

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

– **BLATT 10** –

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 12.12.2019  
Abgabe per Email bis Di 17.12.2019

*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 10, Namen“*

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

- a) Ein Teilchenstrahl bildet im transversalen Phasenraum in guter Näherung eine Normal(Gauß)-verteilung in den Koordinaten  $x$  und  $x' \equiv dx/ds$  (Ort und Winkel). Skizzieren Sie grafisch eine solche Verteilung als „Wolke“ von Punkten und überlegen Sie, wie sich die Verteilung beim Flug durch eine Driftstrecke (feldfreier Raum) ändert.
- b) Was passiert mit den "Wolken" in den Phasenräumen  $(x, x')$  und  $(y, y')$  beim Flug durch einen Quadrupolmagneten? Drücken Sie in Worten aus, warum eine Abfolge von Quadrupolmagneten einen Teilchenstrahl insgesamt fokussieren kann, obwohl jeder Magnet in einer Koordinate defokussierend wirkt.

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

- a) Berechnen Sie die gesamte horizontale Transfermatrix eines rechteckigen Dipolmagneten, also eines Dipols, dessen Kantenwinkel  $\Psi$  und Biegewinkel  $2\Psi$  ist.
- b) Wie deuten Sie das Ergebnis?

(bitte wenden)

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

Es gibt eine Reihe von Programmen für die Teilchenoptik in Beschleunigern und Speicherringen. Weil es aber unsportlich wäre, einfach ein fertiges Programm zu verwenden, wollen wir uns selber eines schreiben. Im ersten Schritt geht es darum, eine gegebene Magnetstruktur einzulesen, wobei folgendes Format vorgegeben wird:

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

Beschleuniger und Speicherringe sind oft aus mehreren identischen Magnetstrukturen aufgebaut, die man aber nur einmal eingeben muss. Die Variable  $N$  sagt, wie oft sie sich wiederholt und  $M$  ist der Magnettyp:

$M = 0$  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).

Der Parameter  $L$  ist die Länge des jeweiligen Elements in m und  $S$  sei ein Maß für die Stärke des Elements. Für Quadrupolmagnete ist dies die Quadrupolstärke  $k$ , für Driftstrecken wird  $S$  ignoriert, die Elemente  $M = 1, 2$ , und  $6$  werden später behandelt. Für  $k$  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 fangen Sie fehlerhafte Eingaben ab (z.B.  $M = 5$ ). Erzeugen Sie eine Datei für folgende Magnetstruktur, die sich  $N = 8$  mal wiederholt (sogenannte FODO-Struktur):

- ein halber horizontal fokussierender Quadrupol (halbe Länge 0,2 m,  $k = -1.20 \text{ m}^{-2}$ )
- Driftstrecke (Länge 1,00 m)
- ein vertikal fokussierender Quadrupol (Länge 0,4 m,  $k = +1.20 \text{ m}^{-2}$ )
- Driftstrecke (Länge 1,00 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 zunächst  $6 \times 6$ -Matrizen mit einer 1 in jedem Diagonalelement und überschreiben Sie anschließend die  $2 \times 2$ -Untermatrizen für die Bewegung in Driftstrecken und Quadrupolen (erste diagonale Untermatrix für die horizontale, zweite für die vertikale Bewegung). Erzeugen Sie für jedes Element eine Matrix, die einem Element gleicher Stärke mit  $1/10$  der Gesamtlänge entspricht.

c) Als nächstes sollen 1000 Teilchen mit normalverteilten 6-dimensionalen Positionsvektoren  $(x, x', y, y', 0, 0)$  am Anfang der Struktur loslaufen. Die vier Koordinaten sind nicht miteinander korreliert. Beginnen Sie einer Standardabweichung von 1 mm im Ort und 1 mrad im Winkel. 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.

d) Was ändert sich, wenn die Standardabweichung im Winkel nur 0.1 mrad oder 0.01 mrad beträgt?