

Ansprechpartner: Julian Gethmann (julian.gethmann@kit.edu, 0721 608-45067, Forum: SG7149)

Allgemeine Hinweise: Die Bearbeitung der semesterbegleitenden Fallstudie sollte in Kleingruppen von 3–5 Studierenden erfolgen, dient als Leistungsnachweis und ist daher erforderlich für den Übungsschein. Die Ergebnisse werden am Ende der Vorlesung im Rahmen eines kurzen Vortrags präsentiert. Ziel dieser Fallstudie ist es, die Inhalte der Vorlesung zu reflektieren, Zusammenhänge zu erkennen und auf einen gegebenen Fall anzuwenden. Neben dem Entwurf eines möglichst realistischen Teilchenbeschleunigers sollten bei der Präsentation besonders die Herleitungen und Begründungen der Designkriterien herausgearbeitet werden. Die Betreuer der Vorlesung stehen für Diskussionen zur Verfügung. Es wird ausdrücklich empfohlen davon Gebrauch zu machen. Die Entwicklung der Beschleunigerparameter wird ein iterativer Prozess sein. Die Spezifikationen müssen im Laufe der Case Study vermutlich angepasst werden, daher wird empfohlen die Rechnungen am Computer zu machen.

Physics case/FEL für molekulares Imaging

Ziel dieser semesterbegleitenden Aufgabe ist es einen Frei-Elektronen-Laser (FEL) mit kurzen Pulsen im Röntgenbereich zu designen und zu optimieren. Was genau ein FEL ist wird später in der Vorlesung behandelt.

Eine typische Anwendung für harte Röntgenstrahlung aus FELs ist Imaging von Molekülen. Hieraus ergeben sich die Anforderungen an unsere Maschine. Sie muss Synchrotronstrahlung im Bereich kleiner als die Atome, also $0,50 \text{ \AA}$, sein. Da die Moleküle nicht zerstört werden sollen, muss die Belichtungszeit mit $< 10 \text{ fs}$ recht kurz sein. Damit man Prozesse beobachten kann, muss die Repetitionsrate jedoch $\geq 100 \text{ Hz}$ sein.

Wie bereits in der Vorlesung besprochen ist die Strahlungsleistung auch eine wichtige Größe. Diese soll erst mal bei $30 \text{ GeV}/(10 \text{ fs})$ liegen.

Um Strom zu sparen und nicht so viel Platz zu verwenden, ist ein weiteres Optimierungsziel die Energieeffizienz und die Länge der Maschine.

Vorgehensweise

Da wir viele wichtige Teile des FEL noch nicht behandelt haben, werden einige Parameter gegeben und großteils nach und nach von Ihnen durch Bessere ersetzt.

Wir starten jedoch erst mit allgemeinen Abhängigkeiten und sehen dann, was sich ergibt, wenn wir konkrete Parameter einsetzen.

(SASE-)FEL-Übersicht

Ganz grob besteht ein FEL aus einer

Elektronenquelle

Wir starten mit der Elektronenquelle des European XFEL, durch PITZ entwickelt. ¹

Tabelle 1: **PITZ gun design** Design for a medium average current gun,¹

Single bunch charge	1	nC
Single bunch rep. rate	4,50	MHz
Length of bunch train	600	μs
Bunch train rep. rate	10	Hz
Total bunch charge per second	27	μC/s
Beam energy at exit	140	MeV
Normalized emittance	0,90	mm rad
RF frequency	1,30	GHz

Beschleunigungsstruktur

Passend zur Gun sollten wir eine L-Band-Struktur verwenden. Wir nehmen die Energie, die wir hier erzeugen können noch als variabel an.

Schikane

In der Regel werden Schikanen in FELs eingebaut.

Undulatoren

Die Undulatoren sind die zweite sehr wichtige Komponente und hier kennen wir uns bereits schon ein bisschen aus.

Da wir die Zusammenhänge zwischen Abgestrahltem Licht (Wellenlänge, Brillanz, Strahlungsleistung) und unseren Undulatoren bereits kennen, startet unser FEL-Design hier mit einem klassischen planaren Permanent-Magnet-Undulator. Zunächst sollten Sie die Abhängigkeiten sinnvoll implementieren/sich über diese klar werden, sodass Sie wenn die weiteren Bausteine genauer bekannt sind hier die Optimierung erfolgen kann.

Fokussierung/Optik

Im Gegensatz zu Speicherringen sind im FEL sehr viele Undulatoren hintereinander, sodass man auch fokussierende Elemente zwischen diese bauen muss, damit die Strahlqualität erhalten bleibt. Auch im Bezug auf die Strahloptik kennen wir bereits Alternierende-Gradienten-Optiken, mit denen wir unseren Strahl durch die Undulatoren leiten können.

Beamline

Die Beamline lassen wir hier außen vor, da sie ja bereits die Anforderungen an uns gestellt hat.

¹F. Stephan, M. Krasilnikov (2014) „High brightness photo injectors for brilliant light sources“. In: E. Jaeschke, S. Khan, J. Schneider, J. Hastings (ed) „Synchrotron Light Sources and Free-Electron Lasers“. Springer, Dordrecht