

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

– **BLATT 11** –

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 19.12.2019  
Abgabe per Email bis Di 07.01.2020

*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 11, Namen“*

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

- a) Eine Zylinderspule (sog. Solenoid) fokussiert einen Teilchenstrahl auf ihrer Achse sowohl horizontal als auch vertikal. Begründen Sie dies ohne Formeln. Warum werden stattdessen meist Quadrupolmagnete verwendet, obwohl sie nur in einer Ebene fokussieren?
- b) Ist die „schwache“ Fokussierung wirklich schwächer als die Fokussierung mit Quadrupolmagneten, und wenn ja, um welche Größenordnung? Typische Parameter s. Aufgabe 3.

**Aufgabe 2: Teilchenoptik (3 Punkte)**

Betrachten Sie ein Teilstück eines Speicherrings zwischen zwei Symmetriepunkten der Magnetstruktur (siehe auch Aufgabe 3). Die Elemente mit Längen in Klammern sind: zweite Hälfte eines horizontal fokussierenden Quadrupolmagneten (0,2 m), Driftstrecke (0,55 m), Rechteckdipol (1,50 m), Driftstrecke (0,55 m), erste Hälfte eines vertikal fokussierenden Quadrupols (0,2 m). Der gesamte Ring enthält 16 gleiche Dipole, die Quadrupolstärken sind  $\pm 1,20 \text{ m}^{-2}$ .

- a) Ein Teilchen startet in der Mitte des ersten Quadrupolmagneten mit einer horizontalen Ablage von  $x = 1,0 \text{ mm}$  und Winkel  $x' = 0 \text{ mrad}$ . Berechnen Sie die horizontalen Phasenraumkoordinaten in der Mitte des zweiten Quadrupols. Ist dies ein Symmetriepunkt der Teilchenbahn?
- b) Die Dispersion in der Mitte des ersten Quadrupols betrage  $D = 3,4187 \text{ m}$ , ihre Ableitung nach  $s$  sei  $D' = 0$ . Berechnen Sie  $D$  und  $D'$  in der Mitte des zweiten Quadrupols. Ist dies ein Symmetriepunkt der Dispersionsfunktion?

Tipp: Rechnen Sie mindestens auf 3 Nachkommastellen genau. Sie können sich die Rechnung durch die besonderen Eigenschaften von Rechteckdipolen etwas erleichtern.

(bitte wenden)

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

Letzte Woche haben Sie begonnen, ein semiprofessionelles Programm für die Teilchenoptik in Beschleunigern und Speicherringen zu schreiben. Das Format der Magnetstruktur finden Sie im Übungsblatt 9. Zur Erinnerung:

1. Zeile:  $N$   
weitere Zeilen:  $M$   $L$   $S$

$M = 0$  Driftstrecke (kein Feld)  
 $M = 1$  Kante eines Dipolmagneten  
 $M = 2$  Dipolmagnet  
 $M = 4$  Quadrupolmagnet  
 $M = 6$  Sextupolmagnet  
 $M = -1$  Ende der Eingabe (in dieser Zeile ist  $L$  und  $S$  beliebig, z.B. null).

Für Dipole gibt es zwei Matrizen, eine für die schwache Fokussierung ( $M = 2$ ) und eine für die Kantenfokussierung ( $M = 1$ ). Die Eingabe für Sextupolmagnete ist später vorgesehen. Die Länge des jeweiligen Elements sei  $L$ . Die Kante eines Dipols hat keine Länge, geben Sie aber den Kantenwinkel als  $L/(2 \cdot S)$  an. Der Parameter  $S$  sei ein Maß für die Stärke des Elements. Für Dipole ( $M = 1, 2$ ) sei dies der Biegeradius  $R$ . Für die Quadrupolstärke  $k$  gilt die Konvention:

$k < 0$  horizontal fokussierend, vertikal defokussierend,  
 $k > 0$  horizontal defokussierend, vertikal fokussierend.

- a) Schreiben Sie ein Programm, das eine Datei im angegebenen Format einliest und fehlerhafte Eingaben abfängt. Erzeugen Sie eine Datei für folgende ringförmige Magnetstruktur, die sich  $N = 8$  mal wiederholt (FODO-Struktur aus: K. Wille, Physik der Teilchenbeschleuniger und Synchrotronstrahlungsquellen, S. 111 ff):
- 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, der Biegeradius ergibt sich aus den anderen Angaben)
  - 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)
  - Driftstrecke (Länge 0,55 m)
  - ein halber horizontal fokussierender Quadrupol (halbe Länge 0,2 m,  $k = -1,20 \text{ m}^{-2}$ )
- b) Wenn Sie die Daten eingelesen haben, erzeugen Sie für jedes Element 6x6-Matrizen mit einer 1 in jedem Diagonalelement und überschreiben Sie anschließend die 2x2-Untermatrizen für die horizontale und vertikale Bewegung. Erzeugen Sie für jedes Element außer  $M = 1$  eine Matrix, die einem Element mit 1/10 der Gesamtlänge entspricht.
- c) Als nächstes sollen 1000 Teilchen mit normalverteilten 4-dimensionalen Positionsvektoren  $(x, x', y, y')$  am Anfang der Struktur loslaufen. Aufgrund der 8-fachen Symmetrie sind an dieser Stelle Ort und Winkel der Teilchen nicht korreliert. Verfolgen Sie die Teilchen durch die gesamte Struktur, wobei die Rechnung für 10 Punkte in jedem Element durchgeführt werden soll (dafür sind die Matrizen mit 1/10 der Gesamtlänge gedacht). Tragen Sie die Teilchenpositionen in  $x$  und  $y$  als Funktion der longitudinalen Koordinate  $s$  auf. Stellen Sie ferner die Teilchen nach jedem Element im horizontalen und vertikalen Phasenraum dar.