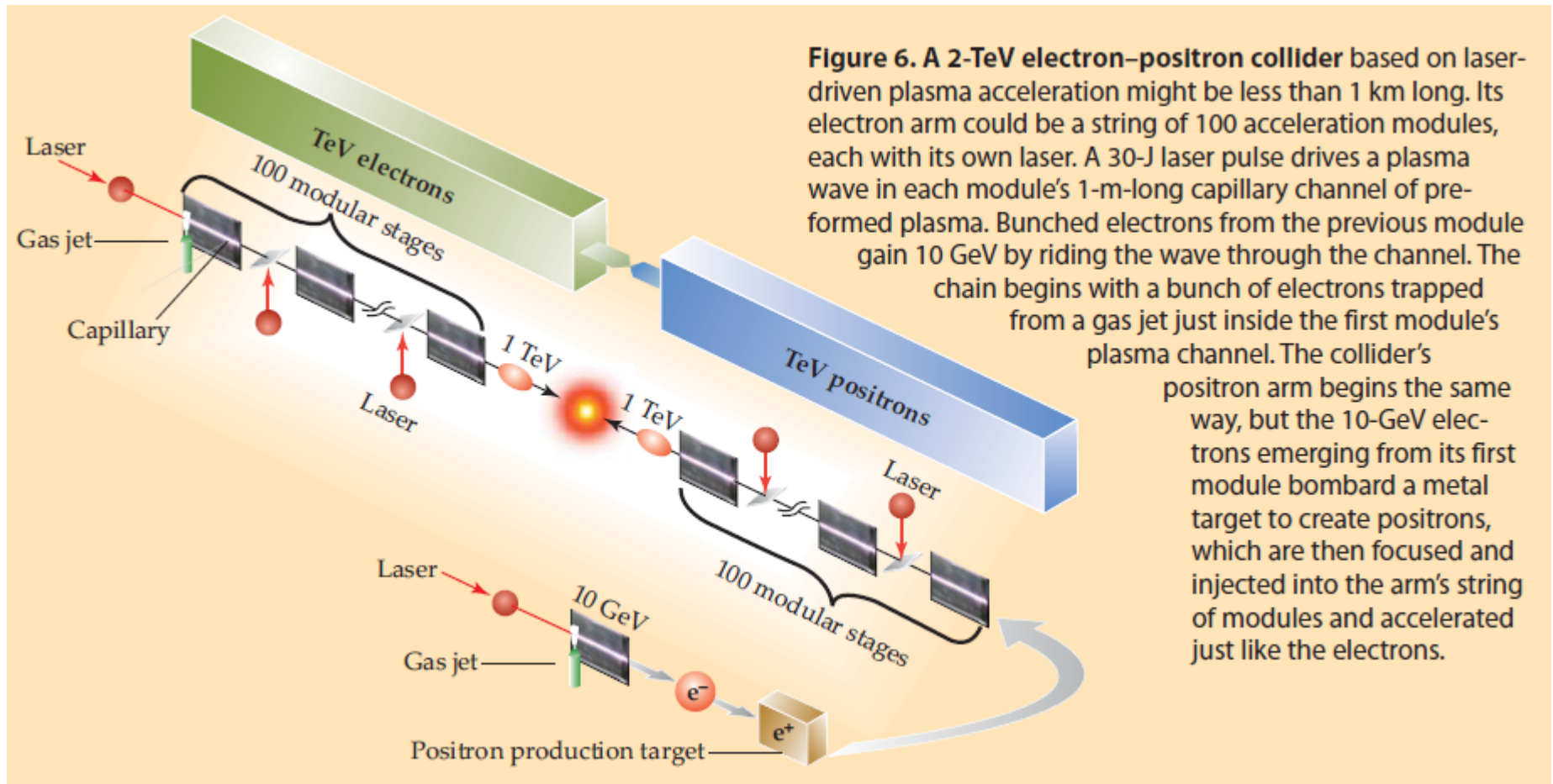


Plasmazelle: Einbau in den Beschleuniger

Design: Gerald Koss / Alexander Donat / Sebastian Philipp



➤ Konzept für einen Plasma Linearbeschleuniger



Aus: Leemans et al. Physics Today, March 2009, p. 44