

Kern- und Teilchenphysik

SS2012

Di, 24.4.12

Johannes Blümer

KIT-Centrum Elementarteilchen- und Astroteilchenphysik KCETA

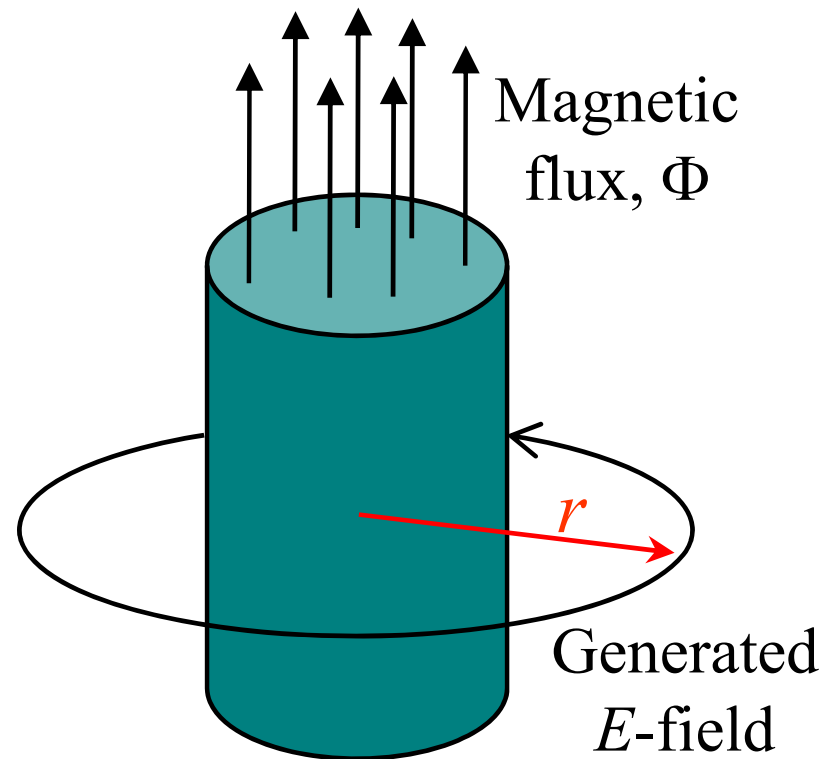


<http://www.auger.de/~rulrich/lehre/kerneteilchen2012/index.html>

- 1) Di 17. April **Übersicht, Notation, Kinematik**
Inhaltsverzeichnis, Übungsbetrieb, Literatur, Notationen, Tour de Force, relativistische Kinematik
- 2) Do 19. April **Beschleuniger**
HV-Erzeugung, stat. Generatoren, Linearbeschleuniger, zykl. Beschleuniger, Kollider, kosm. Beschleuniger
- 3) Di 24. April **Detektoren 1**
Wechselwirkung von Teilchen und Strahlen mit Materie; experimentelle Methoden
- 4) Do 26. April **Detektoren 2**
Detektorbaukasten; Grossdetektoren; andere Anwendungen
- Di 1. Mai **Tag der Arbeit**
- 5) Do 3. Mai **Atomkerne 1**
Streuversuche, Entdeckung der Atomkerne, Rutherford; Eigenschaften stabiler Kerne
- 6) Di 8. Mai **Atomkerne 2**
Masse, Bindungsenergie, Form von Kernen; Kernkräfte und Kernmodelle
- 7) Do 10. Mai **Kernreaktionen 1**
Spontane Zerfälle (Alpha, Beta, Gamma-Zerfälle);
- 8) Di 15. Mai **Kernreaktionen 2**
induzierte Kernspaltung, Kerntechnik; Kernfusion
- Do 17. Mai **Himmelfahrt**
- 9) Di 22. Mai **Kernphysik im Universum**
Elementsynthese im Urknall; ~ in Sternen, Sternentwicklung, Supernovae; Kosm. Strahlung
- 10) Do 24. Mai **Nukleonen 1**
Elastische Streuung, Formfaktoren, Ladungsradien
- 11) Di 29. Mai **Nukleonen 2**
Tiefinelastische Streuung, angeregte Zustände von Nukleonen, Strukturfunktionen, Partonen, Quarks
- 12) Do 31. Mai **Quarks, Gluonen, Hadronen**
Quarkstruktur der Nukleonen, Quarks in Hadronen, qg-WW, Skalenverhalten

Betatron

Jones



$$\nabla \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\oint \vec{E} d\vec{l} = - \frac{d}{dt} \oint \vec{B} d\vec{A}$$

$$\rightarrow 2\pi r E = - \frac{d\Phi}{dt}$$

$$B = - \frac{\Phi}{\pi r^2} \text{ für konst. Radius}$$

$$\dot{B} = - \frac{\dot{\Phi}}{\pi r^2} = \frac{E}{r} = \frac{1}{2\pi r^2} \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\Rightarrow B(r, t) = \frac{1}{2} \underbrace{\frac{1}{\pi r^2} \oint B dA}_{= \text{mittl. Feld}}$$

"Betatron-Bedingung"

University of
Melbourne
Betatron part of a
35M Volt electron
accelerator used in
nuclear research
between 1959-
1989.

