

Kompression, Kontrolle und Formung relativistischer fs-Elektronenverteilungen am FLUTE durch Laser-basierte Photoinjektion

Antrag auf ein Doktoranden-Stipendium bei der Carl-Zeiss-Stiftung

1 Vorname und Name; Fachbereich/Institution, Hochschule

Name: Sophie Walther

Fachbereich: Physik

Hochschule: Karlsruhe Institut für Technologie (KIT), Laboratorium für Applikationen der Synchrotronstrahlung

2 Thema des Forschungsvorhabens

Die Themen der zur Förderung vorgeschlagenen Doktorarbeit sind: Beschleunigerphysik, Laserphysik ultra-kurzer Pulse, Pulsformung und Photoinjektoren.

3 Zusammenfassung

Es sollen die Teilchen-Dynamik kurzer Elektronenpakete, durch Formung der Laserpulse an der Photokathode untersucht und verschiedene Verfahren für die Messung der Elektronenverteilungen getestet und eingesetzt werden. Dafür sollen am Linearbeschleuniger FLUTE (Ferninfrarot Linac und Test Experiment) die Elektronenpakete, die an der Photokathode erzeugt werden, mithilfe eines optischen Systems speziell geformt werden. **Der Aufbau soll die Untersuchung verschiedener Laserpulsprofile und deren Einfluss auf die Elektronenpakete ermöglichen,** welche möglichst kurz werden sollen, da ein Ziel des neuen Beschleunigers FLUTE die Untersuchung ultra-kurzer Elektronenpakete und die Erzeugung kohärenter THz-Strahlung ist. Die resultierenden Elektronenverteilungen sollen unter anderem mit einem Split-Ring-Resonator (SRR) und elektro-optischen (EO) Bunchlängenmessungen untersucht werden. Die SRR-Messungen finden in Zusammenarbeit mit den Partnern vom Paul Scherrer Institut und der Universität Bern statt. In Kooperation mit dem Institut für Prozessdatenverarbeitung und Elektronik (IPE, KIT) wurden erfolgreich schnelle Zeilendetektoren, mit mehreren hundert kHz Aufnahme und Auslesegeschwindigkeit, unter anderem für EO-Messungen am ANKA Speicherring entwickelt. Aufgrund der höheren Wiederholfrequenz der Elektronenpakete am Speicherring sind außerdem Tests und Messungen mit den neuen Detektoren am Speicherring und anschließend auch für die ultra-kurzen Elektronenverteilungen bei FLUTE geplant.

4 Stand der Forschung

4.1 THz Strahlung und Erzeugung

Terahertzstrahlung (THz) ist elektromagnetische Strahlung in einem Frequenzbereich zwischen 0.1 THz und 10 THz. Dieser liegt zwischen infraroter Strahlung und Mikrowellen. Zurzeit findet die THz-Strahlung weite Anwendungsbereiche, z.B. im Bereich der Materialforschung, der Untersuchung von Vorgängen in Molekülen oder der Medizintechnik. Der Energiebereich liegt zwischen 0.4 bis 40 meV, dies entspricht z.B. der Energie von Phononenbändern. Außerdem sind viele Materialien, die für sichtbares Licht undurchlässig sind, für THz-Strahlung durchlässig, daher eignet sie sich auch zur zerstörungsfreien Werkstoffprüfung. Seit einigen Jahren gibt es vermehrt kommerziell erhältliche THz-Quellen, z.B. THz-Gaslasers, Frequenzmischung in Halbleitern oder durch Laser-gepumpte nichtlineare Kristalle (elektro-optische Konversion in nichtlinearen Materialien). Viele dieser Quellen bieten aber nur einen eingeschränkten Frequenzbereich oder geringe Intensitäten.

Viele Beschleuniger bieten daher seit einiger Zeit speziell die Erzeugung von THz-Strahlung an, da hier höhere Intensitäten und ein breiteres Spektrum erreicht werden kann. Die an Beschleunigern erzeugte Strahlung kann zwischen harten Röntgenstrahlen und fernem Infrarot liegen und ist abhängig von der Energie und der Art der Erzeugung der Strahlung. Die Erzeugung von THz-Strahlung ist sowohl an Ringbeschleunigern, wie der Synchrotronstrahlungsquelle ANKA mit ihrem Kurzbunchbetrieb [1], als auch an Linearbeschleunigern [2] möglich, wobei Linearbeschleuniger den Vorteil haben, dass die dort erzeugten Elektronenverteilungen deutlich kürzer sein können, was zu einer verstärkten Erzeugung von intensiver kohärenter Strahlung führt. Da die kohärente Strahlung mit dem Quadrat der Teilchen in einem Paket zunimmt und nicht wie der inkohärente Anteil nur linear mit der Teilchenanzahl, sind hier höhere Intensitäten der Strahlung zu erwarten. Dies ist einer der Gründe, der die Erzeugung von THz-Strahlung attraktiv macht.

