

Kollektive Phänomene

- Kollektive Phänomene
- Bisher vereinfachte Betrachtung: Einzelteilchen-Effekte bestimmen transversale und longitudinale Strahldynamik
- Aber: Kollektive Phänomene → Störungen der Strahlstabilität, z.B.
 - Lineare Raumladungseffekte
 - Strahl-Strahl-Effekte
 - Wake-Felder (Kielwasser-Effekte)
 - ...
- Kollektive Phänomene i.A. \neq kleine Störungen
 - ▷ Kollektive Phänomene hängen von Strahlintensität ab
 - ▷ Reduktion des Strahlstroms → geringere Auswirkungen von kollektiven Phänomenen
 - ▷ Korrektur der Auswirkungen → erhöhter Strahlstrom möglich

Lineare Raumladungseffekte

- Eigenfelder des Teilchenstrahls sind gegeben durch die Strahlgröße und lineare Ladungsdichte λ :

$$E_x \propto \frac{\lambda}{\sigma_x \cdot (\sigma_x + \sigma_y)} x \quad E_y \propto \frac{\lambda}{\sigma_y \cdot (\sigma_x + \sigma_y)} y$$

$$B_x \propto -\frac{\lambda}{\sigma_y \cdot (\sigma_x + \sigma_y)} y \quad B_y \propto +\frac{\lambda}{\sigma_x \cdot (\sigma_x + \sigma_y)} x$$

- ◇ flacher Strahlquerschnitt vorteilhaft, da entweder σ_x oder σ_y groß

→ $E_{x,y} \propto 1/(\sigma_x + \sigma_y)$ und $B_{x,y} \propto 1/(\sigma_x + \sigma_y)$ klein

- ◇ Elektron/Positron-Teilchenstrahlen in Kreisbeschleunigern meist $\sigma_y \ll \sigma_x$

→ horizontale Felder $E_x \ll E_y$ vertikale Felder

Strahl-Strahl-Effekte

- Collider: gegenläufig umlaufende Teilchenstrahlen + Strahlkreuzung in Zentren der Teilchendetektoren

→ Kräfte zwischen Teilchenstrahlen, z.B. vertikale Kraft zwischen Teilchen- und Antiteilchen-Strahl

$$F_y \propto -\frac{\lambda}{\sigma_y(\sigma_x + \sigma_y)} y$$

→ F_y hat fokussierende Wirkung → Quadrupolwirkung

→ Verschiebung des vertikalen Betatron-Tunes (*betatron tune shift*): $\delta Q_y \propto \frac{\lambda \ell \beta_y}{\sigma_y(\sigma_x + \sigma_y)} = \frac{eN\beta_y}{B\sigma_y(\sigma_x + \sigma_y)}$

für B Bunche der Länge ℓ , insgesamt N Teilchen, lineare Ladungsdichte $\lambda = eN/B\ell$

- ◇ max. zulässige Tune-Shifts $\delta Q_y \approx 0.04-0.06$ (Elektronen, Protonen weniger (NB: Protonenstrahl i.A. rund))

Wake-Felder

Insbesondere in Elektron/Positron-Beschleunigern:

- hohe Ladungsdichte in kurzem Teilchen-Bunch, d.h. hoher instantaner Strom beim Durchlauf der Teilchen
- ▷ Anregung hoher (bis 20.ter) Oberwellen der Umlauffrequenz
- ▷ Wechselwirkung zwischen Teilchen-Bunch und Umgebung
- ▷ elmag. Resonanzen in Vakuumröhre und Cavities angeregt
- ◇ z.B. Anregung höhere Schwingungsmoden in Beschleunigungsresonatoren (engl.: higher order modes, HOM)
- ◇ Erwärmung von Beschleunigerstrukturen durch Absorption der angeregten Oberwellen (\leftrightarrow Supraleitung)
- ▷ Rückwirkung auf (ersten und nachfolgende) Teilchen-Bunche
- ◇ longitudinale&transversale Deformationen&Oszillationen einzelner Bunche (d.h. Abweichung von gaußschem Profil)
- ◇ longitudinale&transversale Verschiebung der Bunche vom Sollorbit & Oszillationen um Sollorbit

