

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

– **BLATT 12** –

Arne Meyer a.d.H. (arne.meyeraufderheide @ tu-dortmund.de)
Benedikt Büsing (benedikt.buesing @ tu-dortmund.de)
Vorbesprechung am Do 09.01.2020
Abgabe per Email bis Di 14.01.2020

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 12, Namen“*

Aufgabe 1: Kurzfragen (2 Punkte)

- a) Skizzieren Sie grafisch jeweils zwei transversale Phasenraumellipsen, die sich nur in einem Parameter unterscheiden: (i) Courant-Snyder-Invariante ε , (ii) Betafunktion β , (iii) Ableitung der Betafunktion bzw. α und (iv) Impulsabweichung des Teilchens unter den Annahmen von Dispersion $D > 0$ und $D' < 0$. Geben Sie das Vorzeichen der Parameteränderung an.
- b) Warum können transversale Phasenraumellipsen „schräg“ sein (wenn $\alpha(s) \neq 0$ ist) und longitudinale Phasenraumellipsen nicht?

Aufgabe 2: Strahltaille (3 Punkte)

- a) Geben Sie einen Ausdruck für die Beta-Funktion in einer Driftstrecke als Funktion von s an, wobei $s = 0$ der Ort einer Strahltaille mit $\beta(0) = \beta_0$ und $\beta'(0) = 0$ sei. Geben Sie ferner einen Ausdruck für die Größe eines Strahls mit Emittanz ε als Funktion von s an.
- b) Zeigen Sie mit der in a) gefundenen Beta-Funktion, dass die Wahl der Konstanten $C = 1$ für die Berechnung des Phasenvorschubs gemäß $\Psi(s) = \int_0^s \frac{C}{\beta(s)} ds$ sinnvoll ist.
- c) In der Laserphysik wird die Größe eines "Gaußschen Strahls" mit einer Strahltaille $w(0)$ oft mit $w(z) = w(0) \sqrt{1 + \frac{z^2}{z_R^2}}$ angegeben, wobei $z_R = \frac{\pi w^2(0)}{\lambda}$ die sog. Rayleigh-Länge mit der Wellenlänge λ und z (statt s) die Koordinate entlang der Strahlrichtung ist. Vergleichen Sie dies mit dem Ausdruck für die Strahlgröße in (a). Welche Größe ist bei der Laserstrahlgröße analog zur Emittanz eines Teilchenstrahls?

(bitte wenden)

Aufgabe 3: Ein Teilchenoptik-Programm, Fortsetzung (5 Punkte)

Mit dieser Aufgabe soll Ihr semiprofessionelles Teilchenoptik-Programm signifikant erweitert werden. Verwenden Sie weiterhin die Input-Datei für ein Synchrotron mit FODO-Struktur wie in Übungsblatt 11:

- ein halber horizontal fokussierender Quadrupol (halbe Länge 0.2 m, $k = -1.20 \text{ m}^{-2}$);
- Driftstrecke (Länge 0.55 m);
- ein rechteckiger Dipol (Länge 1.50 m, Biegeradius 3.820 m)
- Driftstrecke (Länge 0.55 m)
- ein vertikal fokussierender Quadrupol (Länge 0.4 m, $k = +1.20 \text{ m}^{-2}$)
- Driftstrecke (Länge 0.55 m)
- ein rechteckiger Dipol (Länge 1.50 m, Biegeradius 3.820 m)
- Driftstrecke (Länge 0.55 m)
- ein halber horizontal fokussierender Quadrupol (halbe Länge 0.2 m, $k = -1.20 \text{ m}^{-2}$)

- a) Fügen Sie für den Fall eines Dipolmagneten ($M = 2$) die Elemente R_{16} , R_{26} , R_{51} , R_{52} und R_{56} in die 6×6 -Transfermatrix ein.
- b) Stellen Sie die Matrix für einen Umlauf auf, die für den Anfang der Magnetstruktur ($s = 0 \text{ m}$) gilt. Beachten Sie dabei, dass sich die Struktur für einen vollen Umlauf $N = 8$ mal wiederholt.
- c) Berechnen Sie an der Stelle $s = 0 \text{ m}$ die optischen Funktionen $\beta(0)$, $\alpha(0)$, $\gamma(0)$ sowie die Dispersion $D(0)$ und ihre Ableitung $D'(0)$.
- d) Berechnen Sie die optischen Funktionen, die Dispersion und ihre Ableitung für einen vollen Umlauf jeweils am Ende eines Elements und stellen Sie alle Funktionen grafisch dar.
Freiwillig: Der Verlauf der Funktionen wird schöner sichtbar, wenn Sie die Funktionen für mehrere Punkte innerhalb jedes Elements (Dipol, Quadrupol und Driftstrecke) berechnen und darstellen. Mit Aufgabe 3 in Blatt 10 wurde das Programm bereits für 10 Punkte pro Element vorbereitet.
- e) Ermitteln Sie näherungsweise aus den berechneten Funktionen den Phasenvorschub Ψ für einen vollen Umlauf sowie den momentum compaction factor α .
Freiwillig: Die Werte für Ψ und α werden natürlich genauer, wenn Sie nicht nur einen Funktionswert, sondern mehrere pro Element berechnet haben.