Jones



Microtron

↓
ANKA

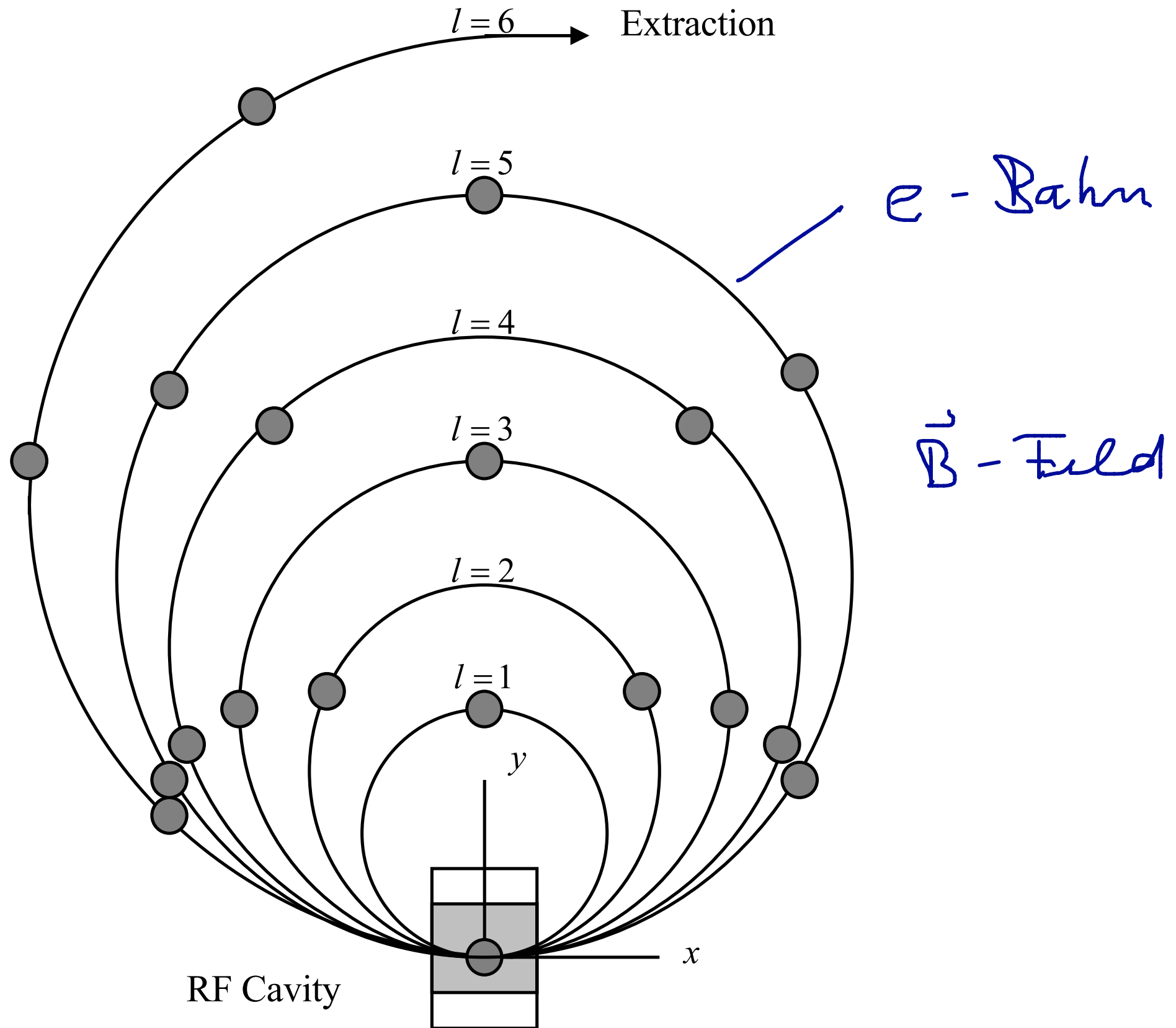
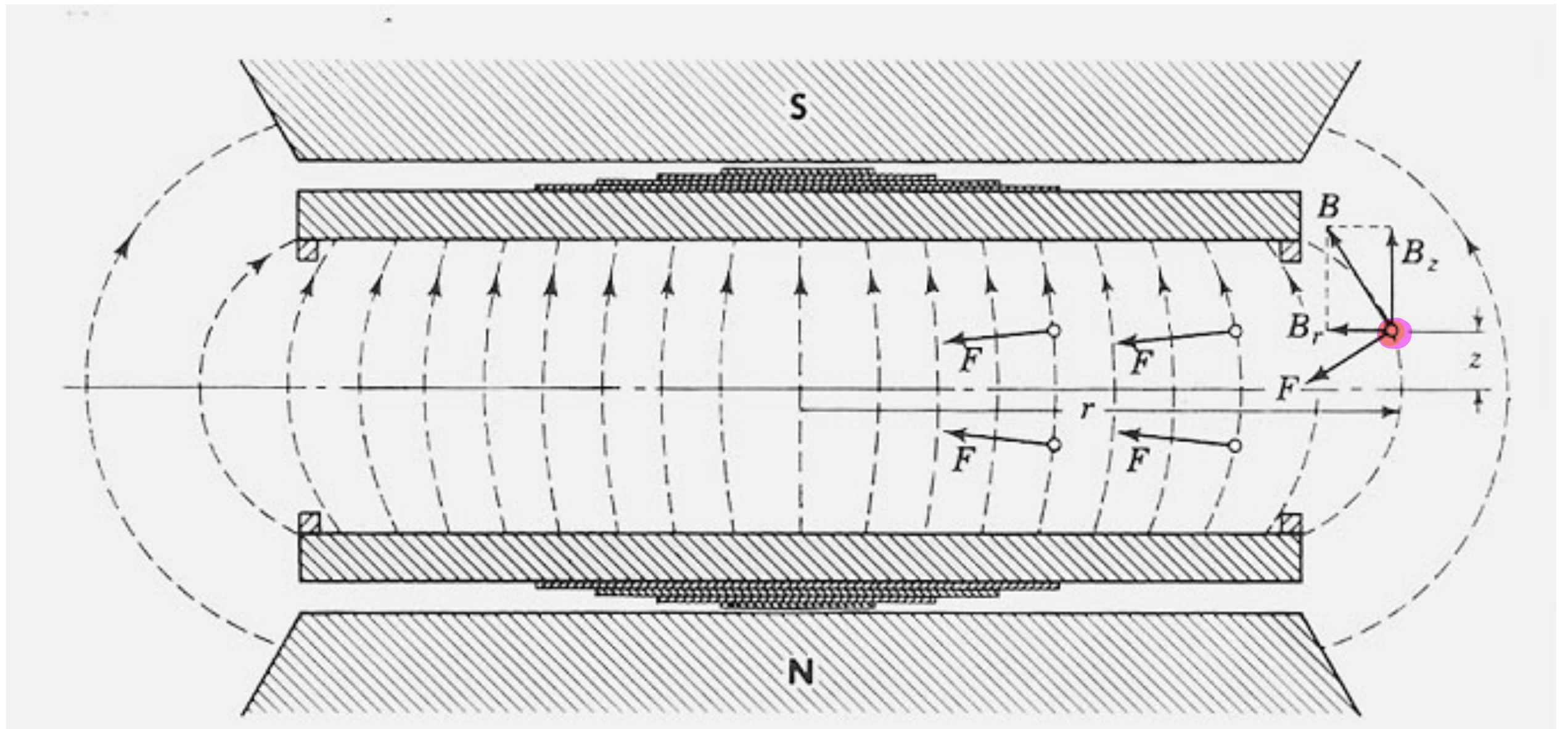


Figure 8: Basic principle of a microtron.

schwache Fokussierung



$$g \mathcal{B}_v = \frac{m \gamma v^2}{\rho} > \frac{m \gamma v^2}{r} \text{ für } r > \rho \rightarrow \text{horiz. Rückstellkraft } \checkmark$$

