

Beschleuniger-Technologien der Zukunft

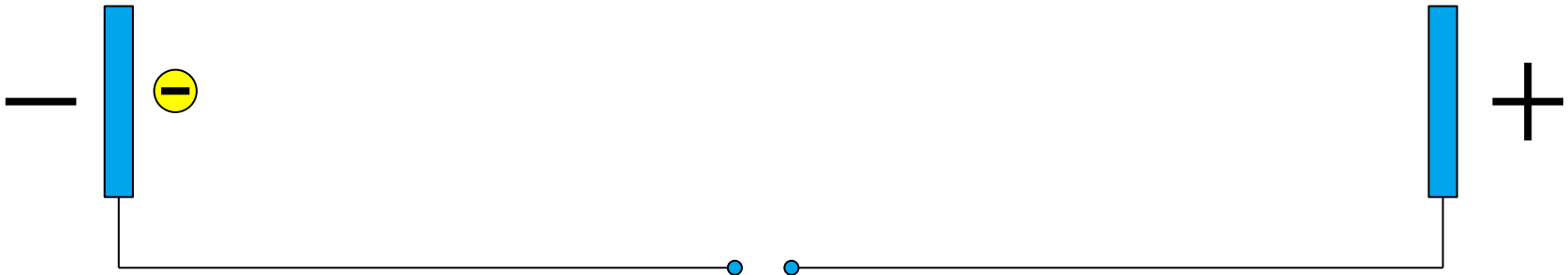
Plasma und Co.

Matthias Gross

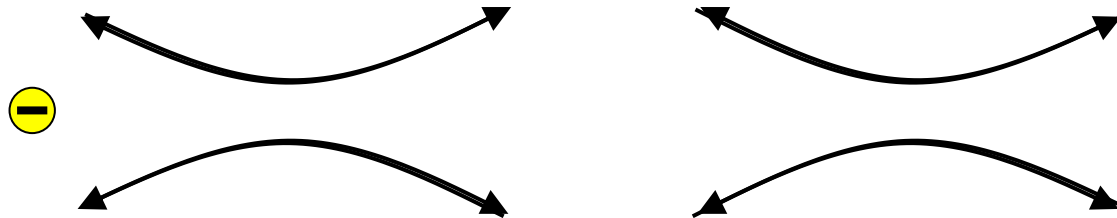
Beschleuniger-Technologien der Zukunft
Berlin Adlershof, 10. Mai 2014

Beschleunigertypen

> Gleichspannung (statisch)



> Wechselspannung (dynamisch)



> Grundlagenforschung

- Collider: Higgs und Co.
- Freie Elektronen Laser: Materialforschung etc.

> Medizin

- Krebstherapie (Bestrahlung)

> Sicherheit

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

> Technologie

- Röhrenfernseher

Motivation

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



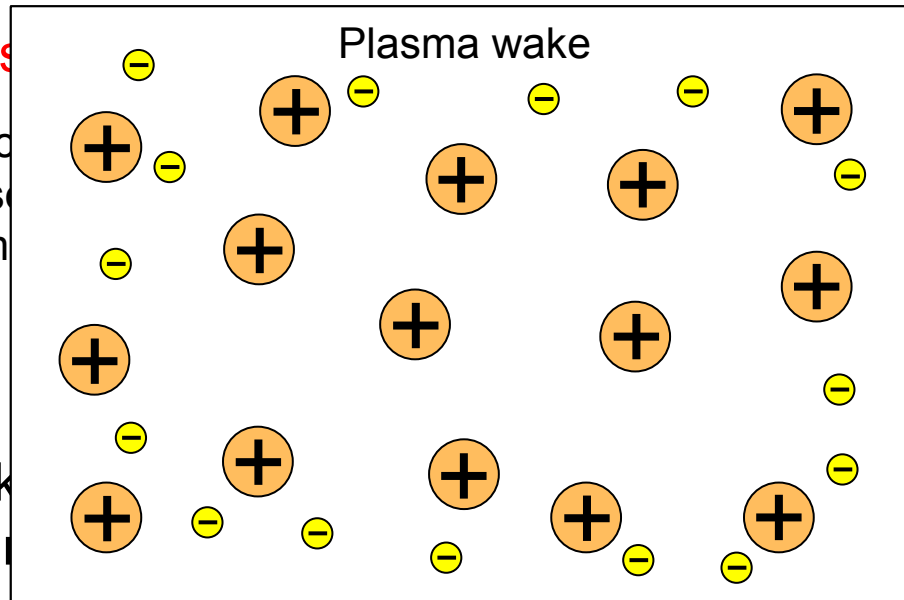
Problem von herkömmlichen Beschleunigern

- > 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) – diese können zusammen sein können ohne die Baumstruktur



Ionen in einem Plasma können zusammen sein können

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

... aus einzelnen Ionen

- > **Lösung:** Gezielte Ionisation eines Gases zu einem Plasma mit den gewünschten Eigenschaften

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: International Linear Collider (ILC) – Endenergie: 500 GeV
 - Geplante Länge mit herkömmlicher Technik: ≈ 30 km
 - Möglich mit Plasmabeschleunigung: 3m



Neuer Beschleunigertyp: PWA

- > Statischer Beschleuniger geht nicht, da man die Ionen nirgendwo festmachen kann
- > Deshalb: Dynamischer Beschleuniger mit Wanderwelle



Plasmawanderwellenbeschleuniger

Plasma

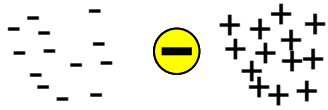
Wakefield

Accelerator

'Wake':
Kielwasser

Grundprinzip

- Beschleunigung eines Elektrons mit einer Wanderwelle



- Bei optimaler Ausnutzung von Nichtlinearitäten sind extrem starke Beschleunigungen möglich

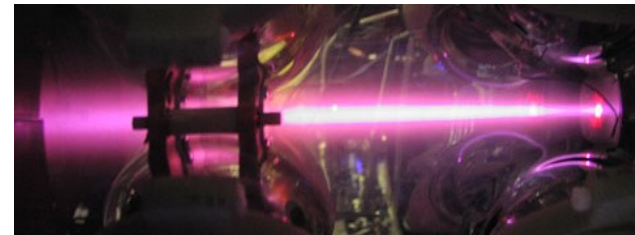


Die Kraftquelle

> Wie treibt man eine Plasmawelle?

