

Bachelor und Masterarbeiten in der Arbeitsgruppe Beschleunigerphysik

Abstract.

Wenn nichts anderes angegeben ist, sind die hier vorgestellten Arbeiten sowohl für Bachelor- als auch für Masterarbeiten geeignet.

Die AG Beschleunigerphysik arbeitet hauptsächlich am Aufbau des neuartigen supraleitenden energierückgewinnenden Beschleunigers MESA, sie hat aber Aktivitäten in anderen Bereichen wie z.B. der Medizinphysik oder Supraleitung. Im folgenden werden die Projekte der einzelnen Arbeitsbereiche nur kurz angerissen, bei Interesse und/oder Fragen können Sie sich gerne an die angegebenen Kontaktpersonen wenden.

E-Mail Adressen der einzelnen Betreuer:

Kurt Aulenbacher:	aulenbac@uni-mainz.de
Marco Dehn:	m.dehn@uni-mainz.de
Jürgen Diefenbach	diefenba@uni-mainz.de
Robert Heine	rheine@uni-mainz.de
Florian Hug	flohug@uni-mainz.de
Atoosa Meseck	atoosa.meseck@helmholtz-berlin.de

Arbeitsbereich Elektronenquelle und Strahlpolarimetrie

Kontakt: Kurt Aulenbacher e-mail: aulenbac@uni-mainz.de

1. Diagnosepulslaser für MESA

Um die optimale Justierung der ca. 200m langen Strahlführung von MESA zu finden, muss man den Elektronenstrahl pulsen. Dazu soll die Photoemissionsquelle von MESA mit Laserpulsen von einigen Nano-Sekunden Dauer beleuchtet werden, die im Justierbetrieb etwa 1000* pro Sekunde repetiert werden. Auf diese Weise kann man die mittlere Strahlleistung um das 100000-fache im Vergleich zum Experimentierbetrieb reduzieren, so dass Fehleinstellungen während der Optimierung die Beschleunigerkomponenten nicht zerstören können.

In der Bachelorarbeit wird eine vorhandene pulsare Laserdiode verwendet und zunächst hinsichtlich ihrer Pulslänge und der erreichbaren Spitzenleistung charakterisiert. Im Rahmen der Masterarbeit soll die Laserdiode an der Elektronenquelle von MESA montiert und in Betrieb gesetzt werden, d.h. es werden Elektronenpulse erzeugt, die mit nichtinvasiven Diagnosegeräten (z.B. Hohlraumresonatoren) aufgezeichnet werden. Die so erzeugten Daten werden herangezogen um den Beschleuniger manuell zu optimieren, idealerweise kann auf Basis der gewonnenen Daten ein Konzept für eine automatische Optimierung formuliert werden. Die spätere Ausführung solcher Massnahmen könnte Gegenstand einer Dissertationsarbeit sein.

2. Extraktionsstrahlführung zum Doppelt Streuenden Elektronenpolarimeter (DSP)

Das DSP ist ein Präzisionsgerät, das nicht direkt in die Strahlführung von MESA integriert wird. Daher muss eine möglichst platzsparende magnetische Auslenkung konstruiert werden. Der dazu gehörende Magnet wird in Rahmen der Bachelorarbeit (bzw. in der ersten Phase der Masterarbeit) mit einem Computersimulationsprogramm entworfen. Der weitere Verlauf der Masterarbeit beschäftigt sich mit dem Bau des Magneten und dem Aufbau der Strahlführung bis zum DSP. Messungen an der Extraktionsstrahlführung mit dem Ziel das schnelle Umschalten des Strahls vom MESA Betrieb zum DSP und wieder zurück nachzuweisen, könnten die Arbeit abschließen.

3. Auslegung des 5 MeV-Polarimeters an MAMBO

Der Vorbeschleuniger von MESA, der sog. MilliAmpere-BOoster(MAMBO) wird für das sog. P2-Experiment einen spinpolarisierten Elektronenstrahl vom 5MeV mit 750 Watt Leistung erzeugen. In der Bachelorphase soll mit Hilfe eines Computersimulationsprogramms (FLUKA) berechnet werden, ob das Streutarget direkt in die Strahlführung gefahren werden kann, ohne dass es zu übermäßiger Streustrahlungseinwirkung auf empfindliche Bauteile kommt. Dazu wird die Auswirkung eines sog. Strahlstoppers, der einige Meter hinter dem Target angebracht wird, simuliert. In der Masterarbeit soll die Streuapparatur konzipiert werden, wobei man sich am Vorbild des 3,5MeV Polarimeters an MAMI orientieren kann. Bei günstigem Projektfortschritt könnten erste Messungen mit dem 5MeV Polarimeter die Arbeit abschließen.