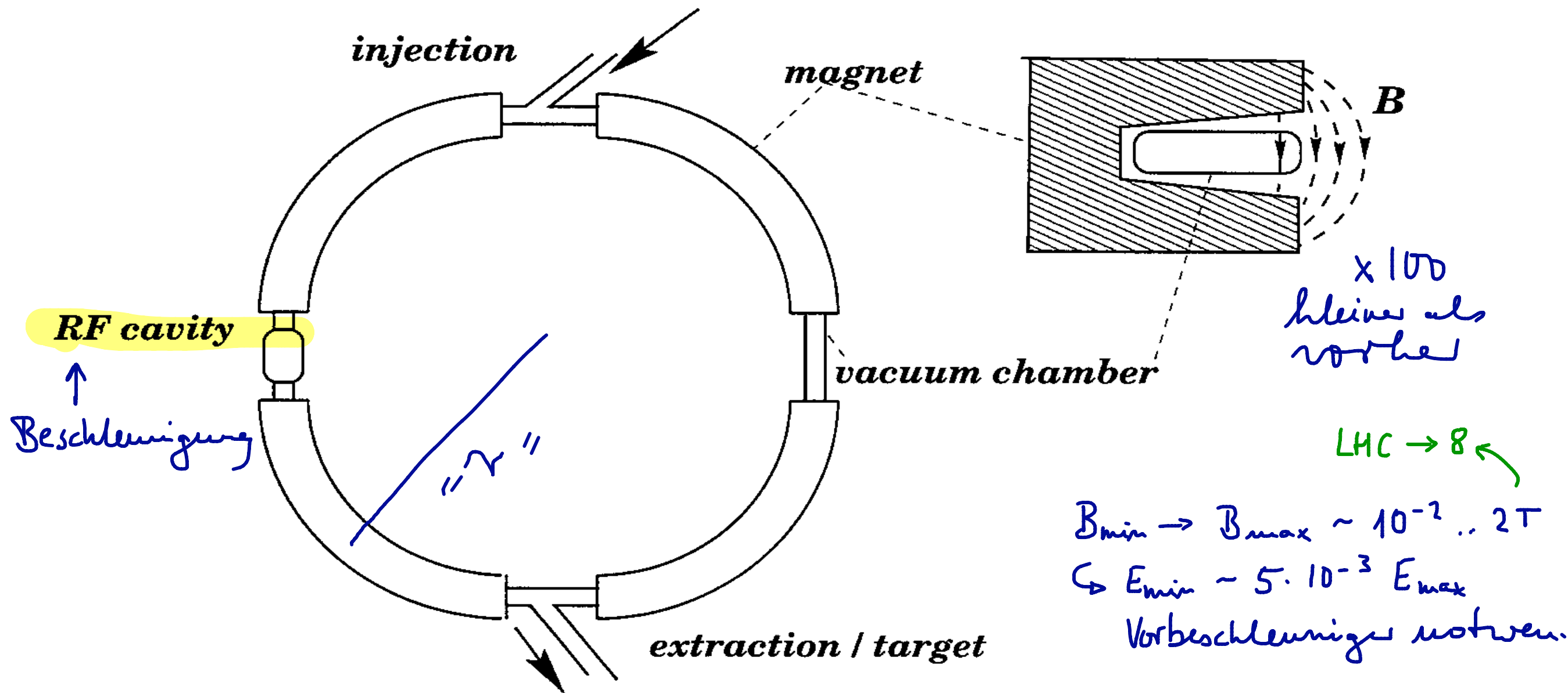
L Solenbahn

Vertikale Stabilität

$$\text{für } 0 < n = -\frac{\rho}{\mathcal{B}} \frac{d\mathcal{B}}{d\rho} < 1$$

n Feldindex

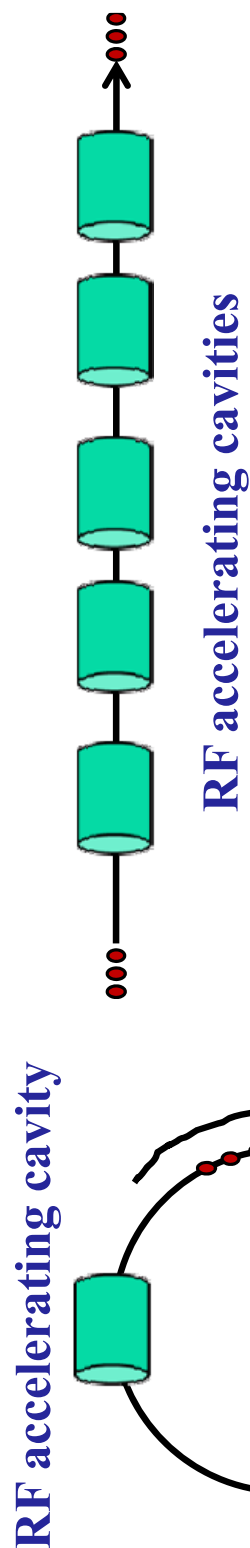
Synchrotron



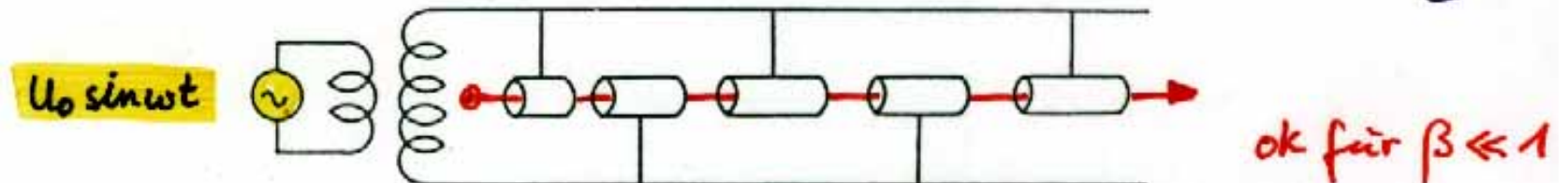
$$v = \text{const.}$$

$$\omega(B) = \frac{qB}{m} \sqrt{1 + \frac{q^2 B^2 R^2}{m^2 c^2}} \rightarrow \dot{\omega} = \frac{q}{m \gamma^3} \quad \text{erst schnelle, dann langsame Änd. von } \omega$$

Linearbeschleuniger



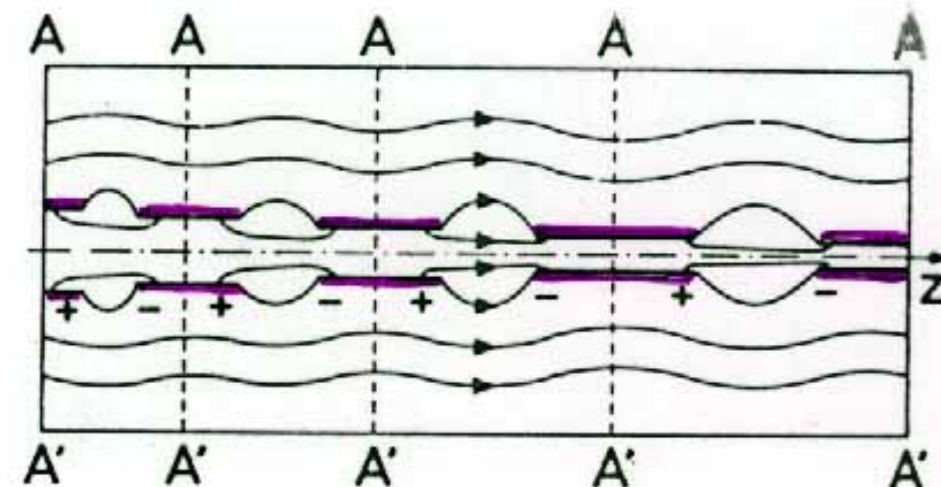
Wideröe-Linac : Driftröhren = Elektroden
 L Länge $l_i = \frac{\beta_i \lambda_w}{2}$



[Sep. FIG. 1.] The Sloan-Lawrence accelerator, which is typical of all linear accelerators with drift tubes.

[Daniel]

Alvarez-Struktur.
 "Momentaufnahme",
 Feld zwischen zwei
 Driftröhren für
 positive Teilchen in
 z-Richtung beschleuni-
 gend. Die Linien
 A-A' deuten die mög-
 liche Unterteilung
 in einzelne Hohl-
 räume an.



Eine einzige stehende Welle
 TM_{010} , Abschirmung durch
 Driftröhren der Länge $\beta \lambda$ oder
 $\beta \lambda / 2$