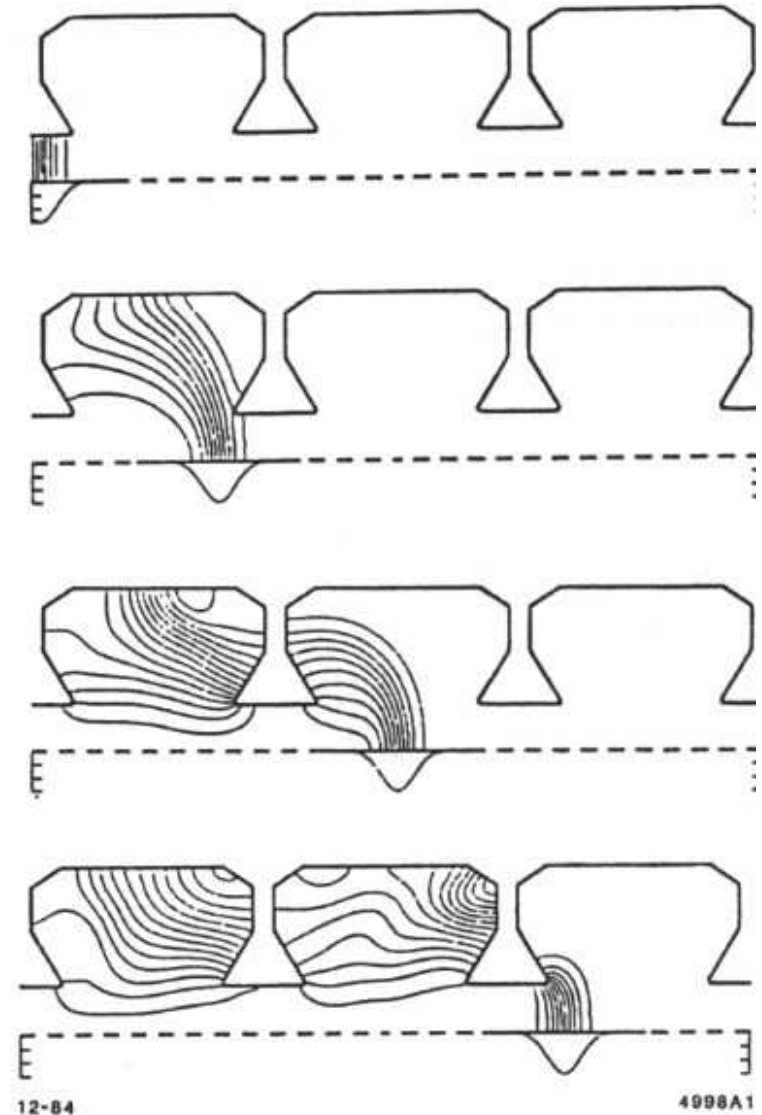


Fig.12.1 Parasitic mode fields

Wake-Felder (fortgesetzt)

Beispiele für longitudinale & transversale parasitäre Schwingungsmoden in Beschleunigerstrukturen (z.B. Cavities, Balgverbindungen zwischen Strahlrohren, Strahlinjektions-/extraktionsbereiche, etc.)

