

Zwischenbericht (Sachbericht)

<b>Förderinstrument:</b>	Postdoktorandenprogramm
<b>Impulsfonds-Förderkennzeichen:</b>	PD-303
<b>Projekttitle:</b>	Ultrawideband waveform synthesizer to study ultrafast magnetism
<b>Postdoktorand/in:</b>	Anne-Laure Calendron
<b>Helmholtz-Zentrum:</b>	DESY
<b>Berichtszeitraum (=Kalenderjahr!):</b>	01/2018-12/2018

**1) Arbeitsfortschritt / Meilensteine**

*Welche Fortschritte wurden im geplanten Arbeitsprogramm gemacht. Nehmen Sie explizit Bezug auf das im Antrag beschriebene Programm und die dort aufgeführten Meilensteine. Waren Abweichungen vom Programm notwendig?*

In 2018 sind Fortschritte im Experiment selber und in THz-Erzeugung, aber nicht auf die Laserentwicklung, gemacht worden. Die Meilensteine für 2018 sind nur teilweise eingehalten worden. Ich bin im 2018 ab dem 16. Juli, bis zum 1. März 2019, im Mutterschutz und Elternzeit gewesen. Meine Elternzeit verläuft weiter mit 50% Beschäftigung bis zum 29. August 2019 und 75% Beschäftigung bis 29. Februar 2020. In diesem Bericht werden die Meilensteine angepasst.

Der erste Meilenstein M1 am 31. Dezember 2018 betrifft das Lasersystem, und beinhaltet die Fertigstellung der optischen Probe-Pulse für direktes Proben oder für HHG, die Entwicklung des Treiberlasers und die Erzeugung der THz-Strahlung. Es sind Zwischenergebnisse in der THz-Erzeugung und Synchronisation demonstriert worden, aber es wurde von Prof. Kärtner entschieden, die Laserquelle aufgrund des hoch-energie Verstärkers komplett neuzubauen.

Es war (cf. Letztes Bericht über 2017) entschieden, verschiedene Technologien für Yb:YAG Laserverstärker zu vergleichen. Ein 10Hz, Raumtemperatur-Yb:YAG Rod-Verstärker war bis August 2018 neu aufgebaut, und hat ~20mJ, auf 5ps komprimierten Pulses geliefert. Aufgrund seiner Grenze in Wiederholrate auf 10Hz, ist es entschieden worden, ihn abzubauen. Im parallel sind es in der Gruppe von Prof. Franz Kärtner viele Fortschritte im Bereich der kryogenischen Verstärker gemacht worden, um die Stabilität und Lebensdauer zu erhöhen. Allerdings konnte eine Entscheidung Ende Juni 2018 über die zu anwenden Technologie nicht getroffen werden. Es ist in der 2. Hälfte von 2018 entschieden worden, das jetzige existierende System (Yb:waveform Synthesizer) komplett neu aufzubauen, um auf 10kHz Wiederholrate zu kommen.

Wir haben den THz-Setup, der mit dem Ausgang eines Yb:KYW regenerativen Verstärkers [Calendron 2013] getrieben wird, verbessert: eine kryogenische Kühlung ist implementiert worden, und wir haben Energien im  $\mu\text{J}$  Bereich erzeugt. Die Effizienz war nicht gesättigt, aufgrund der begrenzten verfügbaren Treibersenergie. Wir haben Parameters-Scan gemacht, um zu erforschen, ob wir die THz-Zentralfrequenz verschieben können. Dies wäre für die kohärente Anregung der Magnon-frequenz eines zu studierenden Sample wichtig. Dieses Setup kann noch in der Effizienz verbessert werden, indem der Gitter ausgetauscht wird. Wir haben auch versucht, THz mit den verstärkten Pulse des 10Hz Yb:YAG raumtemperatur Verstärker zu erzeugen, und haben ~20 $\mu\text{J}$  vor Fluenzoptimierung demonstriert. Leider konnten wir die Optimierung wegen Zeitmangel nicht durchführen. Wir können unsere Erfahrung im THz-Erzeugung und Anpassung in anderen Setups verwenden, aber leider kein Pump-Probe Experiment mit dem Ausgang vom Yb:KYW regenerativen Verstärker allein durchführen.

Wir haben auch an dem Retrieval der THz-Pulse gearbeitet: das elektrische Feld wird mit

elektro-optischen Sampling gemessen, und eine Fourier-Transform ergibt das Spektrum der THz-Pulse. Allerdings haben mehrere Faktoren einen Einfluss auf die Messung. Diese Faktoren (Kristalleigenschaften, räumliche Strahlüberlapp, zeitliche Auflösung) werden jetzt betrachtet.