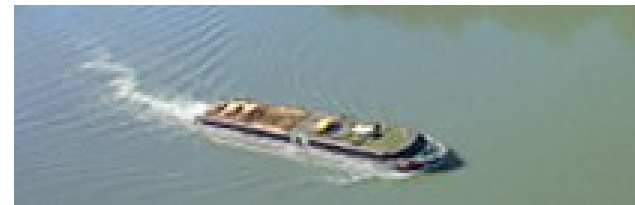
A) Mit einem starken Laserpuls
LDPWA

 *Laser Driven*

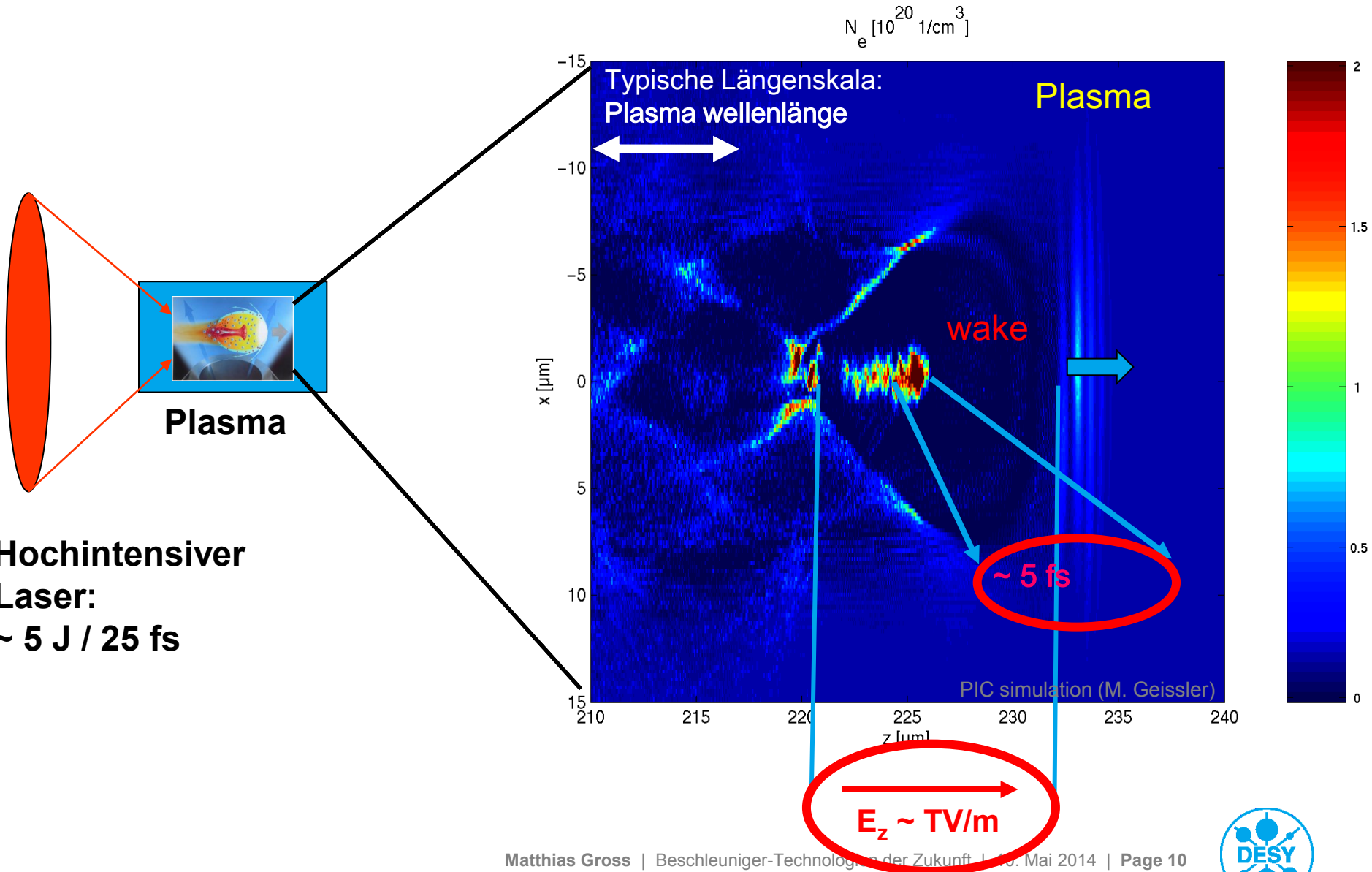


B) Mit einem Teilchenstrahl
PDPWA

 *Particle Driven*



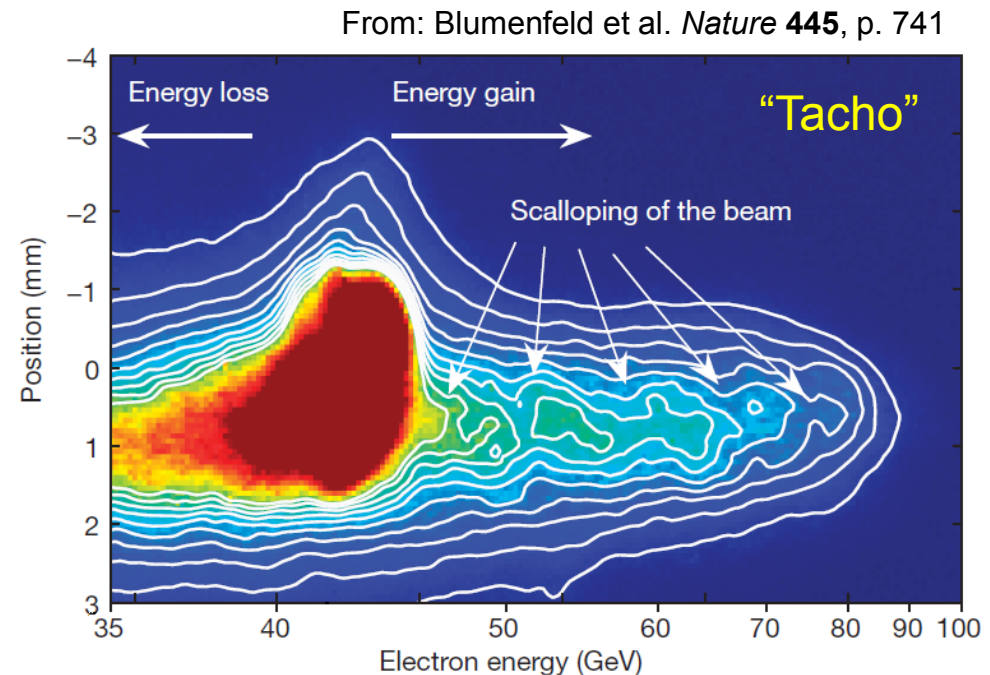
Simulation von Lasergetriebener Plasmabeschleunigung