Arbeitsbereich Instrumentierung und Steuerung des MESA Beschleunigers

Kontakt: Marco Dehn , Jürgen Diefenbach, Robert Heine,

Konzeption und Bau kompakter Strahlmonitore für MESA

Um den zuverlässigen Betrieb eines Teilchenbeschleunigers zu gewährleisten sind genaue Informationen zur Position des Teilchenstrahls in den drei Ebenen des Beschleunigers unerlässlich. Hierzu werden verschiedene Arten von Strahlmonitoren verwendet. Im Rahmen einer Masterarbeit kann einer der folgenden Monitortypen entwickelt werden:

1. Fluoreszenz-Monitor

Bei kleinen Strahlintensitäten, wie sie z.B. bei der Inbetriebnahme des Beschleunigers, oder bestimmten Experimenten auftreten, werden Fluoreszenzmonitore verwendet, bei denen der Strahl auf eine mit nachleuchtendem Material (z.B. ZnS oder Chromoxid) beschichtete Platte geschossen wird und der entstehende Leuchtfleck mit einer Kamera aufgenommen wird. Hierbei wird der Teilchenstrahl zerstört, sodass die Platte bei Standardbetrieb aus dem Strahlweg gefahren werden muss.

Aufgaben Nach einer kurzen Einarbeitungszeit in die Thematik der Strahldiagnose, Vakuumtechnologie, Steuertechnik und mechanischer Konstruktion vergleichen Sie zunächst verschiedene Fluoreszenzmaterialien und wählen daraus ein geeignetes Material aus. Sie entwickeln einen ultra-hochvakuumtauglichen Bewegungsmechanismus für die Monitorplatte und begleiten den Bau der Einzelteile in den Werkstätten der Kernphysik oder der Industrie. Zum Abschluss der Arbeit testen Sie einen endmontierten Prototyp an MAMI. Sie werden bei der Umsetzung von unseren wissenschaftlichen und technischen Mitarbeiter/innen unterstützt.

2. Elektromagnetischer Strahllagemonitor

Während des Strahlbetriebs ist eine zerstörungsfreie Messung der Strahllage nötig, um den Teilchenstrahl optimal in der Vakuumkammer zu platzieren. Diese Messung findet auf elektrischem Weg, z.B. in TM011 Hohlraumresonatoren, statt. Der Teilchenstrahl regt beim Durchqueren des Resonators die beiden Polarisations Ebenen des Modes an. Mittels Antennen werden die elektromagnetischen Felder aufgenommen und in einer Elektronik zu einer Strahlposition verarbeitet. Aufgaben Nach einer kurzen Einarbeitungszeit in die Thematik der Strahldiagnose, Hochfrequenztechnik, Vakuumtechnik und mechanische Konstruktion entwerfen Sie mit Hilfe von Simulationsprogrammen einen Strahllagemonitor zur Messung der horizontalen und vertikalen Strahllage. Sie begleiten den Bau eines Prototyps in den Werkstätten der Kernphysik oder der Industrie. Zum Abschluss der Arbeit testen Sie die Funktionstüchtigkeit des Monitors in einem Experiment. Sie werden bei der Umsetzung von unseren wissenschaftlichen und technischen Mitarbeiter/innen unterstützt.