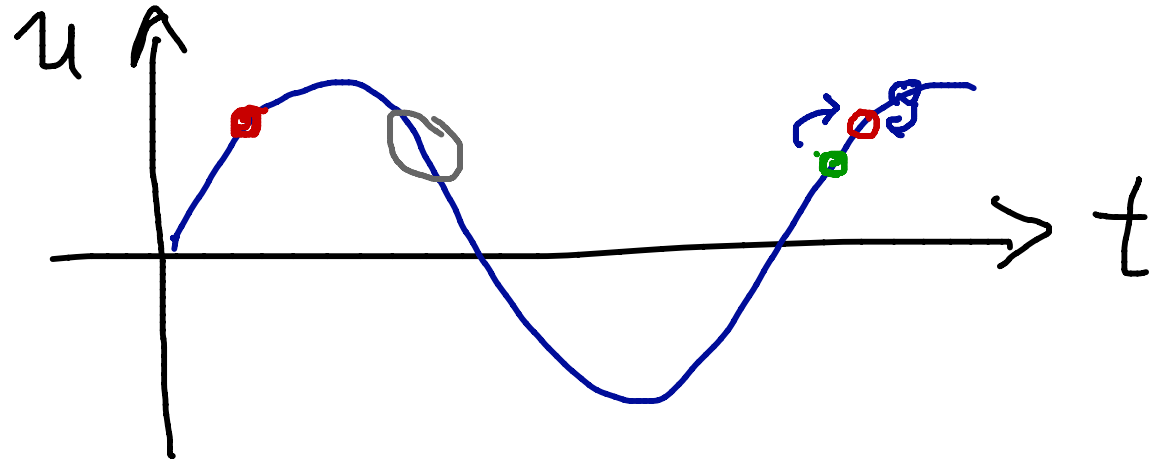
ok für $\beta \lesssim 0.4$

SLAC, Stanford

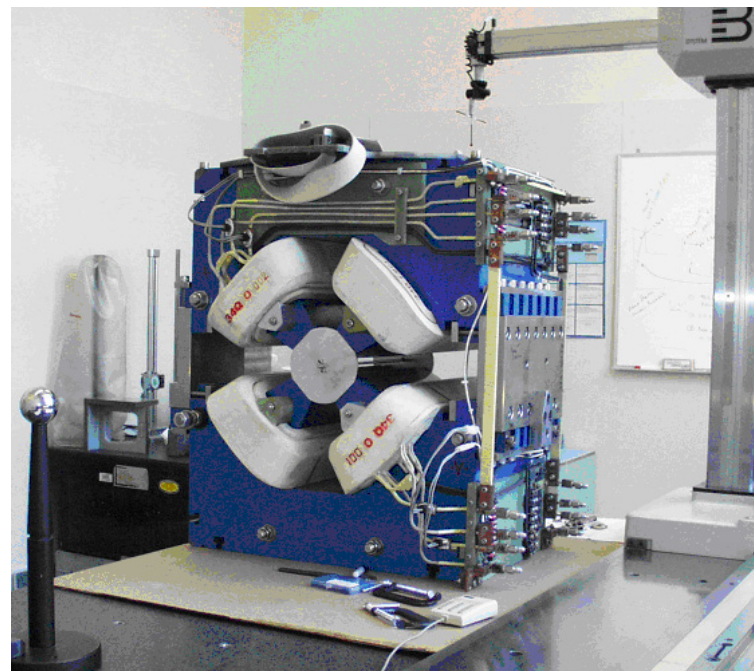
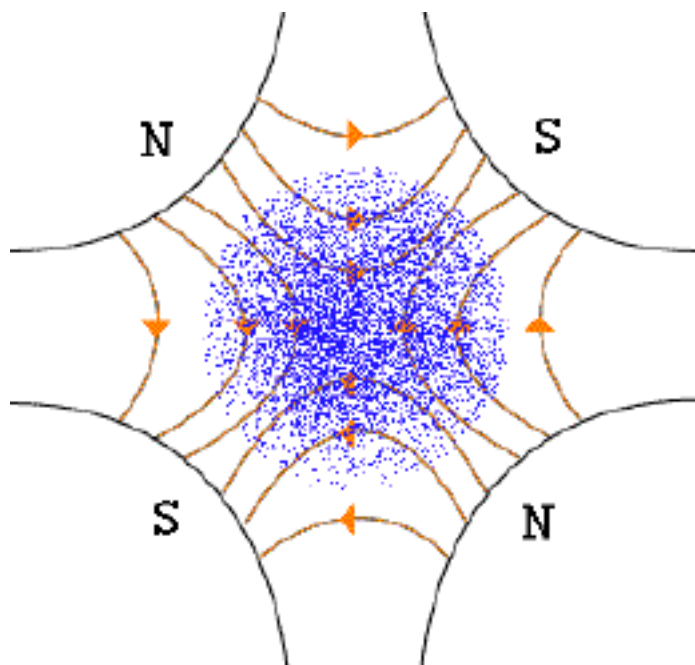


Teilchenoptik und Phasenstabilität

Phasen $\approx B$ im Linac



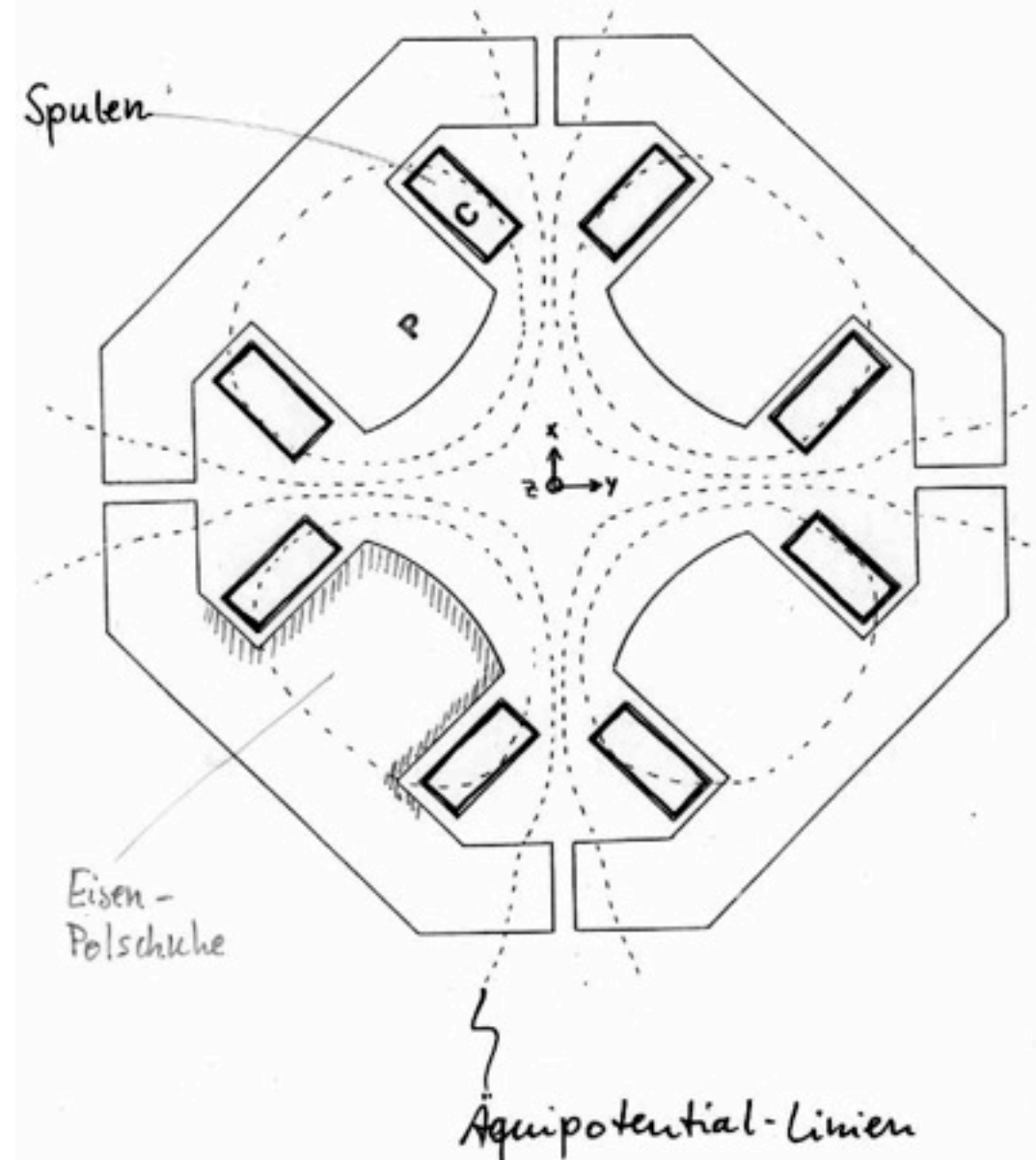
Teilchenstrahl (x, x')
Phasenraumell. Liouville gilt!



SLAC quadrupole

Quadrupolmagnet

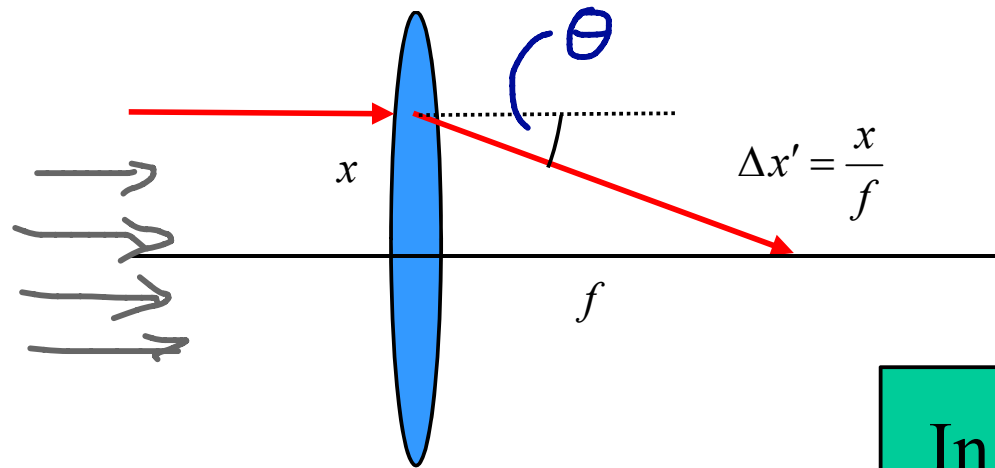
[Fe Figure 4.7] Quadrupole magnetic field. The field vanishes on the axis. (C) one of the coils and (P) one of the iron pole faces. Dotted lines show equipotentials. (Assisted by Rutherford Appleton Laboratory.)