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

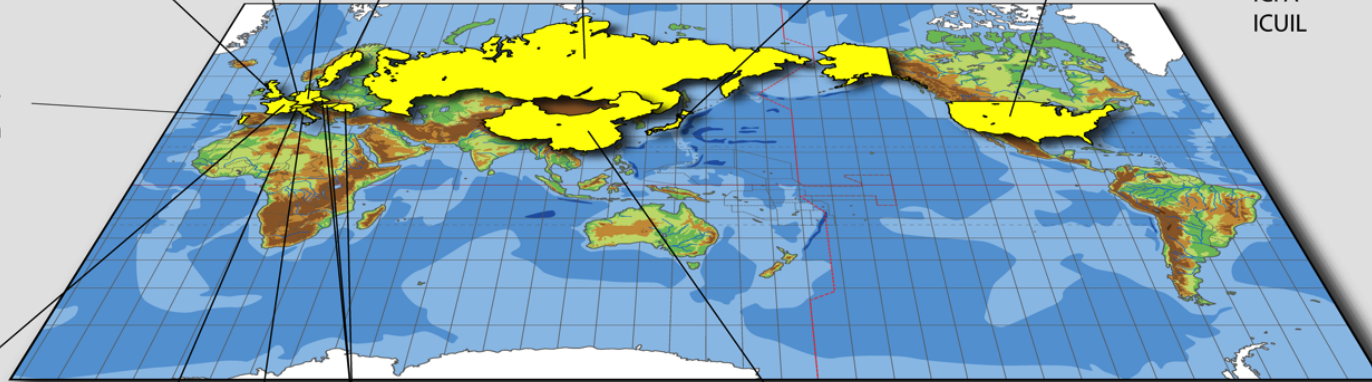
Extreme Light Infrastructures (ELI)

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

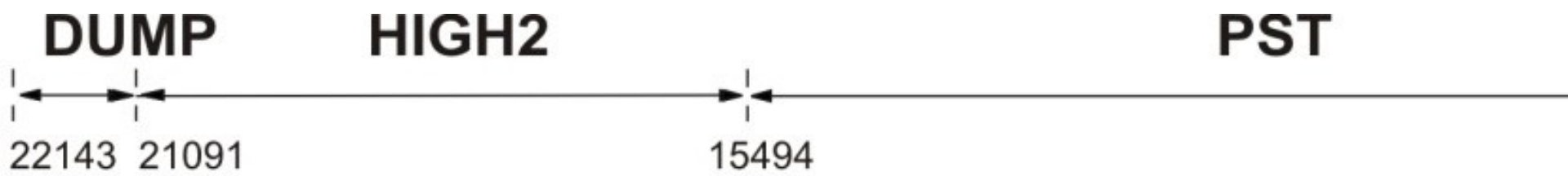
European Network for Novel Accelerators



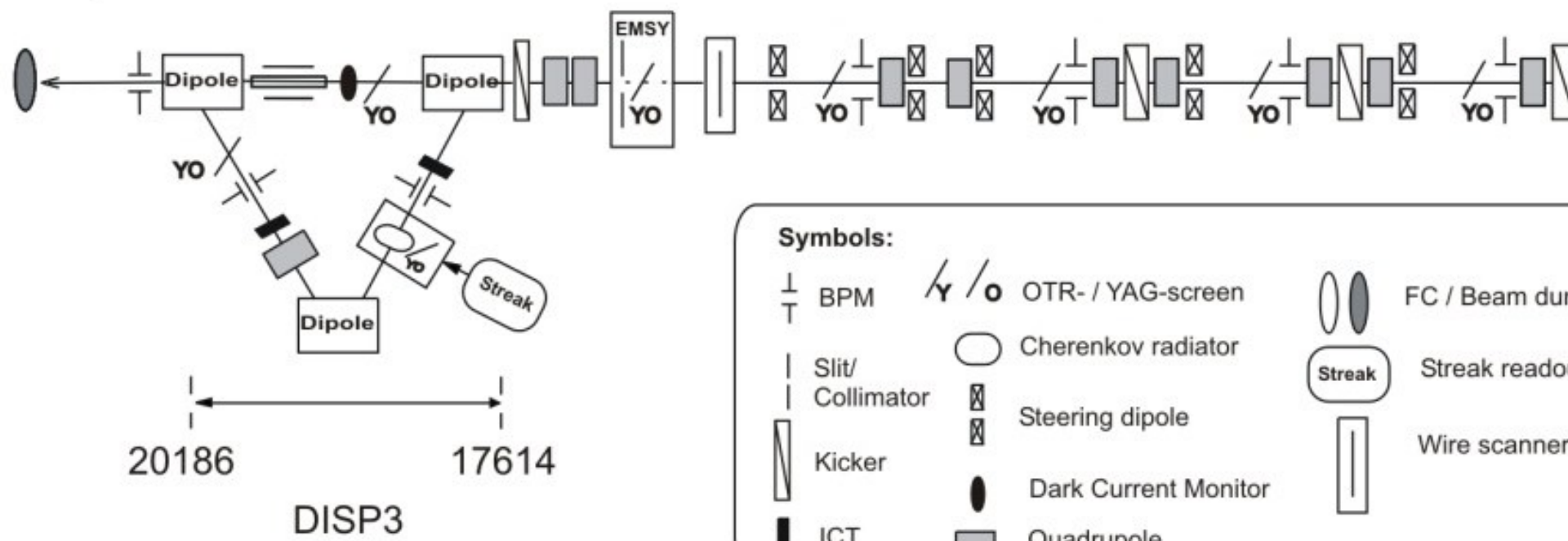
DESY, Standort Zeuthen

- Ehemaliges Institut für Hochenergiephysik in Zeuthen (Akademie der Wissenschaften der DDR). Wurde an DESY (Deutsches Elektronensynchrotron / Hamburg) am 1st Januar 1992 angegliedert.
- 200 Mitarbeiter (50 Wissenschaftler)