3. Elektromagnetischer Phasen- und Intensitätsmonitor

Zur optimalen Teilchenbeschleunigung muss die zeitliche Position der Teilchenpakete im Bezug zur Beschleunigungsspannung genau bekannt sein. Beim Durchflug durch einen auf den TM010 Mode abgestimmten Hohlraumresonator regt das Teilchenpaket ein elektromagnetisches Feld an, dessen Phase die Information über die benötigte zeitliche Position trägt, die Amplitude ist dabei proportional zur Anzahl der Teilchen im Paket (Intensität). Das EM-Feld wird mittels Antennen aus dem Resonator ausgekoppelt und dient dann als Referenz zur Einstellung der Phase der Beschleunigungsspannung z.B. im Injektorlinac MAMBO. Damit die Nettoanregung des Feldes durch den Strahl optimal ist, muss die Länge des Monitors an die mittlere Geschwindigkeit der Teilchen angepasst sein. Für MAMBO werden z.B. fünf solcher Monitore mit verschiedenen Längen für die Geschwindigkeitsstufen zwischen den Beschleunigungssektionen benötigt. Aufgaben Nach einer kurzen Einarbeitungszeit in die Thematik der Strahldiagnose, Hochfrequenztechnik, Vakuumtechnik und mechanische Konstruktion entwerfen Sie mit Hilfe von Simulationsprogrammen ein Konzept der Phasen- und Intensitätsmonitore. Sie begleiten den Bau eines Prototyps in den Werkstätten der Kernphysik oder der Industrie. Zum Abschluss der Arbeit überprüfen Sie die Funktionstüchtigkeit dieses Monitors durch experimentelle Messungen. Sie werden bei der Umsetzung von unseren wissenschaftlichen und technischen Mitarbeiter/innen unterstützt.

Ihr Profil:

- Bachelor of Science, Fachrichtung Physik
- Gute Kenntnisse in Elektrodynamik
- Grundkenntnisse in Beschleunigerphysik sind von Vorteil
- Fähigkeit zu selbständigem Arbeiten

- gute Deutschkenntnisse oder gute Englischkenntnisse
 - Internationale Studierende sind willkommen
4. **helizitätskorrelierte Strahlverluste mit den Faserdetektoren/FPGA auf Basis von Red Piranha boards**
Marco/Jürgen schreiben noch ein paar Zeilen. (*Kombiniert aus Vorschlägen von Marco und Jürgen*)
 5. **Halbleiter-Strahlverlustmonitore (Dioden) um ein Strahlrohr angeordnet** Marco schreibt noch etwas
 6. **Strahl diagnose bei 3.5MeV für das Mikroflash Strahlentherapieprojekt** dto.
 7. **Auslegung des 5 MeV-MESA-Beam dumps (thermisch und abschirmtechnisch)** Jürgen schreibt noch ein paar Zeilen.
 8. **Strahlstromstabilisierung für MESA mit optischem Modulator** dto.
 9. **Vorwärtsregelung für gepulsten Strahlbetrieb an MAMI** dto.

Arbeitsbereich Supraleitende Hochfrequenzsysteme (SRF)

Kontakt: Florian Hug

1. Vermessung der Mikrophoniespektren der MESA Module bei 2K (BSc)

Supraleitende Beschleunigerresonatoren zeichnen sich durch eine Hohe Güte und somit durch eine sehr geringe Bandbreite ihrer Resonanz aus. Aus diesem Grund sind die Resonatoren sehr empfindlich gegenüber mechanischen Verformungen, da z.B. kleinste Längenänderungen der Kavitäten von wenigen μm die Resonanz um mehr als die Bandbreite verstimmen können. Solche Verformungen können zum Teil auf mechanische Vibrationen zurückgeführt werden, die sich von außen auf das Kryomodul, in dem die Resonatoren eingebaut sind, übertragen (sog. Mikrophonien). Ziel dieser Arbeit ist es, die Mikrophonien der MESA Module im supraleitenden Zustand zu vermessen und evtl auftretende Störungsquellen zu finden und wenn möglich zu eliminieren.

2. Gütemessung am ALICE Modul vor der Wiederaufarbeitung (MSc bzw. mehrere BSc)

Im Rahmen von PRISMA+ soll unter anderem untersucht werden, ob sich die MESA Kryomodule hinsichtlich Güte und Maximalfeld noch optimieren lassen. Momentan steht der Arbeitsgruppe ein Ersatzmodul zur Verfügung, das von ähnlicher Bauweise wie das MESA Modul ist und in der Vergangenheit an einem anderen ERL (ALICE in Daresbury, UK) war. Vor dem Beginn der Forschungsarbeiten zur Güte- und Feldverbesserung muss dieses Modul zunächst an die Begebenheiten des HIM Teststands angepasst werden, um seine Supraleitungseigenschaften im momentanen Zustand vermessen zu können. Hierfür müssen Vakuum- und Kryosysteme angepasst werden sowie eine Messkampagne mit Hochfrequenztests geplant und durchgeführt werden. Die verschiedenen Arbeitspakete können wahlweise in einer Masterarbeit bearbeitet werden oder lassen sich auch auf mehrere Bachelorarbeiten aufteilen.