“FODO” – Fokussierung

starke Fokussierung $n \gg 1$

Dipol zur Ablenkung $\theta = \frac{e}{BR} \int_{Mag} B dl$



Effect of a focussing thin lens can be represented by a matrix

$$\begin{pmatrix} x \\ x' \end{pmatrix}_{\text{out}} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ x' \end{pmatrix}_{\text{in}}$$

In a drift space of length ℓ , x' is unaltered but $x \rightarrow x + \ell x'$

$$\begin{pmatrix} x \\ x' \end{pmatrix}_{\text{out}} = \begin{pmatrix} 1 & \ell \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ x' \end{pmatrix}_{\text{in}}$$

In an F-drift-D system, combined effect is.....

$$\underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1/f & 1 \end{pmatrix}}_{\text{D}} \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & \ell \\ 0 & 1 \end{pmatrix}}_{\text{drift}} \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1/f & 1 \end{pmatrix}}_{\text{F}} = \begin{pmatrix} 1 - \ell/f & \ell \\ -\ell/f^2 & 1 + \ell/f \end{pmatrix}$$

D O F $\Rightarrow$ FODO

Kollider: e^+e^- , ep, p(bar)p

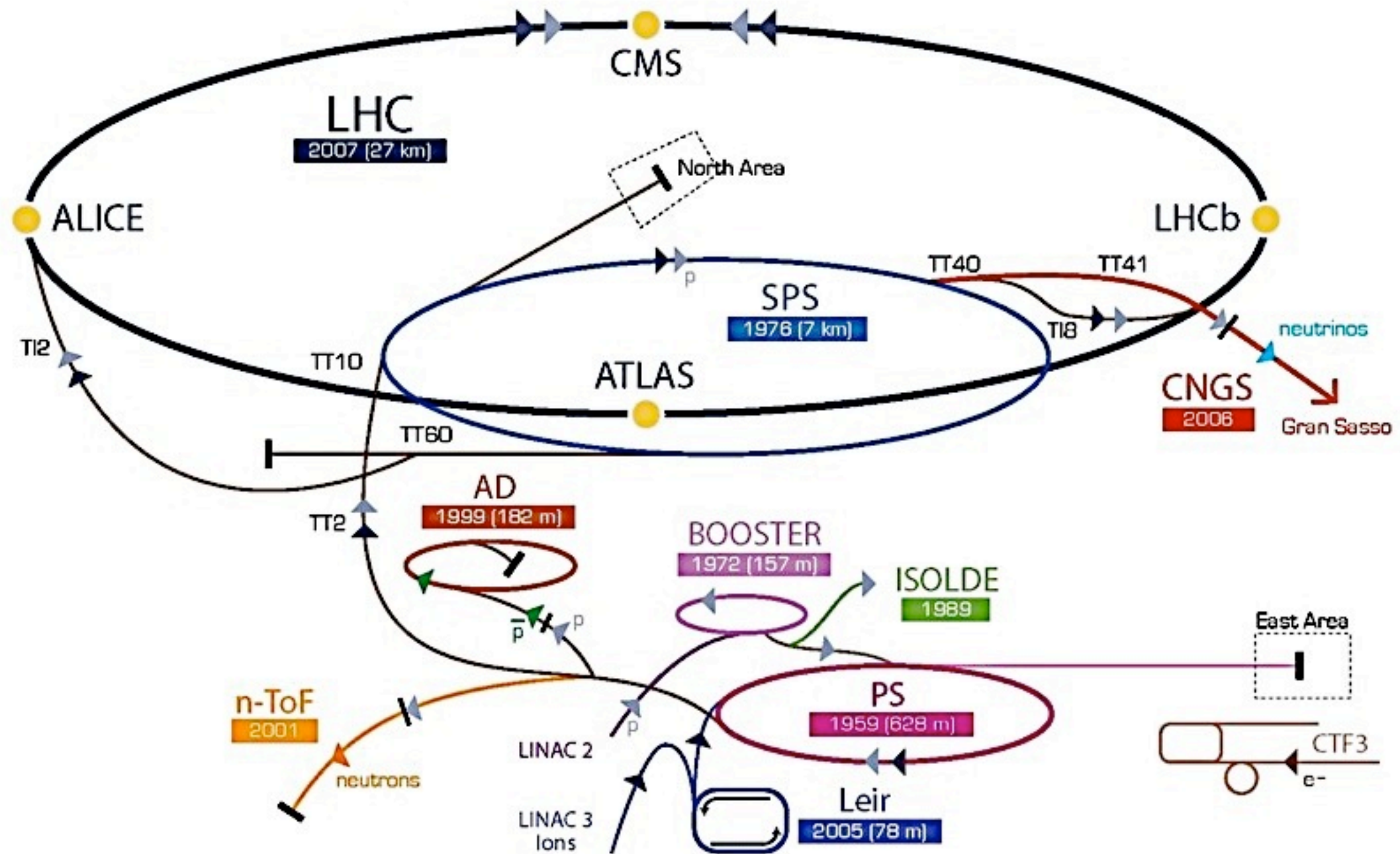
Teilchen mit Energie E auf festes Target : $W_{\text{CMS}} = \sqrt{s} = \sqrt{2Em}$
Teilchenkollisionen : $W_{\text{CMS}} = \sqrt{s} = E_1 + E_2$ für 'punkt förmige' Streuer

e^+e^-	DESY, LEP, SLC	punkt f. Streuer
$e p$	HERA	e als Sonde für die p -Struktur
$p \bar{p}$	SPS	$q\bar{q}$
$p p$	ISR, Tevatron, LHC	qq

} andere Physik

„Kühlung“: Beispiel $\bar{p}$ Verbesserung der Eigenschaften des Strahls
Simon van der Meer
Nobelpreis!

CERN Accelerator Complex

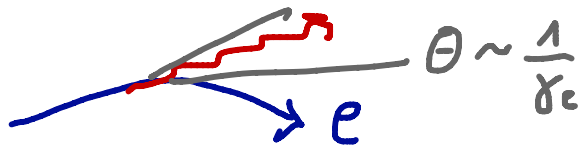


LHC Large Hadron Collider SPS Super Proton Synchrotron PS Proton Synchrotron

AD Antiproton Decelerator CTF3 Clic Test Facility CNGS CERN Neutrinos to Gran Sasso ISOLDE Isotope Separator OnLine DEvice

LEIR Low Energy Ion Ring LINAC LINEar ACcelerator n-ToF Neutrons Time Of Flight

Synchrotronstrahlung



E_γ geht dem e verloren

pro Umlauf:

$$\Delta E \text{ (MeV)} = 9 \cdot 10^{-2} \frac{(E / \text{GeV})^4}{R / \text{m}}$$

LEP @ 86 GeV:

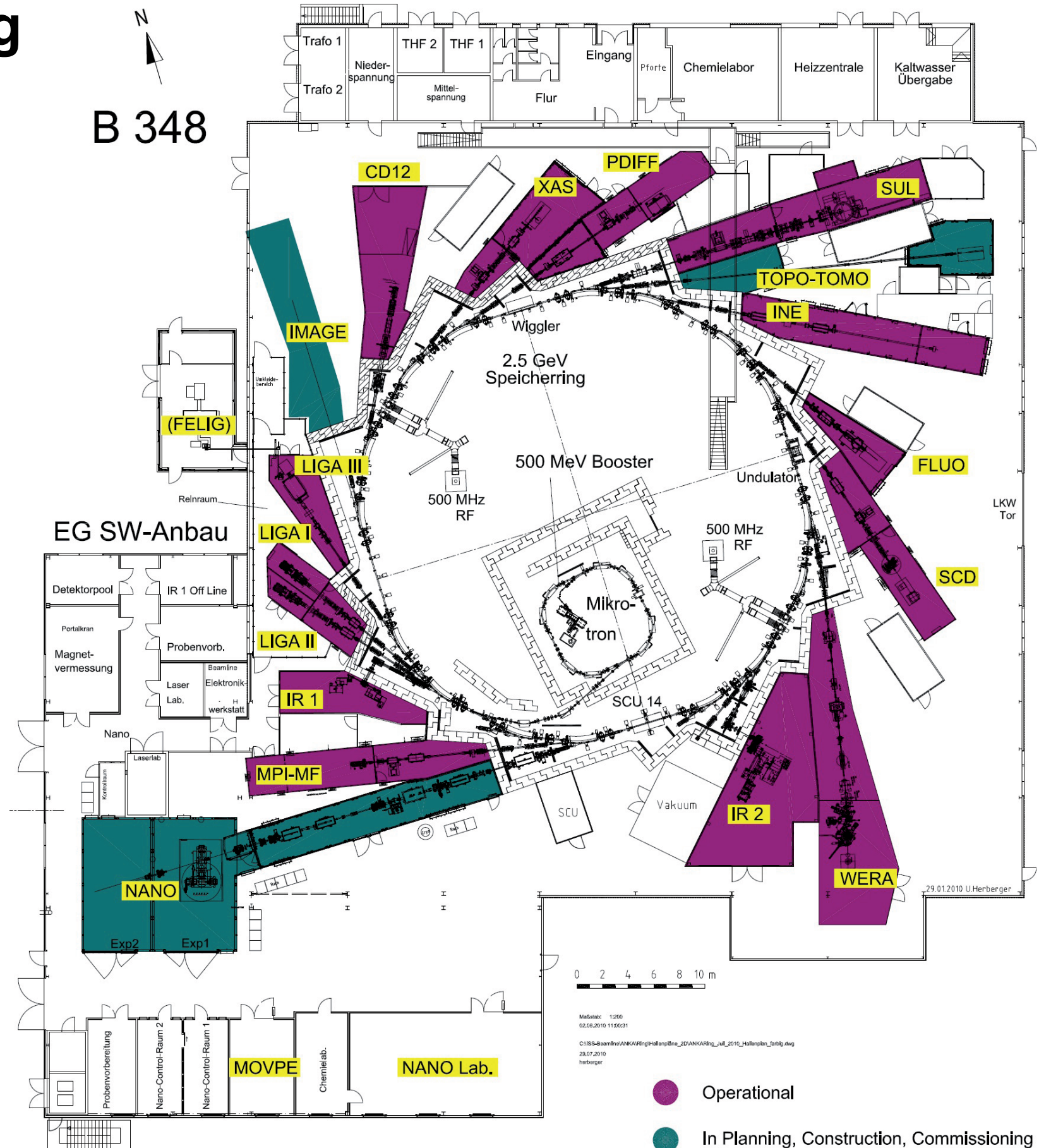
$\Delta E = 1.4 \text{ GeV}$ pro Elektron

$6 \times 10^{12} \text{ e} / \text{Strahl} \rightarrow 20 \text{ MW}$

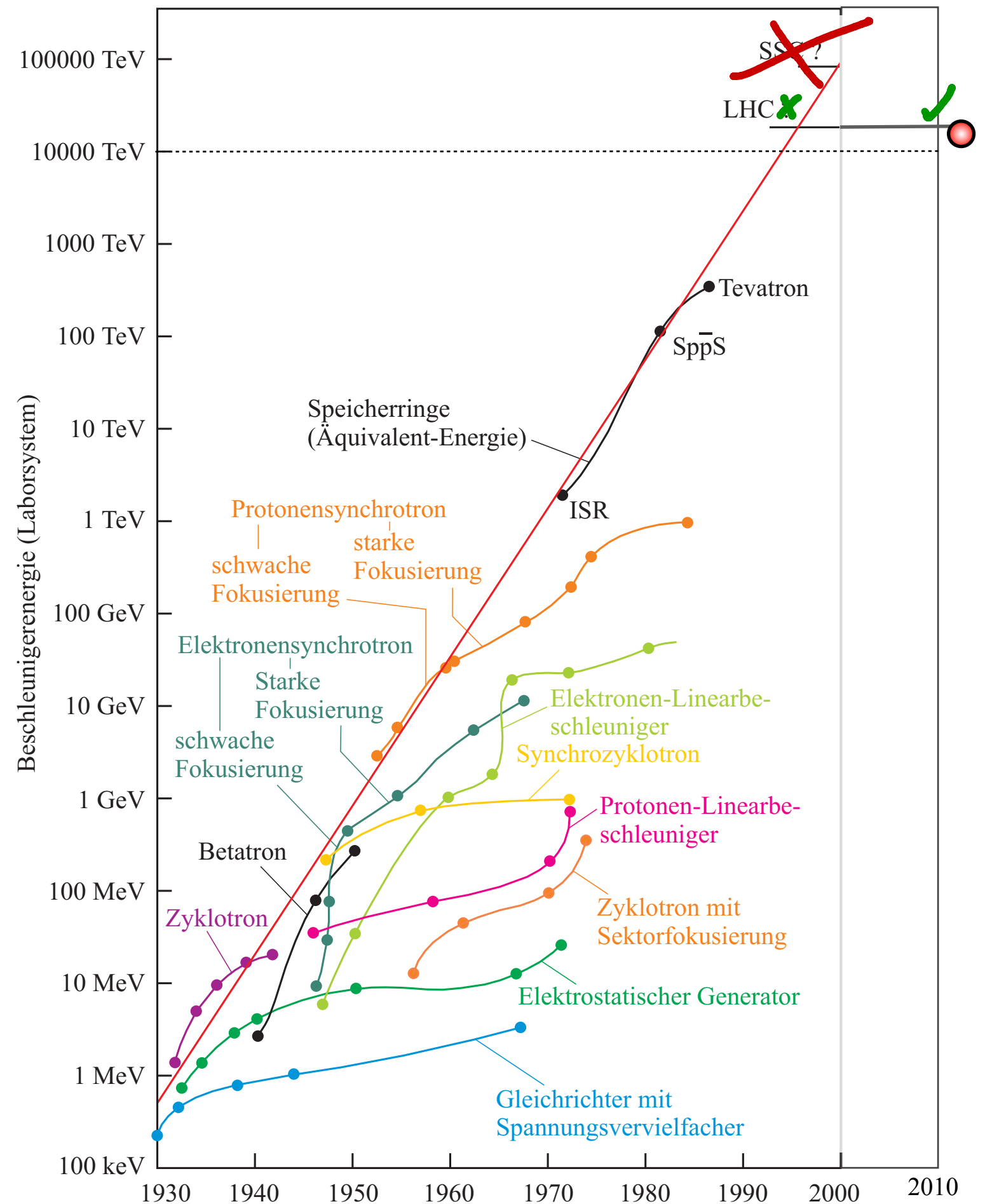
RF erfordert 100 MW

Nutzung der
Synchrotron-
Strahlung!