Beam Dump Sweeper EMSY3 Phase Space Tomography module



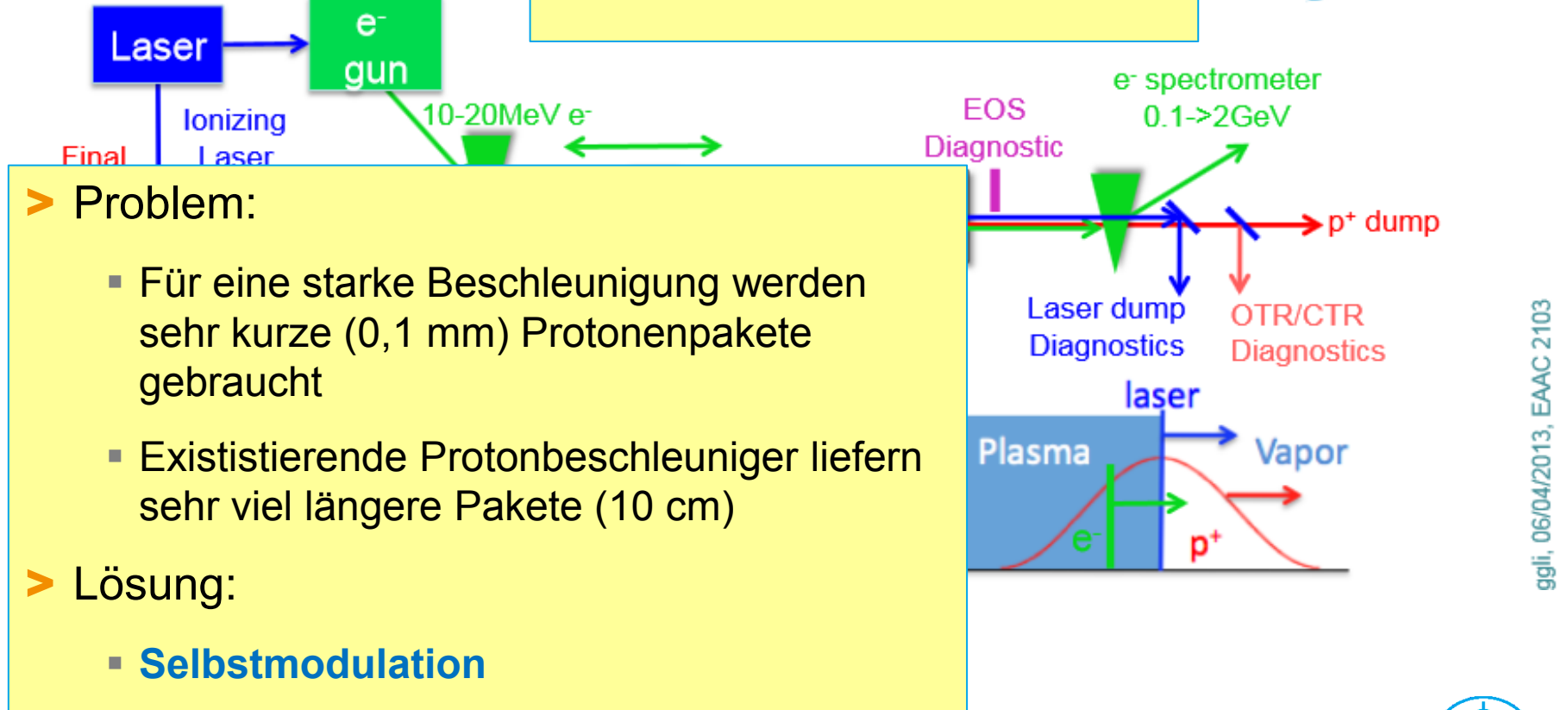
Symbols:

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

Plasmabeschleunigung: Geplantes Experiment am CERN



MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT



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

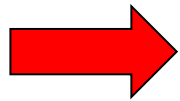
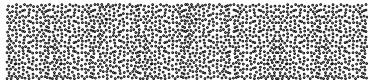
- > Problem:
 - Für eine starke Beschleunigung werden sehr kurze (0,1 mm) Protonenpakete gebraucht
 - Existierende Protonbeschleuniger liefern sehr viel längere Pakete (10 cm)
- > Lösung:
 - **Selbstmodulation**