3. Entwicklung einer Kryoinfrastruktur für den HIM Testbunker (MSc)

Im HIM Testbunker können Hochleistungs-HF-Tests an supraleitenden Resonatoren durchgeführt werden. Nach einer mehrjährigen Experimentierphase an den supraleitenden und normalleitenden MESA Kavitäten startete in diesem Jahr die erste Messkampagne an supraleitenden CH-Kavitäten eines zukünftigen Ionen-Linacs an der GSI. Der Einsatz unterschiedlicher Kryomodule bringt dabei Herausforderungen mit sich, da sich die benötigten Anschlüsse für die Stickstoff- und Heliumversorgung von Modul zu Modul unterscheiden. Ziel dieser Arbeit ist es, eine Kryoinfrastruktur zu planen und ggf. aufzubauen, die zukünftig optimale Einsatzbedingungen für unterschiedliche Module ermöglicht.

4. Entwicklung und Test eines Piezo-Tuners für das ALICE Modul (MSc)

Das ALICE Beschleunigermodul (s.o.) soll zukünftig zunächst für die Erforschung verbesserter Supraleitungseigenschaften genutzt werden. Langfristig ist zudem ein Einsatz dieses Moduls als Ersatzmodul für MESA vorgesehen, um die Verfügbarkeit des MESA Beschleunigers bei Wartung eines der nominellen Module aufrechtzuerhalten. Bislang verfügt das ALICE Modul jedoch noch nicht über eine schnelle Eigenfrequenzregelung mit Piezo-Aktoren wie das MESA Modul. Eine solche Regelung ist aber notwendig, um Mikrophonien (s.o.) auszugleichen. Ziele dieser Arbeit sind daher Entwicklung und Test eines geeigneten Piezo-Tunersystems für das ALICE Modul.

Entwicklung einer Dummy-Kavität für die Hochdruckspüle (auch schon von Robert genannt, hier noch eine Beschreibung) (BSc)

Supraleitende Resonatoren müssen im Rahmen ihrer Wartung mit Reinstwasser unter Hochdruck gespült werden (sog. HPR) um Verunreinigungen mit kleinsten Partikeln zu entfernen. Eine solche Spülanlage steht im Reinraum des HIM zur Verfügung. Vor dem Spülen wertvoller Beschleunigerresonatoren muss die Anlage mit einem mechanischem Dummy aus Plexiglas getestet werden, dessen Geometrie der tatsächlichen Kavität nachempfunden ist. Hierbei kann man sicherstellen, dass evtl. auftretende Vibrationen der Lanze beim Betrieb mit 200 bar die Kavität nicht beschädigen. Es besteht auch die Möglichkeit, den Druck an die Geometrie (bzw. den sich verändernden Durchmesser) der Kavität anzupassen um den Prozess zu optimieren. Ziel dieser Arbeit ist der Aufbau eines solchen Dummy Resonators und sein Einsatz an der HIM HPR. Arbeitsbereich Strahldynamik:

Arbeitsbereich Strahldynamik von MESA

Kontakt: Robert Heine, Florian Hug

1. Magnetdesign für die MESA Rezipulatoren und Spreader (MSc oder BSc Subprojekte)

Die Strahl-optische Auslegung des MESA Beschleunigers ist im Wesentlichen abgeschlossen. Die durchgeführten Simulationsrechnungen geben dabei die gewünschten magnetischen Eigenschaften der verwendeten Dipol- und Quadrupolmagnete vor. Der nächste Arbeitsschritt ist nun, Magnete mit diesen Eigenschaften auszulegen und zu konstruieren. Hierfür sind Simulationsrechnungen sowie die Entwicklung von mechanischen Modellen für Eisenjoch und Spulen notwendig. Je nach Umfang der Arbeit und dem Zeitplan (BSc oder MSc) sollen diese Magnete dann später auch am Magnetteststand des Instituts vermessen werden.