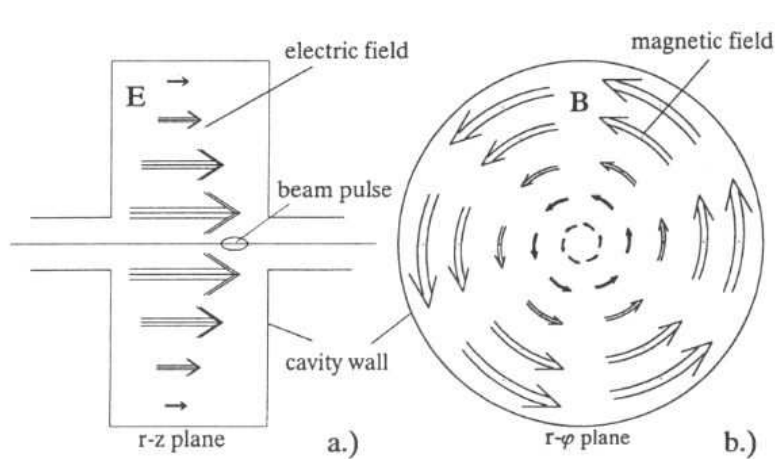


Fig. 12.2. Longitudinal parasitic mode

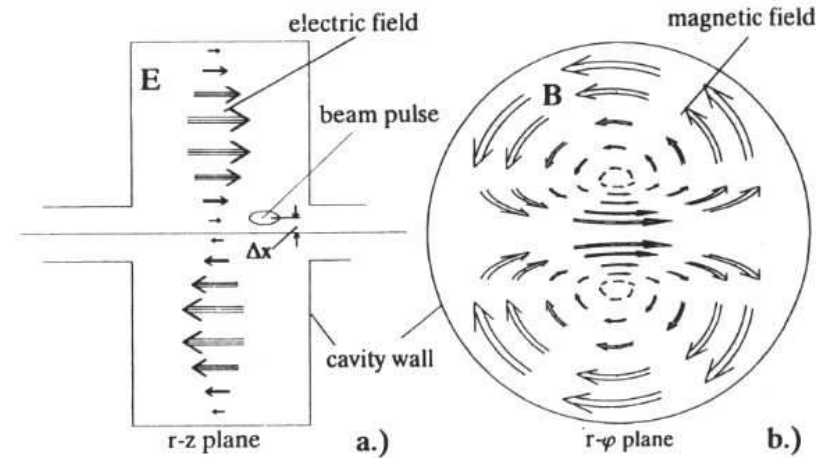
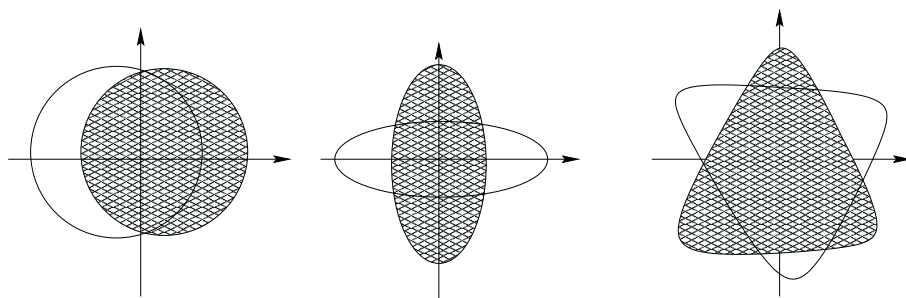


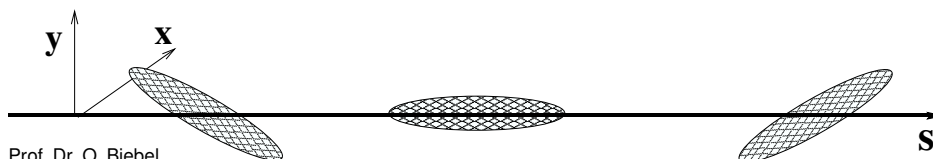
Fig. 12.3. Transverse parasitic mode

Wake-Feldeffekte auf einzelne Bunche:

- transversale Deformation & Oszillationen

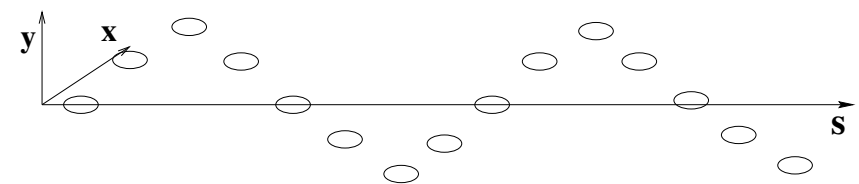


- ebenso auch longitudinal (Head-Tail-Instabilität)



Wake-Feldeffekte auf Multibunch-Teilchenstrahlen:

- transversale Verschiebung der Bunche



- longitudinale Verschiebung der Bunche