ggli, 06/04/2013, EAAC 2103

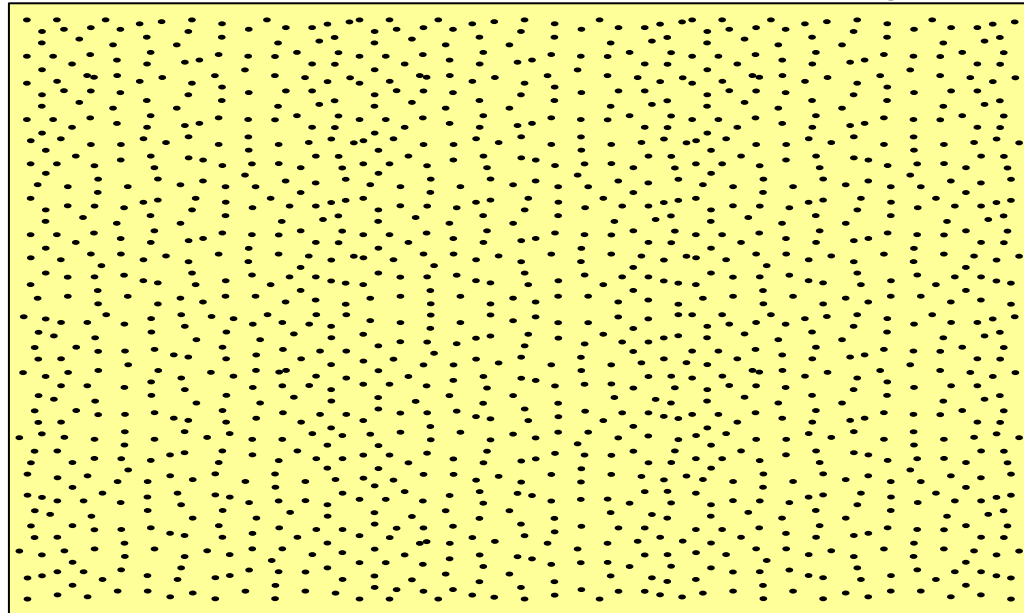


Ausgangsposition

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

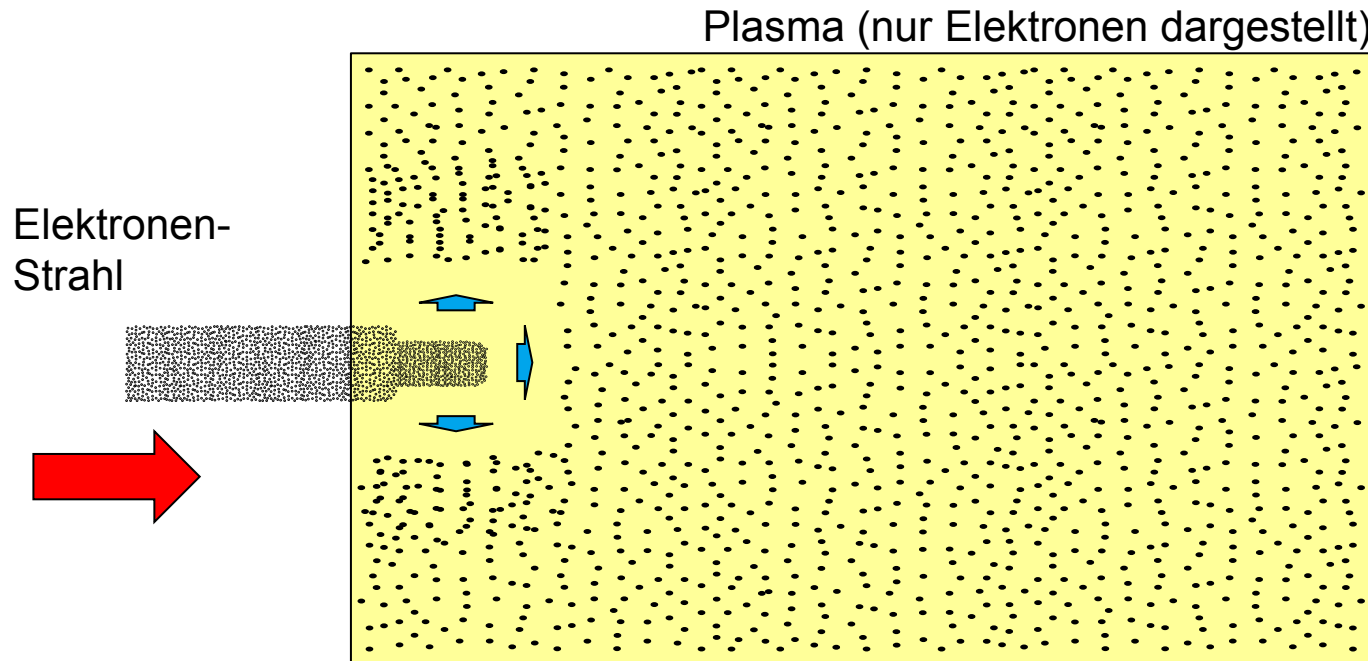


Plasma (nur Elektronen dargestellt)