4.2 Linearbeschleuniger und Photoinjektoren

Der sich zur Zeit im Aufbau befindende Beschleuniger FLUTE [3] (Ferninfrarot Linac und Test Experiment) ist eine Kooperation zwischen dem Paul Scherrer Institut (PSI), dem Deutschen Elektronensynchrotron (DESY) und dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT). FLUTE ist ein neuer Linearbeschleuniger zur Erzeugung von THz-Strahlung und dient vor allem der Untersuchung kurzer Elektronenpakete (engl.: *bunch*) und verschiedener Mechanismen zur Erzeugung kohärenter THz-Strahlung. Ähnliche Vorhaben wurden bzw. werden in Korea am PAL [4] (Pulslänge der Elektronenverteilungen 50 - 100 fs) oder in Dresden bei TELBE (Pulslänge ~200 fs)[2] umgesetzt. Die dort erreichbaren minimalen Längen der Elektronenverteilungen liegen jedoch deutlich über der bei FLUTE zu erwartenden minimalen Länge (Pulslänge 1 fs bis 1 ps) [5]. Die an FLUTE zu erwartenden Spektren und elektrischen Felder wurden in [6] berechnet. Ein Ziel von FLUTE ist das Erreichen hoher elektrischer Felder und die Untersuchung der verschiedenen Erzeugungsmethoden für kohärente Synchrotronstrahlung.

Für den Betrieb der aktuellen und geplanten neuen Linearbeschleuniger und Freielektronen-Laser (FEL) [2] werden Laser-basierte Hochfrequenz-(HF)-Photoinjektoren und Laserpulsformung benötigt, wie sie auch am FLUTE zum Einsatz kommen sollen, um Elektronenbunche mit geringer Emittanz (siehe 4.3) und geeigneter Verteilung zur Kompression der Bunche zu erzeugen.

4.3 Laserpulsprofile und Emittanz

Der Laserpuls soll longitudinal und transversal die optimalen Bedingungen für die Elektronenverteilung liefern. Dabei wird die Elektronenverteilung von der Emittanz bestimmt. Die Emittanz ε ist die Fläche, die der Elektronenstahl im Phasenraum einnimmt. Der Phasenraum wird dabei vom Winkel bzw. der Divergenz des Strahls und der transversalen Position aufgespannt. Man möchte die transversale Emittanz möglichst klein halten. Die kleinstmögliche normierte Emittanz ist dabei durch die thermische Emittanz des Strahls bei der Entstehung an der Kathode gegeben:

$$\varepsilon_{n,th} = \gamma r_c \left(\frac{kT_e}{m_0 c^2} \right)^{1/2}, \quad (1)$$

wobei r_c der Radius der Laserpulse auf der Kathode ist und $\gamma = E_e/m_0 c^2$ der relativistische Faktor mit der kinetischen Energie E_e , T_e ist die effektive Temperatur der emittierten Photoelektronen, k ist die Boltzmann-Konstante, c ist die Lichtgeschwindigkeit und m_0 die Ruhemasse der Elektronen. Diese minimale Emittanz wird bei realen Systemen nicht erreicht, da hier Raumladungseffekte und das elektrische Feld der HF-Kavität eine Rolle spielen. Trotzdem spielen der Radius des Laserpuls und die Beschleunigung der Teilchen eine entscheidende Rolle für die Elektronenverteilung.

Transversal und longitudinal wird die Flat-Top Form als geeignetste Verteilung angenommen, d.h. eine konstante Intensität über den Strahlquerschnitt. Für diese Form geht allerdings viel Laserleistung verloren, was vor allem bei Kupferkathoden durch deren geringe Quanteneffizienz von Nachteil sein kann. Untersuchungen mit verlustärmeren Laserprofilen Elektronenpakete mit guten Eigenschaften zu erzeugen sind daher notwendig [7]. Zeitlich sind flache kurze und lange Pulse möglich oder zeitlich veränderliche Strukturen wie ansteigende Rampen [8] Dabei gibt es verschiedene Möglichkeiten diese Pulsformen zu erzeugen [9, 10].

In der zur Förderung vorgeschlagenen Arbeit möchte ich durch Beeinflussen der Laserpulse die Elektronenverteilungen so verändern, dass sie die gewünschte Form erhalten. Dies möchte ich erreichen, indem ein spezieller optischer Aufbau mit einem Pulsformer aufgebaut und die Auswirkungen auf die Elektronenverteilung im Beschleuniger gemessen wird. Diese kann mit Hilfe der emittierten THz-Strahlung oder durch elektrooptische longitudinale Bunchlängenmessung bestimmt werden. Zu testende Pulsformen sind dabei zum Beispiel Flat-Top-Pulse, abgeflachte Gaußverteilungen und ansteigende Rampen [8, 11, 12]. Hier liegt eine der Herausforderungen darin, das die Intensitätsschwankungen der Pulse nicht zu groß werden dürfen, um ein einheitliches Profil zu erhalten. Außerdem ist es möglich, nicht nur einzelne kurze Pulse zu erzeugen, sondern einen Zug aus Mikropulsen, die zu einem Makropuls kombiniert werden [13].

