

**ÜBUNGEN**  
zur „Beschleunigerphysik Teil 1“  
TU Dortmund Wintersemester 2019/20

– **BLATT 7** –

Arne Meyer a.d.H. ( arne.meyeraufderheide @ tu-dortmund.de )  
Benedikt Büsing ( benedikt.buesing @ tu-dortmund.de )  
Shaukat Khan ( carsten.mai @ tu-dortmund.de )  
Vorbesprechung am Do 21.11.2019  
Abgabe per Email bis Di 26.11.2019

*Maximal drei Teilnehmer/innen können eine gemeinsame Lösung einsenden. Die Lösungen zu Programmieraufgaben bitte als kommentiertes Python-Skript (\*.py), zu Verständnis- und Rechenaufgaben als PDF-Dokument (z.B. mit LaTeX, Word, gescannt) per Email einsenden. Bitte alle Namen im Betreff der Email, in der PDF-Datei und dem Python-Skript aufführen. Betreff der Email: „[BP2019 Uebung] Abgabe Blatt 7, Namen“*

**Aufgabe 1: Kurzfragen (2 Punkte)**

- a) Was passiert, wenn in einen Speicherring ein Teilchenpaket injiziert wird, das (i) bei richtiger Energiebreite zu lang ist, (ii) bei richtiger Paketlänge eine zu breite Energieverteilung hat, (iii) eine etwas zu hohe Energie hat, oder (iv) etwas zu früh eingeschossen wird.
- b) Warum haben die meisten Speicherringe für Protonen und Ionen ein Hochfrequenzsystem, obwohl der Energieverlust durch Synchrotronstrahlung oder andere Effekte vernachlässigbar ist? Was passiert, wenn man in einem solchen Speicherring den Hochfrequenzsender abschaltet?

**Aufgabe 2: Energieakzeptanz und Fixpunkte (3 Punkte)**

- a) Berechnen Sie die Energieakzeptanz (d.h. den Maximalwert der relativen Energieabweichung  $\Delta E/E$  für stabile Trajektorien im longitudinalen Phasenraum) für den Elektronenspeicherring BESSY in Berlin. Die hierzu benötigten Angaben finden Sie in Aufgabe 3.
- b) Betrachten Sie die beiden Gleichungen in Aufgabe 3. Bei welchen Werten der Phase und der relativen Energieabweichung erwarten Sie sog. „Fixpunkte“, die dadurch gekennzeichnet sind, dass Teilchen ihre Lage im Phasenraum beibehalten?

(bitte wenden)

### Aufgabe 3: Höhere Ordnung im longitudinalen Phasenraum (5 Punkte)

Die longitudinale Bewegung von Elektronen in einem Speicherring (die Synchrotron-Oszillation) wurde in Blatt 6, Aufgabe 3 im longitudinalen Phasenraum berechnet (Abszisse: Abweichung  $\Delta\Psi$  vom synchronen Phasenwinkel  $\Psi_s$ , Ordinate: relative Energieabweichung  $\Delta E/E$  zur Sollenergie  $E$ ). Nun soll die Synchrotron-Oszillation durch die folgenden (etwas modifizierten) gekoppelten Differenzialgleichungen beschrieben werden:

$$\frac{d(\Delta E/E)}{dt} = \frac{eV_0}{T_0 E} \cdot [\sin(\Psi_s + \Delta\Psi) - \sin\Psi_s] \quad \frac{d(\Delta\Psi)}{dt} = \omega_{\text{Hf}} \cdot \left[ \alpha_0 + \alpha_1 \cdot \frac{\Delta E}{E} + \alpha_2 \cdot \left( \frac{\Delta E}{E} \right)^2 \right]$$

Hier ist  $V_0$  die Amplitude der Hf-Spannung,  $T_0$  die Umlaufzeit der Elektronen und  $\omega_{\text{Hf}} = 2\pi f_{\text{Hf}}$  die Hf-Kreisfrequenz. Verwenden Sie wieder folgende Parameter:  $E = 1,7 \text{ GeV}$ ,  $V_0 = 1,2 \text{ MV}$ ;  $T_0 = 800 \text{ ns}$ ,  $f_{\text{Hf}} = 500 \text{ MHz}$ . Der „*momentum compaction factor*“ wurde diesmal nach drei Komponenten entwickelt: ein konstanter Wert  $\alpha_0$ , der lineare Faktor  $\alpha_1$  sowie die nächst höhere Ordnung  $\alpha_2$ . Die Dämpfung der Oszillation durch Synchrotronstrahlung wurde wieder vernachlässigt.

Berechnen Sie den synchronen Phasenwinkel für einen Energieverlust von  $W = 170 \text{ keV}$  pro Umlauf. Wenden Sie anschließend das Runge-Kutta-Verfahren 4. Ordnung an (siehe Kochrezept auf Blatt 6), um die Bewegung von Elektronen im longitudinalen Phasenraum für verschiedene Phasen- und Energieabweichungen in „kleinen Zeitschritten“  $T_0$  zu berechnen. Überprüfen Sie Ihr Programm mit  $\alpha_0 = \alpha_2 = 0$  sowie  $\alpha_1 = 8 \cdot 10^{-4}$  und untersuchen Sie dann folgende Fragen:

- Welche Auswirkungen hat eine Verringerung des *momentum compaction factor*  $\alpha_1$ ? An einigen Speicherringen (z.B. BESSY und MLS in Berlin sowie KARA in Karlsruhe) gibt es einen Betriebsmodus, bei dem dieser Parameter um bis zu zwei Größenordnungen verringert wird (sog. „low- $\alpha$ -Betrieb“).
- Was bewirken die Terme mit  $\alpha_0$  und  $\alpha_2$  in der Reihenentwicklung des *momentum compaction factor*? Diese Terme spielen insbesondere beim „low- $\alpha$ -Betrieb“ eine Rolle, wenn  $\alpha_1$  klein ist. Variieren Sie die Parameter einzeln und auch beide zusammen für normale und reduzierte Werte von  $\alpha_1$ . Sinnvolle Bereiche sind 0 bis  $10^{-5}$  für  $\alpha_0$  sowie 0 bis  $10^{-2}$  für  $\alpha_2$ . Schicken Sie genügend Elektronen von verschiedenen Punkten des Phasenraums auf die Reise, damit Sie sehen, was passiert.

Senden Sie Ihren Übungsassistenten neben Ihrem Python-Code auch Ergebnisse in Form aussagefähiger Bilder in einem gängigen Format (png, jpg oder pdf).