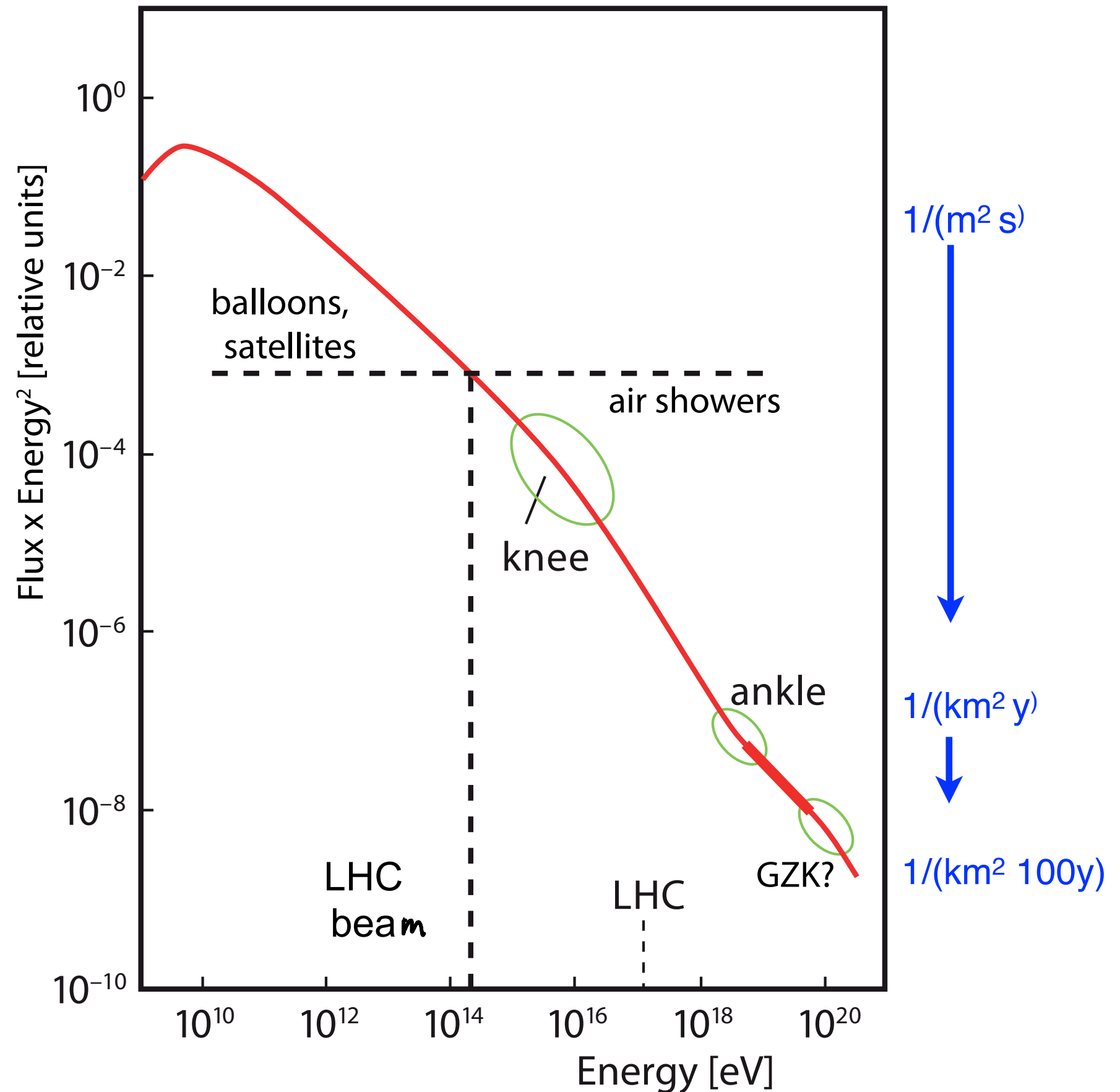
ANKA



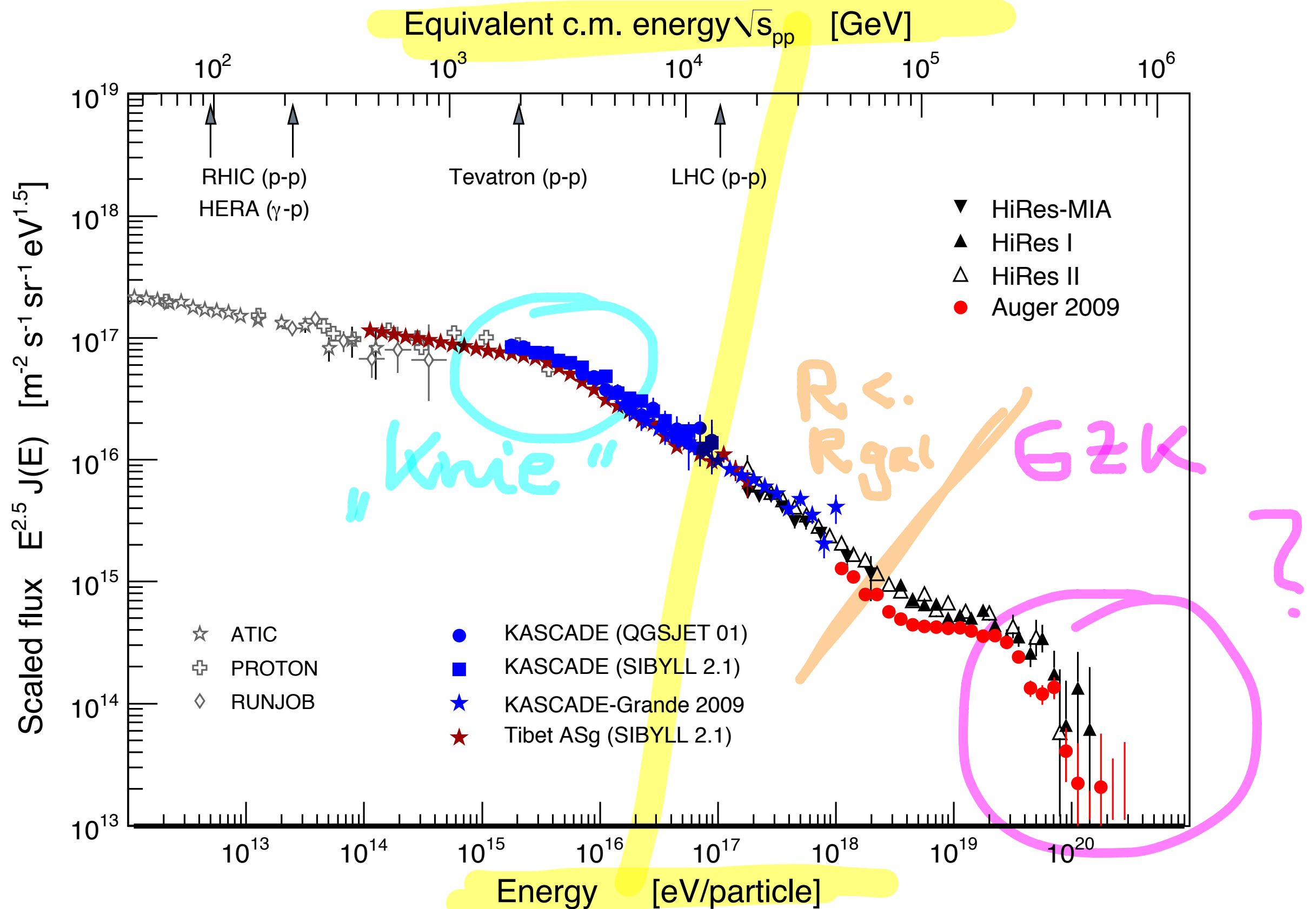
Livingston-Diagramm



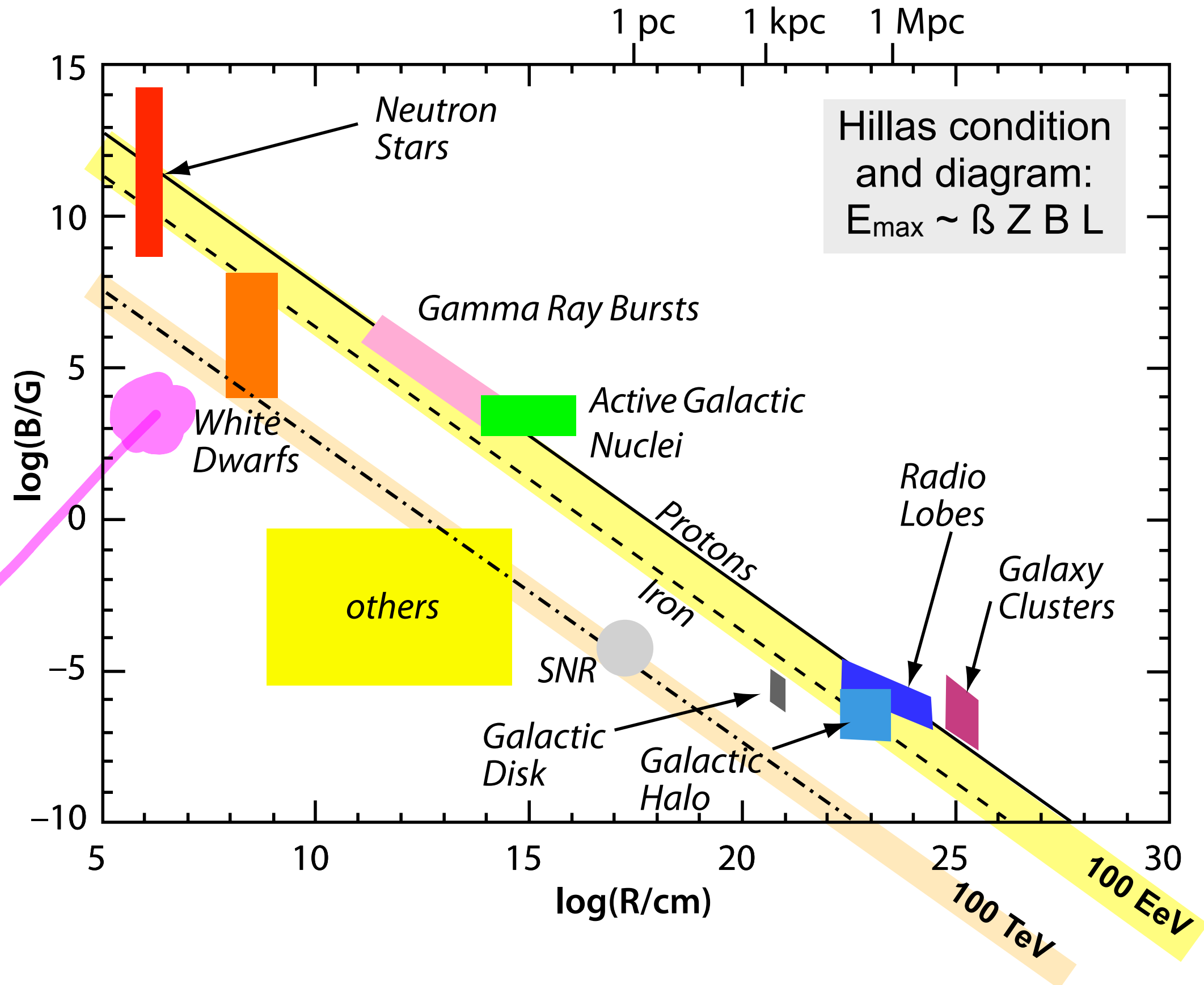
Energiespektrum der kosmischen Strahlung