4.4 Elektro-optische Messungen

Elektro-optische Bunchlängenmessung ist eine indirekte Methode die longitudinale Länge der Elektronenbunche zu bestimmen. Dabei wird das elektrische Feld des Elektronenbunches gemessen, das Informationen über die Bunchlänge liefert. Durch Lorentzkontraktion bilden relativistische Bunche die zeitliche Struktur des elektrischen Feldes der Elektronenverteilung ab. Mit einem doppelbrechenden Kristall, bei dem ein elektrisches Feld den Brechungsindex des Materials ändert, kann ein Laserpuls, der zeitgleich mit dem elektrischen Feld den Kristall passiert, verändert werden. Die Änderungen des Laserpulses geben Aufschluss über das elektrische Feld und damit über

die Elektronenverteilung. Mit dieser Technik konnten am ANKA Speicherring, zum ersten Mal bei einem Ringbeschleuniger, dynamische Substrukturen komprimierter Bunche gemessen werden [14]. Außerdem konnten an ANKA zum ersten Mal Nahfeld-Messungen einzelner Bunche durchgeführt werden [15].

4.5 Split-Ring Resonatoren

Ein an FLUTE geplante Messmethode für kurze Elektronenbunche ist eine auf einem Split-Ring Resonator beruhende THz-Streak-Kamera (Schmierbild-Kamera) [16]. Eine Streak-Kamera lenkt Elektronen mit einem zeitlich variierenden Feld ab und projiziert somit die zeitliche Bunchlänge auf eine räumliche Verteilung. Dies ist für die sehr kurzen Messzeiten im ps-Bereich notwendig, da andernfalls mit direkter zeitlicher Messung die Strukturen nicht aufgelöst werden können (1 ps entspricht 10^{-12} s).

Mit einem starken Laserpuls wird in einem nichtlinearen Kristall durch optische Rektifikation ein THz-Puls erzeugt. Dieser trifft auf den Split-Ring Resonator, der als resonante Antenne dient und ein verstärktes, sich änderndes Feld erzeugt. Die Erzeugung von THz-Feldern in Split-Ring Resonatoren beruht darauf, dass ein einfallendes THz-Signal im Spalt zwischen den Enden um ein Vielfaches verstärkt wird und damit sehr hohe Feldstärken möglich sind [17]. Der lineare Teil des zeitlich veränderlichen THz-Feldes wird wiederum genutzt, um den Elektronenbunch abzulenken und damit die Bunchlänge durch transversale Projektion der Verteilung zu bestimmen.

5 Eigene Vorarbeiten

Die Arbeiten für den FLUTE Beschleuniger haben 2012 begonnen und zurzeit befindet sich FLUTE in der ersten Phase. Dies umfasst den Aufbau und die Inbetriebnahme der Elektronenquelle und der HF-Beschleunigungsstruktur [5]. Der erste Betrieb soll bei mittleren Bunchladungen erfolgen. In den anschließenden Phasen wird die systematische Kompression der Bunche durch eine magnetische Schikane getestet, sowohl bei niedrigen (1 pC) und bis zu einige tausendfach höheren Bunchladungen (3 nC). Als Beschleuniger für die Forschung und Entwicklung ist FLUTE so konzipiert, dass viele Parameter einstellbar sind, um damit sehr kurze Elektronenbunche erzeugen zu können, im Bereich einiger bis wenige hundert Femtosekunden (1 fs entspricht 1/1000 einer Pikosekunde). Daher wird auch ein variables System zur Erzeugung der Elektronenpakete benötigt.

Bereits im Rahmen meiner Masterarbeit [18] in der Arbeitsgruppe von Frau Prof. Müller am KIT im Bereich Beschleunigerphysik habe ich mit dem Lasersystem von FLUTE gearbeitet. Durch die Beteiligung an der Inbetriebnahme und erste Testaufbauten für den Laserstrahltransport und die Diagnostik habe ich Erfahrungen über das Lasersystem und Laserphysik gewonnen, die eine gute Basis für die weiteren Arbeiten liefert.

Außerdem konnte ich durch Mithilfe an elektro-optischen Bunchlängenmessungen am ANKA Speicherring Erfahrungen mit Teilchendynamik im Beschleuniger sammeln [19]. Hier habe ich Charakterisierungsmessungen für die neuen schnellen Silizium- und In-GaAs Arrays mit 900 kHz Repetitionsrate durchgeführt und während der Messzeiten am Beschleuniger ANKA mit dem elektro-optischen System gemessen.