2. Phasenraumoptimierung mit Sextupolmagneten (MSc)

Bei MESA soll ein sog. nicht-isochrones Rezipulationsschema zum Einsatz kommen, das durch gezielte Manipulationen des longitudinalen Phasenraums eine sehr hohe Strahlstabilität und gleichzeitig eine niedrige Energiebreite des Elektronenstrahls ermöglicht. Beides ist von großer Bedeutung für die geplanten Hochpräzisionsexperimente im Rahmen des PRISMA+ Clusters. Eine Grenze dieses Rezipulationsschemas tritt aber bei zu großen Bunchlängen (Länge der einzelnen Teilchenpakete) des injizierten Elektronenstrahls auf, da dann der nichtlineare Verlauf der beschleunigenden Kosinuswelle zum Tragen kommt. Solch lange Bunche können insbesondere bei hohen Strahlströmen im MESA ERL Betrieb auftreten, da hier die Bunche durch Raumladung im Injektorbereich nicht beliebig verkürzt werden können. Es besteht aber die Möglichkeit durch den Einsatz von Sextupolmagneten den Phasenraum zu linearisieren und damit die Akzeptanz für große Bunchlängen zu erhöhen. Im Rahmen dieses Projekts soll solch ein Konzept für MESA mittels Simulationsrechnungen untersucht werden.

3. Entwicklung von Sextupolmagneten für MESA (BSc, nach Abschluss obigen Projekts)

Im Anschluss an Projekt 3 (Phasenraumoptimierung mit Sextupolmagneten) sollen in diesem Projekt die benötigten Sextupolmagnete ausgelegt, gebaut und vermessen werden.

4. Untersuchung der benötigten Justiergenauigkeit für die MESA Magnete (MSc)

Die Strahl-optische Auslegung von MESA geht zunächst (in erster Näherung) von perfekt positionierten Magneten aus. In der Realität lassen sich die einzelnen Bauteile eines Beschleunigers jedoch nie perfekt zueinander ausrichten. Im Rahmen dieser Arbeit soll daher mit Simulationsrechnungen der Einfluss von fehlpositionierten Bauteilen auf die Strahlqualität von MESA untersucht werden. In einem nächsten Schritt kann dann die notwendige Justiergenauigkeit der einzelnen Magnete (lokal und global) abgeleitet werden, die beim späteren Aufbau von MESA erreicht werden muss.

5. Frequenzregelung der normalleitenden Hochfrequenzresonatoren von MESA mittels der digitalen LLRF

Beim Betrieb der normalleitenden Hohlraumresonatoren für den MESA Vorbeschleuniger MAMBO sind eine Amplituden- und Phasenreglung, sowie eine Frequenzregelung erforderlich, um ein stabiles elektrisches Feld zur Teilchenbeschleunigung zu gewährleisten. Die Frequenzregelung muss dabei die Resonanzfrequenz des Resonators über geeignete Positionierung eines Tauchkolbens an die vorgegebene Hochfrequenz anpassen. Dazu wird ein digitales Hochfrequenzregelungssystem (LLRF) verwendet, das aus den vorliegenden Messdaten aus dem Resonator und dem Hochfrequenzsystem die Sollposition des Kolbens bestimmt und diesen ansteuert. Die Hardware ist ein am DESY entwickeltes MicroTCA 4 basiertes LLRF System mit einem XILINX FPGA und den nötigen Peripheriekarten. Als Kontrollsystem wird EPICS (Experimental Physics and Industrial Control System) verwendet. Aufgaben Nach einer kurzen Einarbeitungszeit in das Kontrollsystem und die LLRF, sowie in Konzepte der Regelung- und Hochfrequenztechnik entwickeln Sie selbstständig die Software einer Frequenzregelung und testen diese an einem HF-Resonatorprototyp. Sie werden bei der Umsetzung von unseren wissenschaftlichen und technischen Mitarbeiter/innen unterstützt. Ihr Profil:

- Bachelor of Science, Fachrichtung Physik oder Softwareentwicklung
- Sehr gute Programmierkenntnisse in C/C++, Python oder Matlab
- Grundkenntnisse in Beschleunigerphysik oder Elektrodynamik sind von Vorteil
- Fähigkeit zu selbständigem Arbeiten
- gute Deutschkenntnisse oder gute Englischkenntnisse
- Internationale Studierende sind willkommen