Energiespektrum und Schwerpunktsenergie



Hillas-Diagramm



LHC

10^{20} eV

Galaktische kosmische Beschleuniger [R. Engel]

SN remnant 1006



20 pc

Entfernung ~ 2.2 kpc

Beobachtete galaktische SN Explosionen:

- 1604 (Kepler)
- 1572 (Tycho)
- 1181 (Chinese astronomers)
- 1054 (Crab nebula)
- 1006 (Chinese and Arabian records)

Abschätzung der Gesamtrate:

- ~3 SN-Explosionen / 100 yrs
- Kin. Energie der Ejekta: $\sim 10^{51}$ erg

(1 erg = 0.1 μ J)

Allgemeine Energiebetrachtung:

- <10% der kin. Energie in Kosm. Strahlung
- Schockfronten für Beschleunigung
- Elementzusammensetzung

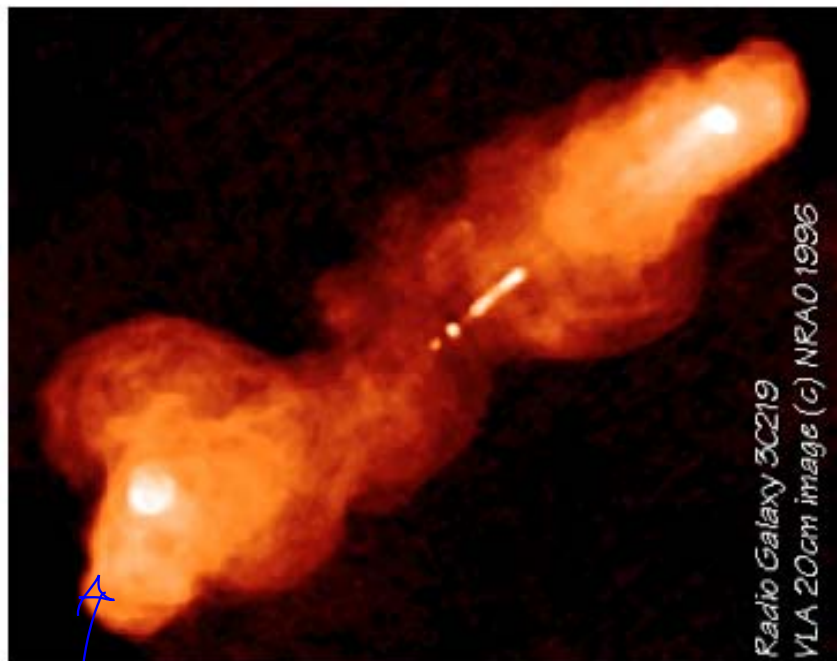
Extragalaktische kosmische Beschleuniger

[R. Engel]

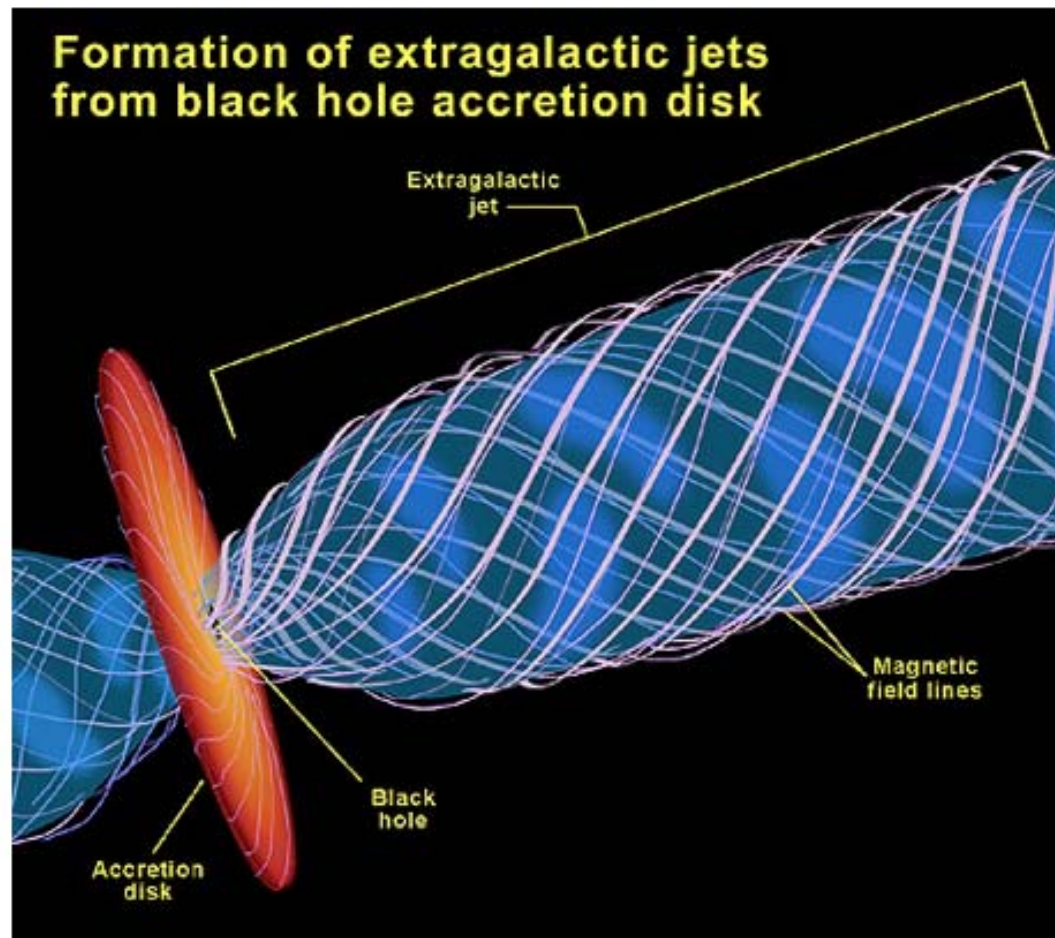
Large Hadron Collider (LHC),
CERN, Genf; 27 km Umfang,
supraleitende Magnete



LHC-Beschleunigerring müsste den Umfang
der Merkur-Umlaufbahn haben!



Beschleunigung zu
höchster Energien?



Detektoren 1

Wechselwirkung von Teilchen und Strahlen mit
Materie; experimentelle Methoden

Detektoren 2

Detektorbaukasten; Grossdetektoren; andere
Anwendungen

Was wollen wir messen?

$$P = (E, \vec{p})$$

Energie: Teilchen stoppen, Ionisation
(E groß: „Schauer“)

↗ el. Signal

Impuls $p = qBR$

↳ Ortsmessungen!

lokalisierte Ionis.

β ← Ionisation, Cherenkov.

m ← E, p u.a.

q ← Ionisation u.a.

Systematik