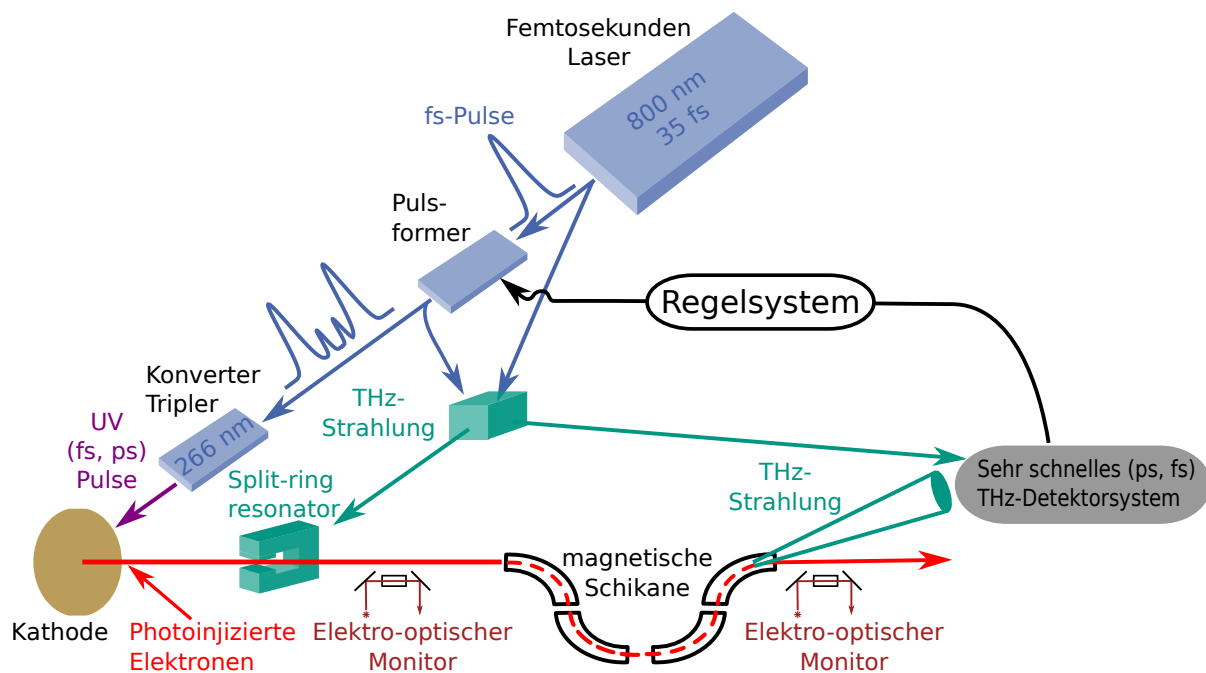


Abbildung 1: Konzept des experimentellen Aufbaus. Mithilfe des Femtosekunden-Lasers werden UV Pulse erzeugt, durch die an der Kathode Elektronenpakete entstehen, deren Form und Verteilung von den Laserpulsen bestimmt ist. Alternativ können mit einem nichtlinearen Kristall THz-Pulse erzeugt werden, die für Bunchlängenmessungen oder Tests der THz-Detektoren verwendet werden können. In der Magnet-Schikane erzeugte THz-Strahlung wird detektiert und liefert Aufschluss über die Verteilung der Elektronen. Außerdem sind elektro-optische Messungen der Bunchlänge für verschiedene Positionen im Beschleuniger vorgesehen.

6 Ziele des Forschungsvorhabens

- Grundlegende Untersuchungen zu Teilchenstrahl-Dynamik durch Manipulation relativistischer Elektronenverteilungen.
- Entwicklung eines Messsystems zur Untersuchung des Einflusses der Intensität, Länge und Form von Laserstrahlung auf die resultierende Elektronenverteilung. Kompression der Elektronenverteilung durch Manipulation der Photoinjektion zur Erzeugung minimaler Elektronenbunchlängen im fs-Bereich.
- Messung der Elektronenverteilung mit schnellen Detektoren für elektro-optische Bunchlängenmessung an Speicherringen und Linearbeschleunigern, um ultra-kurze Bunche und Substrukturen der Bunche aufnehmen zu können.
- Kontrolle und Formung des Elektronenstrahls durch ein Regelsystem zur automatisierten Anpassung der Betriebsparameters des Lasers. Ziel ist die stabile Erzeugung der fs-Bunche, deren Eigenschaften anschließend untersucht werden.
- Aufbau eines optischen Systems für THz-Streak-Kamera Messungen der Elektronenbunchlänge.