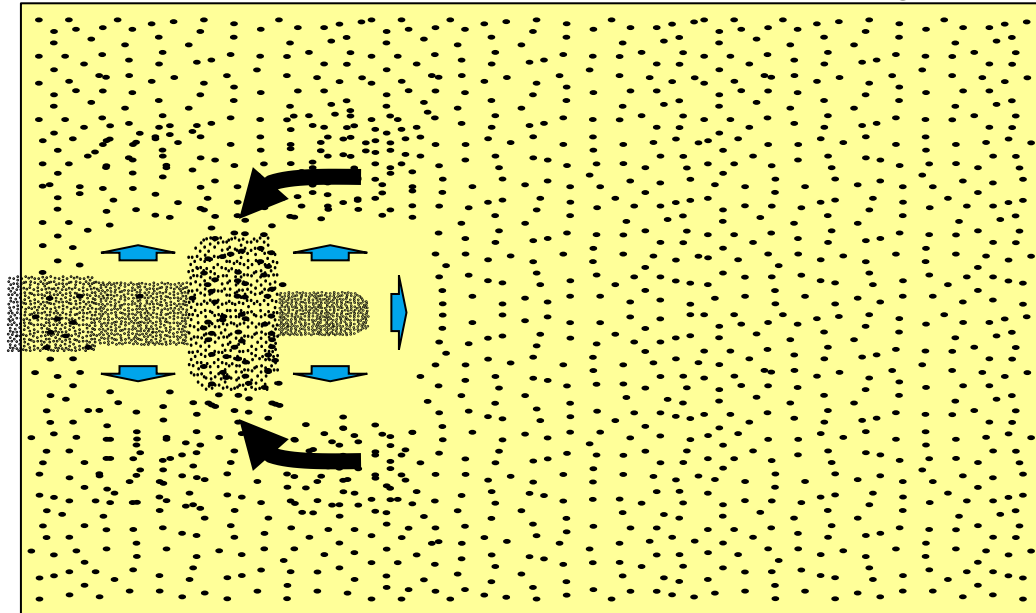
Gleichmäßig
verteilt

Eintritt in das Plasma



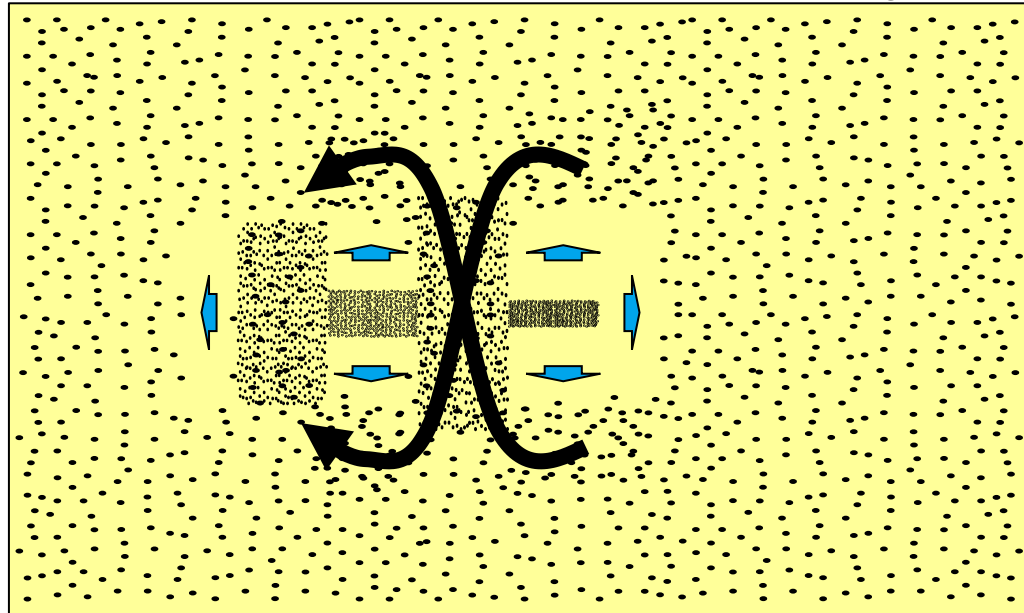
Beginn der Aufteilung in Pakete

Plasma (nur Elektronen dargestellt)

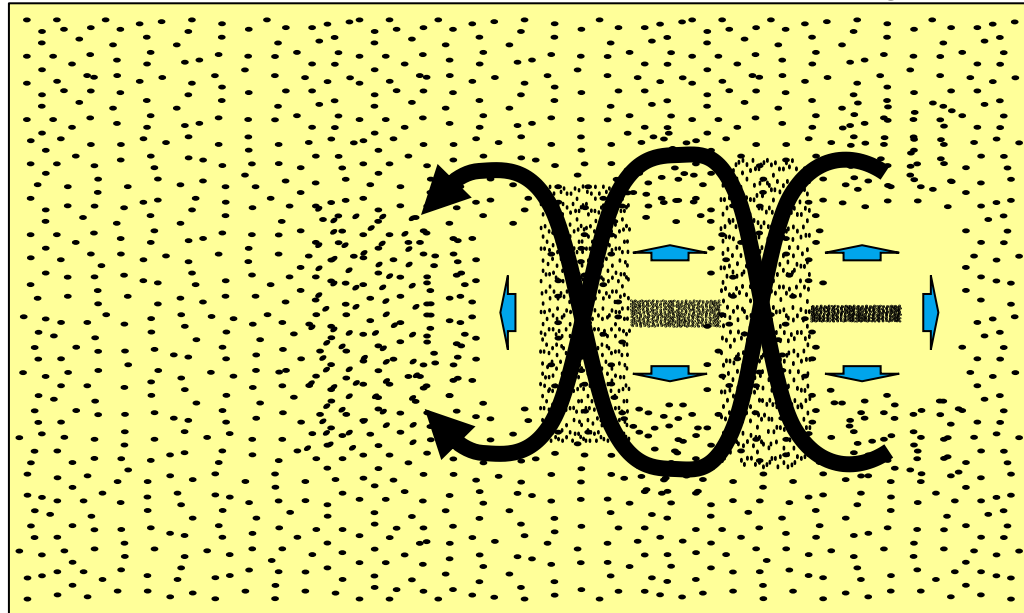


Fortschreitende Aufteilung

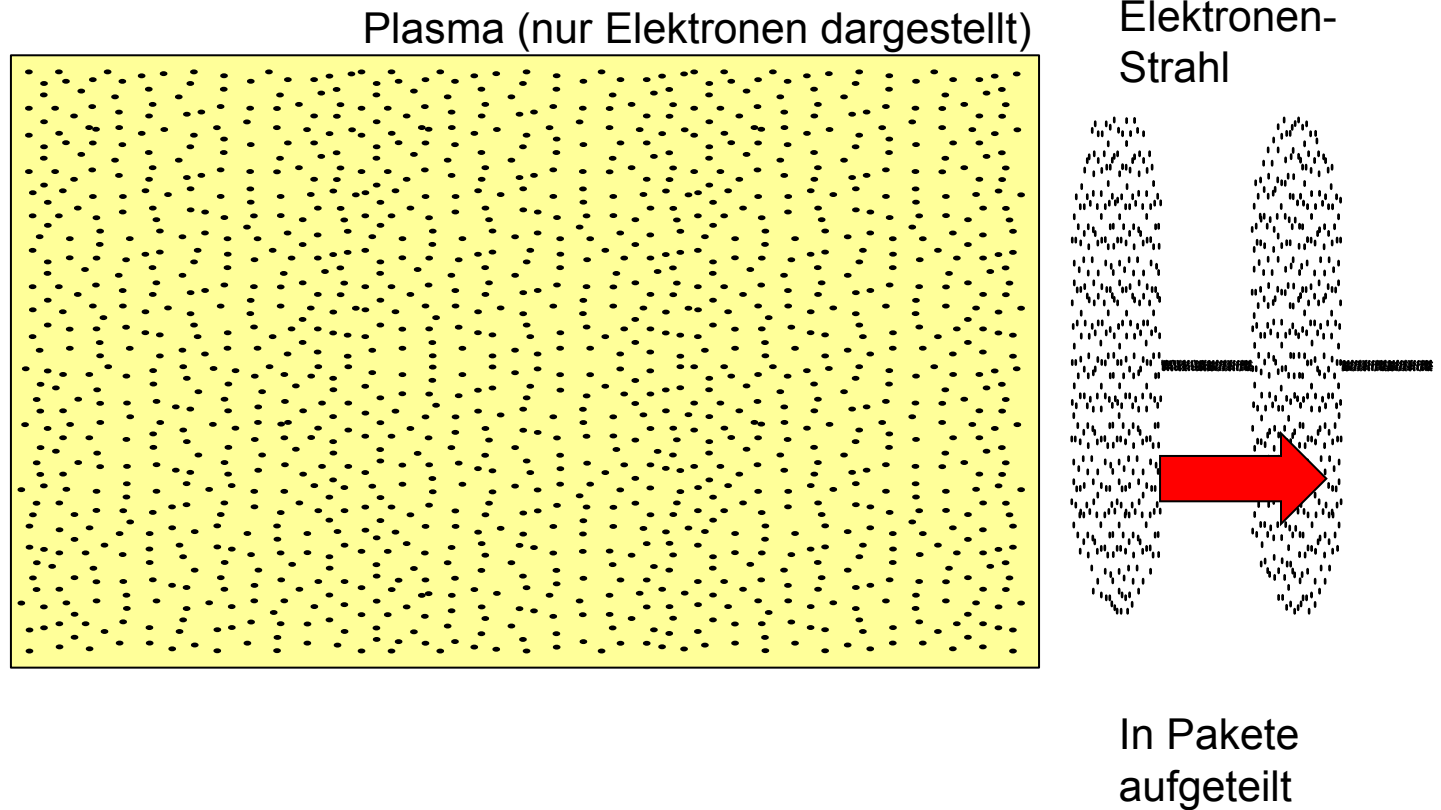
Plasma (nur Elektronen dargestellt)