6. Konzeption und Bau von Doppelsolenoiden für den Injektorlinac von MESA

Auf Grund der Abstoßung gleichartiger Ladungen muss der Elektronenstrahl in einem Beschleuniger durch regelmäßig angeordnete Fokussierelemente zusammengehalten werden. Bei niedrigen Teilchenenergien werden dazu Solenoidspulen verwendet. Auf Grund ihrer Feldcharakteristik sorgen sie aber bei den bei MESA verwendeten polarisierten Strahlen zu einer Änderung der Polarisationsrichtung. Dieser Effekt kann durch hintereinanderschalten zweier gegenläufig gewickelter Solenoide kompensiert werden. Aufgaben Nach einer kurzen Einarbeitungszeit in Magnettechnologie und die Simulations- und Konstruktionsprogramme dimensionieren und konstruieren Sie einen für Strahlen bis 5 MeV geeigneten Solenoid. Sie begleiten den Bau eines Prototyps in den Werkstätten der Kernphysik oder der Industrie. Zum Abschluss der Arbeit verifizieren Sie die Funktionstüchtigkeit des Solenoids durch eine Messung. Sie werden bei der Umsetzung von unseren wissenschaftlichen und technischen Mitarbeiter/innen unterstützt. Ihr Profil:

- Bachelor of Science, Fachrichtung Physik
- Gute Kenntnisse in Elektrodynamik
- Grundkenntnisse in Beschleunigerphysik sind von Vorteil
- Fähigkeit zu selbständigem Arbeiten
- gute Deutschkenntnisse oder gute Englischkenntnisse
- Internationale Studierende sind willkommen

Arbeitsbereich Strahlungserzeugung an MESA

Kontakt: Atoosa Meseck

1. Blindtext

Arbeitsbereich Anwendungen von Beschleunigern

Kontakt: Kurt Aulenbacher aulenbac@uni-mainz.de

1. Transportsystem für langsame Positronen - der Positronenschlauch

Der MAMI-Beschleuniger kann benutzt werden, um eine intensive Quelle für langsame Positronen bereitzustellen. Die im Bereich der Quelle herrschenden Strahlenfelder erfordern es aber, die Positronen durch die Abschirmung hindurch zu transportieren. Mit einer langen Solenoid-Spule ("Positronen-Schlauch") können die Positronen über große Distanzen von der Quelle weg geführt werden, wo sie z.B. für die Materialforschung ein nützliches Hilfsmittel wären. In der Bachelorarbeit soll dieser Transport zunächst mit Elektronen (die in großer Zahl erzeugt werden können und die keine strahlentechnischen Probleme verursachen) demonstriert werden. Im weiteren Verlauf, d.h. in der Masterarbeit, wird eine schwache Positronenquelle eingesetzt und ein Detektionssystem für die Positronen am Ende des Solenoiden aufgebaut, mit dem Ziel den Transport der Positronen (auch auf gekrümmten Wegen) nachzuweisen. Der weitere Ausbau zu einer funktionsfähigen intensiven Quelle an MAMI könnte eine Dissertationsarbeit sein.

2. Qualitätssicherung für die Mikrostrahl-Strahlentherapie

Die Mikrostrahl-Strahlentherapie benutzt Röntgen-Strahlenfelder in Linienform, von denen vermutet wird, dass sie erhebliche Vorteile bei der Tumorthherapie bieten. Dazu ist es notwendig in der Röntgenröhre einen entsprechend strichartigen Fokus des extrem intensiven Elektronenstrahls auf der Anode mit wenigen Mikrometern Genauigkeit zu kontrollieren. Der Strahl darf nur für wenige Millisekunden mit dem Detektionsmaterial wechselwirken. Dazu wollen wir in der Bachelorarbeit eine vorhandene Apparatur benutzen, in der ein schnell gepulster Magnet den Strahl über einen dünnen Draht verschiebt und mit einem Röntgendetektor das entstehende Röntgensignal aufzeichnen. Dann kann aus dem zeitlichen Verlauf des Röntgenblitzes auf die Breite des Strahls geschlossen werden. Im Rahmen der Masterarbeit werden zunächst Computersimulationen durchgeführt, die z.B. die Auswirkung der Erhitzung des Detektionsmaterials und der Entstehung von Ionen aus dem Target bewerten sollen, bevor man in den Experimenten zu immer höheren Strahlleistungen übergeht mit dem letztlichen Ziel die benötigte Leistungsdichte der Therapieröhre zu erreichen.