7 Arbeitsprogramm

Im Anschluss an meine Masterarbeit, die ich im Januar 2016 beende, möchte ich meine zur Förderung vorgeschlagene Doktorarbeit der Untersuchung des Einflusses des Laser-basierten Photoinjektors auf die Elektronen-Dynamik am FLUTE widmen. Dies umfasst die Planung und den Aufbau einer experimentellen Anordnung mit anschließenden Messungen und Optimierungen. Gleichzeitig soll die Software für ein Regelsystem entwickelt werden. Außerdem soll mit Hilfe des optischen Laseraufbaus auch ein THz-Streak-Kamera Experiment mit Hilfe eines Split-Ring Resonators durchgeführt werden und elektro-optische Bunchlängenmessungen mit schnellen Detektoren an ANKA und an FLUTE. Eine Übersicht über den prinzipiellen Aufbau ist in Abbildung 1 gezeigt und eine Übersicht über den zeitlichen Ablauf der Arbeit gibt der Arbeitsplan (Abb. 2).

Auslegung und Aufbau des optischen Systems

Die Auslegung des Aufbaus soll das Formen verschiedener Pulsformen zulassen, wie z.B. Flat-Top-Pulse und abgeflachte Gaußverteilungen. Dazu müssen mehrere Pulse kombiniert werden oder durch geeignete Aperturen die Form geändert werden können. Die Komponenten des optischen Aufbaus sollten motorisiert und steuerbar sein, um sie später in das Feedbacksystem integrieren zu können. Wenn die für den Aufbau benötigten Komponenten zur Verfügung stehen, kann mit dem Aufbau des Systems begonnen werden, an den sich die systematischen Messungen anschließen.

Systematische Messungen

Ziel ist die Optimierung der Laserpulse, wobei zum Beispiel Schwankungen der Intensität vermindert werden sollen. Des Weiteren soll die minimal erreichbare Elektronenbunchlänge ermittelt werden. Das transversale Laserpulsprofil kann mithilfe einer virtuellen Abbildung des Laserpulses durch Reflexion an der Kathode bestimmt werden. Die longitudinale Elektronenbunchlänge kann über elektro-optische Messungen des elektrischen Feldes des Elektronenbunches, welches Informationen über die Pulslänge liefert, oder indirekt über das THz-Strahlungsspektrum des Bunches ermittelt werden. Außerdem sollen Messungen mit verschiedenen Kathodenmaterialien (Kupfer von verschiedenen Herstellern und damit Qualitäten; oder später auch Cs_2Te) durchgeführt werden. Da die beiden Materialien sich stark in der Quanteneffizienz unterscheiden [20] müssen auch die Laserpulsprofile entsprechend angepasst werden.

Evaluierung und Erweiterung

Die bei den Studien erhaltenen Ergebnisse sollen helfen, noch stabilere, besser formbare Elektronenverteilungen zu erhalten, welche über lange Zeit sehr gute Strahlbedingungen liefern. Anschließend sollen Erweiterungen des Systems geplant, aufgebaut und getestet werden, um neue THz-Pulsformen durch gezielte Manipulation der Elektronenverteilung zu realisieren.

Softwareentwicklung

Die Anpassung der Laserpulse soll möglichst automatisch funktionieren. Dazu wird mit Hilfe der gemessenen Elektronenverteilung mit dem Feedbacksystem neue Einstellungen für den Pulsformer berechnet, die dann durch die motorisierten und elektrisch steuerbaren Komponenten umgesetzt werden. Außerdem wäre ein Ziel die Software in das Kontrollsystem des Beschleunigers zu integrieren.

Erzeugung von THz-Strahlung für Split-Ring-Resonator Messungen

In Kooperation mit dem Paul Scherrer Institut ist der Aufbau einer THz-basierten Streak-Kamera geplant [21]. Die durch nichtlineare optische Prozesse erzeugte THz-Strahlung

kann zum Testen der THz-Detektoren verwendet werden oder dient als Quelle für den Split-Ring-Resonator, um starke zeitlich veränderliche THz-Felder zur Bunchlängenmessung zu erzeugen.

Elektro-optische Messung mit schneller Auslese bei ANKA und FLUTE

In Kooperation mit dem Institut für Prozessdatenverarbeitung und Elektronik (IPE) des KIT wurden für die elektro-optischen Messungen an ANKA schnelle Detektorarrays entwickelt. Diese können zurzeit bei 900 kHz und anschließend bei 2,7 MHz, der Umlauffrequenz von ANKA, Daten aufnehmen. Damit kann jeder Umlauf eines Bunches aufgenommen werden, was vorher aufgrund der geringen Wiederholraten und langen Auslesezeiten der Detektoren nicht möglich war. Erste Test und Messungen mit den 900 kHz Detektoren wurden mit meiner Beteiligung durchgeführt [19], aber weitere Test mit den noch schnelleren 2,7 MHz Detektoren sind geplant. An FLUTE ist die Messung der ultra-kurzen Elektronenbunche nach der Schikane von besonderem Interesse.