Plasma (nur Elektronen dargestellt)

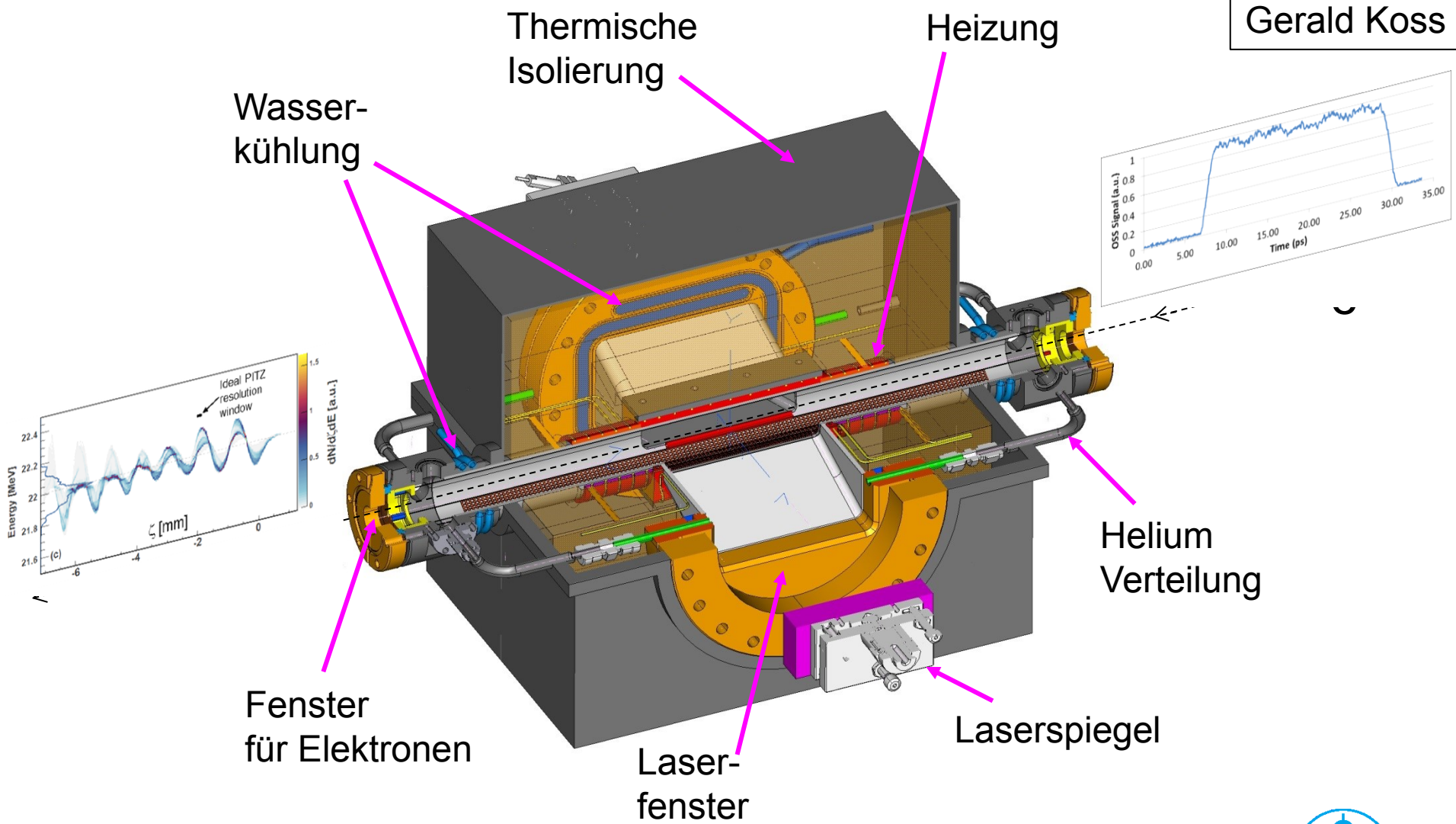


Nach dem Plasmadurchgang



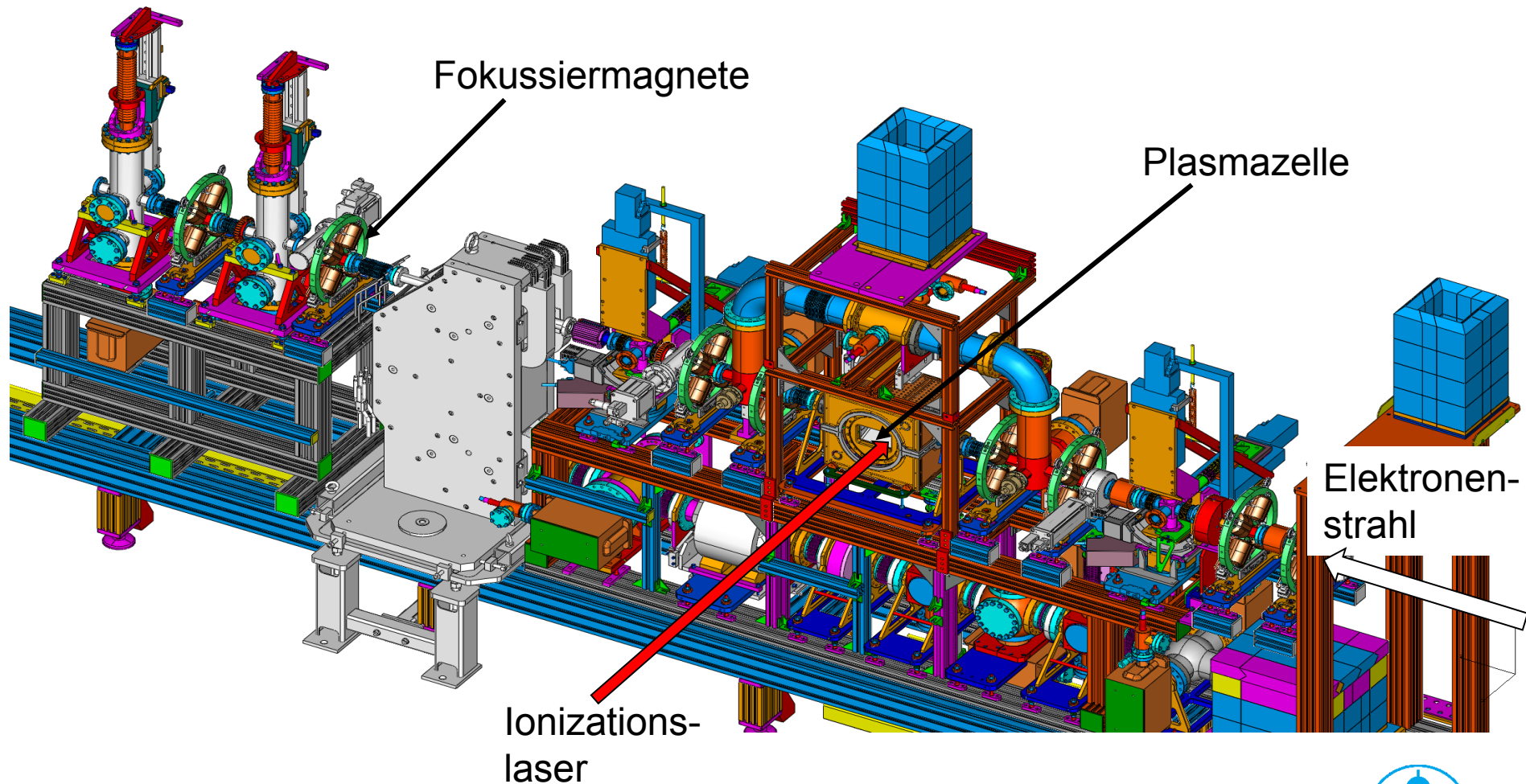
Plasmazelle

Design:
Gerald Koss

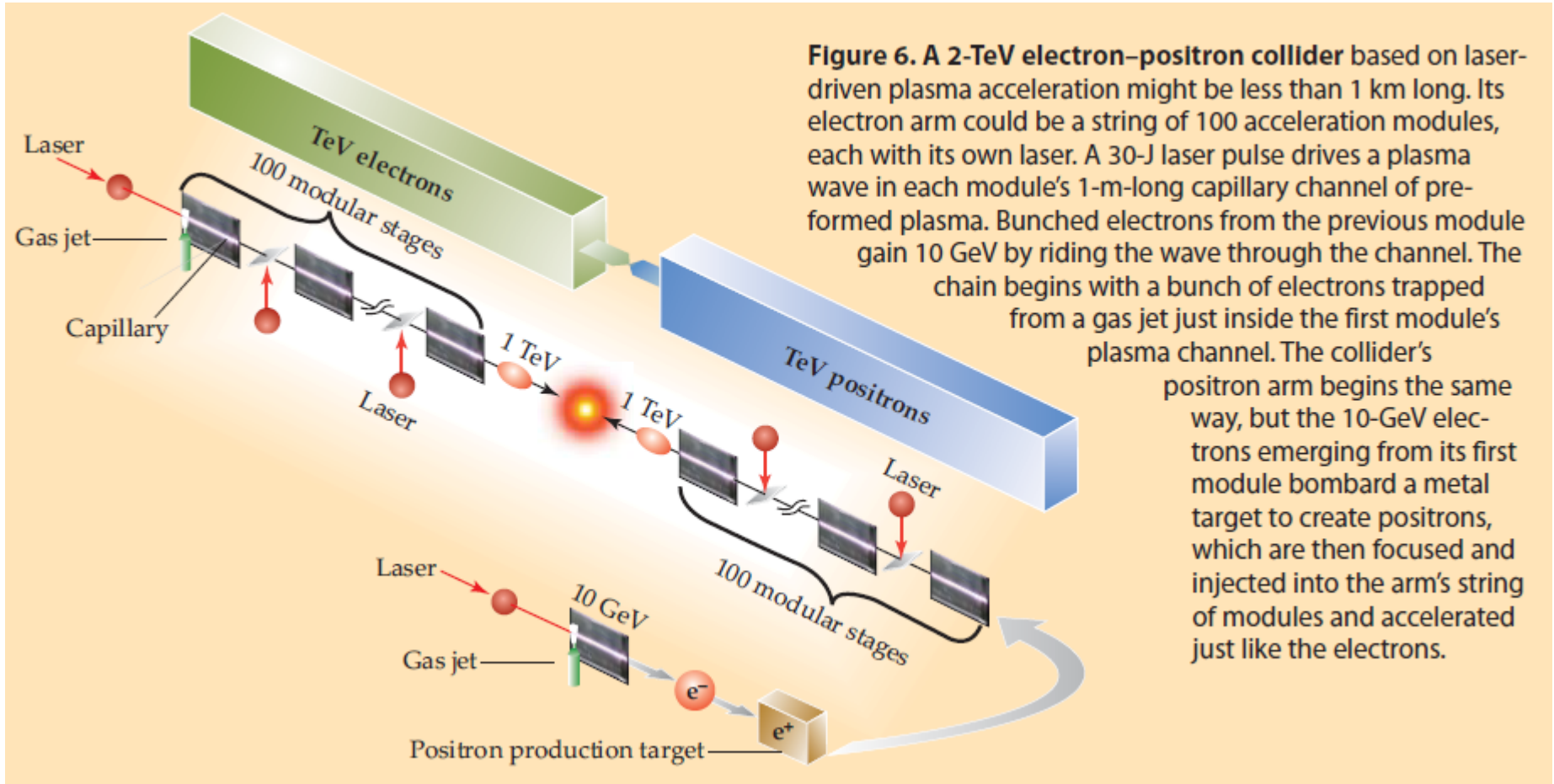


Plasmazelle: Einbau in den Beschleuniger

Design: Gerald Koss / Alexander Donat / Sebastian Philipp



➤ Konzept für einen Plasma Linearbeschleuniger



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