Abschluss der systematischen Studien und Schreiben der Dissertation

Ich erwarte im Rahmen der Arbeit Methoden zu entwickeln, um gezielt die relativistischen Elektronenverteilung zu manipulieren, um insbesondere neue Erkenntnisse in der Teilchendynamik von Elektronen zu gewinnen.

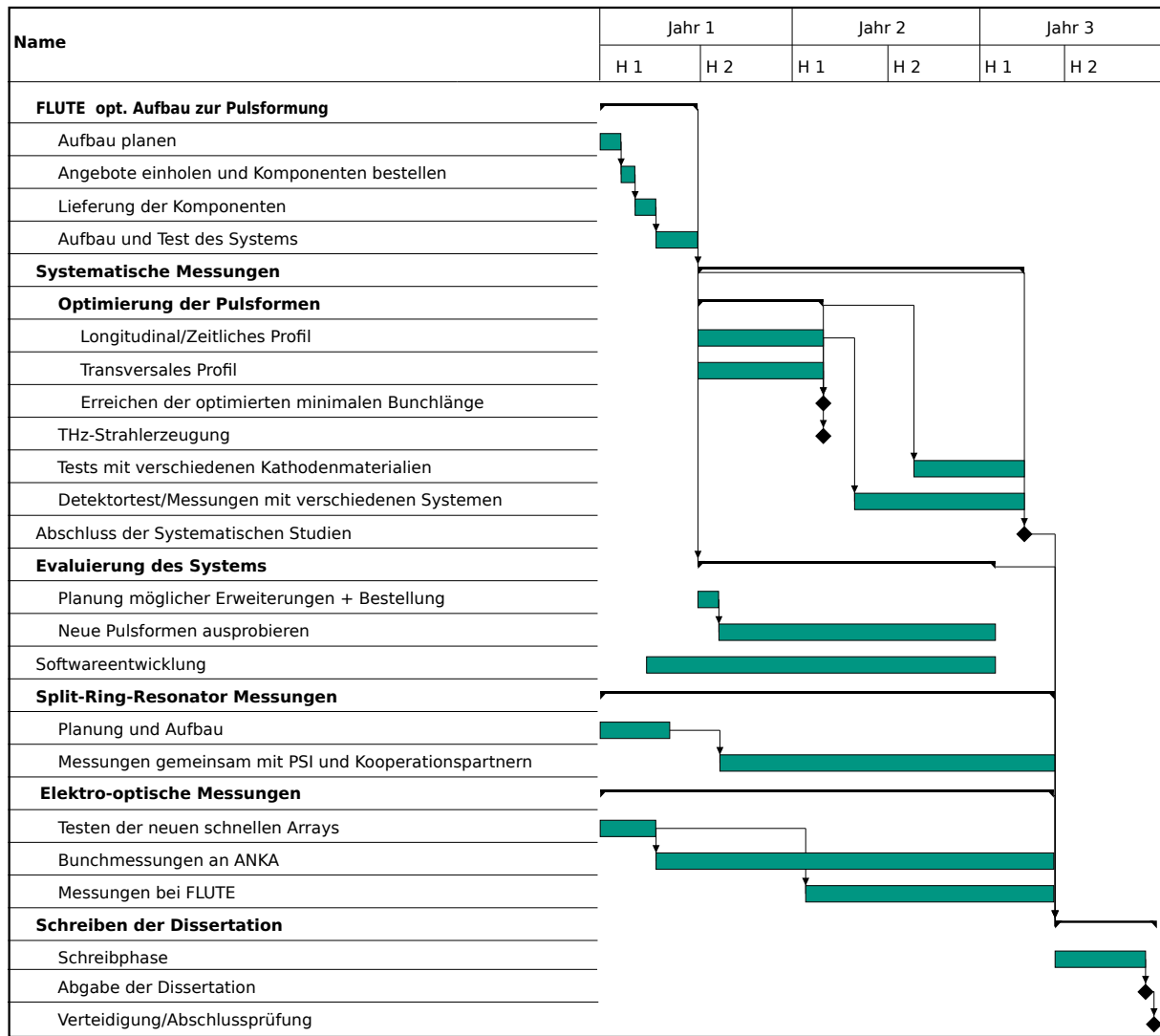


Abbildung 2: Arbeitsplan

8 Sonstige Angaben: Kooperationen

Der Aufbau der Split-Ring Resonatormessungen zur Bestimmung der Elektronenpaketlängen und zum Testen der Messmethode sind zusammen mit den Kooperationspartnern vom Paul Scherrer Institut (PSI, Villingen, Schweiz) und der Gruppe von Prof. Feurer (Linear and Nonlinear THz Science, Universität Bern) geplant. Die Entwicklung der Vakuumkammer für das Experiment findet in der Schweiz statt, der Aufbau und die Messungen werden am KIT durchgeführt. Als Teil dieser Arbeit soll das optische System zur THz-Erzeugung aufgebaut werden und eine weitere Beteiligung an den Messungen ist geplant.

Zudem wird die Kooperation mit dem Institut für Prozessdatenverarbeitung und Elektronik (IPE, KIT) weitergeführt. Dort werden schnelle Detektoren mit Sensoren aus Silizium und InGaAs entwickelt und getestet. Mit diesen Detektoren sind Messungen der Bunchlänge und -struktur bei der Umlauffrequenz von 2.7 MHz von ANKA geplant.

9 Anerkannte Wissenschaftler

Sachkundige anerkannte Wissenschaftler; bis zu drei derzeit in Deutschland tätige Wissenschaftler aus diesem Forschungsgebiet

Prof. Kaluza ist im Bereich der Laser-basierten Elektronenbeschleunigung sowie Diagnostik und Prof. Hübers ist in der Terahertz-Strahlerzeugung mit Lasern sowie Terahertz-Spektroskopie und Detektoren tätig. Ihre Kontaktdaten sind:

Prof. Dr. Malte C. Kaluza, Lehrstuhl für Experimentalphysik/Relativistische Laserphysik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Optik und Quantenelektronik, Max-Wien-Platz 1, D-07743 Jena und Helmholtz-Institut Jena, Raum 304, Fröbelstieg 3, D-07743 Jena, Tel.: 03641-947280, Fax: 03641-947282, Email: Malte.Kaluza@uni-jena.de

Prof. Dr. Heinz-Wilhelm Hübers, TU Berlin, Institut für Optik und Atomare Physik, Ernst-Ruska-Gebäude, Raum ER 290 und Institutsdirektor, Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR), Institut für Optische Sensorsysteme, Rutherfordstraße 2, 12489 Berlin-Adlershof, Tel.: 030 67055-596, Fax: 030 67055-532, Email: Heinz-Wilhelm.Huebers@dlr.de

10 Unterschrift



(Sophie Walther)

Literatur

- [1] A.-S. Müller, N. Hiller, A. Hoffmann, E. Huttel, K. Il'in, V. Judin, B. Kehrer, M. Klein, S. Marsching, C. Meuter, S. Naknaimueang, M.J. Nasse, A. Plech, P. Probst, A. Scheuring, M. Schuh, M. Schwarz, M. Siegel, N. J. Smale, M. Streichert, F. Caspers, A. Semenov, H.-W. Hübers, E. Bründermann. "Experimental Aspects of CSR in the ANKA Storage Ring". In: *ICFA Beam Dynamics Newsletter No. 57* (2012).
- [2] M. Gensch. "Super-radiant Linac-based THz Sources in 2013". In: *Proceedings of FEL2013, New York, NY, USA*. 2013. URL: <http://epaper.kek.jp/FEL2013/papers/weibno01.pdf>.
- [3] M.J. Nasse, M. Schuh, S. Naknaimueang, M. Schwarz, A. Plech, Y.-L. Mathis, R. Rossmanith, P. Wesolowski, E. Huttel, M. Schmelling, A.-S. Müller. "FLUTE: A versatile linac-based THz source". In: *Review of Scientific Instruments, Richmond, VA, USA* (2013).
- [4] Jaehun Park, Junghwa Lee, Heung-Sik Kang, Kim Changbum, Sunghoon Jung, Taiha Joo. "Linac based coherent fs-THz source at PAL". In: *Infrared Millimeter and Terahertz Waves (IRMMW-THz), 2010 35th International Conference on*. 2010, S. 1–2. DOI: 10.1109/ICIMW.2010.5613036.
- [5] M.J. Nasse, A. Bernhard, I. Birkel, A. Böhm, A. Borysenko, S. Hillenbrand, N. Hiller, S. Höniger, S. Marsching, A.-S. Müller, R. Rossmanith, R. Ruprecht, M. Schuh, M. Schwarz, B. Smit, **S. Walther**, M. Weber, P. Wesolowski, R.W. Assmann, M. Felber, K. Flöttmann, C. Gerth, M. Hoffmann, P. Peier, H. Schlarb, B. Steffen, R. Ischebeck, B. Keil, V. Schlott, L. Stingelin. "Status of the Accelerator Physics Test Facility FLUTE". In: *Proceedings of IPAC, Richmond, VA, USA*. 2015.
- [6] M. Schwarz, A.-S. Müller, M. Schmelling. "Properties of Transition- and Synchrotron Radiation at FLUTE". In: *Proceedings of IPAC, Richmond, VA, USA*. 2015.
- [7] Feng Zhou, Axel Brachmann, Paul Emma, Sasha Gilevich, Zhirong Huang. "Impact of the spatial laser distribution on photocathode gun operation". In: *Phys. Rev. ST Accel. Beams* 15 (9 2012), S. 090701. DOI: 10.1103/PhysRevSTAB.15.090701. URL: <http://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevSTAB.15.090701>.
- [8] G Penco, E Allaria, L Badano, P Cinquegrana, P Craievich, M Danailov, A Demidovich, R Ivanov, A Lutman, L Rumiz, P Sigalotti, C Spezzani, M Trovò, M Veronese. "Optimization of a high brightness photoinjector for a seeded FEL facility". In: *Journal of Instrumentation* 8.05 (2013), P05015. URL: <http://stacks.iop.org/1748-0221/8/i=05/a=P05015>.
- [9] M. B. Danailov, A. Demidovich, R. Ivanov, I. Nikolov, P. Sigalotti. "Laser systems for next generation light sources". In: *Proceedings of PAC09, Vancouver, BC, Canada*. 2009. URL: <http://epaper.kek.jp/PAC2009/papers/mo4gri03.pdf>.
- [10] A. M. Weiner. "Femtosecond pulse shaping using spatial light modulators". In: *Review of Scientific Instruments* 71.5 (2000).
- [11] J.-P. Carneiro, N. Barov, H. Edwards, M. Fitch, W. Hartung, K. Floettmann, S. Schreiber, M. Ferrario. "Transverse and longitudinal beam dynamics studies at the Fermilab photoinjector". In: *Phys. Rev. ST Accel. Beams* 8 (4 2005), S. 040101. DOI: 10.1103/PhysRevSTAB.8.040101. URL: <http://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevSTAB.8.040101>.

- [12] J. Yang, T. Nakajyo, Y. Okada, F. Sakai, T. Yanagida, M. Yorozu, A. Endo K., Takasago. "Experimental Studies of Photocathode RF Gun with Laser Pulse Shaping". In: *8th European Particle Accelerator Conference, Paris, France (2002)*, S. 1828. URL: <http://cds.cern.ch/record/584648>.
- [13] Yen-Chieh Huang, Chia-Hsiang Chen, Fu-Han Chao, Kuan-Yan Huang. "Bunching-frequency Multiplication for a THz-Pulse-Train Photoinjector". In: *Proceedings of IPAC2011, San Sebastián, Spain. 2011*. URL: <http://accelconf.web.cern.ch/accelconf/ipac2011/papers/mopc060.pdf>.
- [14] N. Hiller. "Electro-Optical Bunch Length Measurements at the ANKA Storage Ring". Karlsruhe Institut für Technologie (KIT), 2013.
- [15] N.Hiller, A. Borysenko, E. Hertle, V. Judin, B. Kehrer, S. Marshing, A.-S. Müller, M. J. Nasse, P. Schönfeldt, M. Schuh, N.J. Smale, J. Steinmann, B. Steffen, P. Peier, V. Schlott. "Status of single-shot EOSD measurements at ANKA". In: *Proceedings of IPAC2014, Dresden, Germany. 2014*. URL: <http://bib-pubdb1.desy.de/record/205183/files/PUBDB-2014-04596.pdf>.
- [16] Justyna Fabiańska, Günther Kassier, Thomas Feurer. "Split ring resonator based THz-driven electron streak camera featuring femtosecond resolution". In: *Scientific Reports 4 (2014)*, S. 5645. URL: http://www.researchgate.net/publication/263815219_Split_ring_resonator_based_THz-driven_electron_streak_camera_featuring_femtosecond_resolution.
- [17] Hannes Merbold, Andreas Bitzer, Thomas Feurer. "Second harmonic generation based on strong field enhancement in nanostructured THz materials". In: *Opt. Express 19.8 (2011)*, S. 7262–7273. DOI: 10.1364/OE.19.007262. URL: <http://www.opticsexpress.org/abstract.cfm?URI=oe-19-8-7262>.
- [18] **S. Walther**. "Laserstrahltransport und Diagnose für den FLUTE Photoinjektor". Masterarbeit. Karlsruhe Institut für Technologie (KIT), in Vorbereitung.
- [19] L. Rota, M. Caselle, N. Hiller, P. Schönfeldt, **S. Walther**. *Status of the Ultra-Fast 1D Detektor Development*. 2015.
- [20] Eduard Prat, Simona Bettoni, Hans-Heinrich Braun, Romain Ganter, Thomas Schietinger. "Measurements of copper and cesium telluride cathodes in a radio-frequency photoinjector". In: *Phys. Rev. ST Accel. Beams (2015)*.
- [21] M. Dehler, V. Schlott, F-Frei, R. Ischbeck, T. Feurer, J. Fabianska, M. Hayati. "Design Concept for a THz driven streak camera with ultra high resolution". In: *Proceedings of IBIC2015, Melbourne, Australia. 2015*. URL: <http://ibic.synchrotron.org.au/papers/mopb048.pdf>.