Ein Ti:Sapphire Laser mit 7mJ, 150fs Ausgangspulsen war teilweise verfügbar im Labor von Prof. Kärtner. Ein tilted-pulse front THz-Setup wurde in XX von Xiaojun Wu und Liwei Song aufgebaut, mit 30 $\mu$ J THz Energie, 0.3 THz Zentralfrequenz. Wir haben mit dem starken magnetischen Field der THz-Pulse das magnetische Moment in FeBO<sub>3</sub> angeregt und dynamisch die Relaxation-Oszillationen aufgelöst. Der magnetische Feld der THz Einzelzykluspulse ändert die Orientierung der magnetischen Lattices und erzeugt eine Birefringence im Kristall, die mit 800 nm ultrafast optische Laserpulse gemessen wurde. Dies ist die erste Demonstration einer kohärente Anregung der magnetischen Moment mit THz und dynamische Auflösung. Damit war die Meilenstein M2 im Juni 2018 erfüllt. Allerdings möchten wir weiterhin mit diesem Sample arbeiten: unsere Sample waren polykristallin, und wir haben inzwischen monokristallin Sample erhalten, mit denen die Symmetrie angeschaut werden kann. Es ist auch eine Kooperation mit der Universität Vienna angefangen worden, um die Simulationen durchzuführen. Eine aktualisierte Meilenstein M2 für diese Messungen wird im Juli 2019 gesetzt.

Während meiner Abwesenheit hat die Doktorandin keinen Strahlzeit auf diesem 150fs Ti:Sapphire Laser erhalten können, und wir arbeiten jetzt an einem THz-Setup getrieben von 30fs TiSa, der weniger verwendet wird. Der Nachteil ist eine Reduzierung der THz-Effizienz. Der Vorteil ist, dass wir diese Pulse auf 10fs komprimieren können, um mit Spin-emitters THz bis 30THz zu erzeugen. Dies wird uns ermöglichen, einen größeren THz-Bereich abzudecken, und mehr Flexibilität in der Sample-Auswahl zu haben. Vorbereitungsarbeiten sind durchgeführt worden: die Pulskompression ist abgeschätzt worden, und Spin-emitters sind von Ralf Röhlsberger's Gruppe vorbereitet worden.

Die Pump und Probe Pulsen sollten mit einander synchronisiert sein, was gegeben ist wenn die optischen Wege kurz sind, aber gemessen und aktiv implementiert werden soll wenn die Wegen lang sind. Diese Synchronization war schon im 2016-2017 demonstriert, und im 2018 ist eine bessere Lösung auf den 10Hz-Yb:YAG Verstärker implementiert worden, die mehr Flexibilität in der Feedbackloop bietet. Diese Lösung kann auf ein neues Lasersystem verwendet werden. Diese Ergebnisse sind bei einer Konferenz vorgestellt worden.

Die HHG Beamline ist vom MIT nach Hamburg transportiert worden und wird bis auf weiteres gelagert. Damit ist ein Teil der Meilenstein M3 erfüllt.

Die Experimentier-Kammer ist im 2018 entwickelt, konstruiert und hergestellt worden. Ein erster Aufbau hat im März 2019 wie geplant (M5) stattgefunden. Die Meilenstein M5 wird verschoben, um weitere Tests und Entwicklungen (Vakuum, Handhabung der Justage, Automatisierung) durchzuführen.

M7 ist teilweise realisiert worden: spinemitters sind in der Gruppe von Ralf Röhlsberger hergestellt worden. Die Magnon-Resonanz von künstlichen antiferromagnetischen Samples (Thin-films) liegt in dem THz-Bereich und kann nicht unbegrenzt durchgestimmt werden. Der von spin-emitters emittierte THz kann bis 30THz abdecken, was mehr künstliche Sample erlaubt.

## 2) Finanz-/Zeitplan

*Können Sie Finanz- und Zeitplan einhalten oder sind Anpassungen notwendig?*

Aufgrund der Verfügbarkeit der Lasers und des Neuaufbaus eines Systems muss der Zeitplan stark geändert werden.

Dieser Neuaufbau wird von Dr. Cirimi geleitet: laut der im März 2019 erstellten Zeitplan sollte diese Quelle in 2,5Jahre aufgebaut werden. Laut diesem Plan sollte ich verschiedene Submodule mit meiner Doktorandin aufbauen, inklusiv die HHG-Erzeugung. Erst am Ende des Aufbaus wäre eine THz-pump-EUV-Probe Experiment möglich, was weit über die Zeitspanne dieses Projekts läuft. Um versprechende Ergebnisse zu erhalten suchen wir dann weitere

Lösungen : andere verfügbare Lasersysteme (M9) und Möglichkeiten auf Strahlzeit bei FLASH oder XFEL (M10).

Die Fertigstellung der pulse-front-tilt THz Setup mit dem 30fs Ti:Sapphire Laser ist mit neudefinierten M9a gekennzeichnet: M9a: mit 30fs-TiSa getriebenen pulse-front-tilt setup: 31. Mai 2019. Der Spin-emitter setup läuft mit *niedrigerer Priorität*: M9b: Pulskompression und Spinemitter-Setup: 30. September 2019.

Die Meilenstein M8 ist jetzt in 2 geteilt: M8a Experimenten mit THz-pump-800nm-Probe und M8b Experimenten mit THz-pump-EUV-Probe.

Die Meilenstein M2 (Messungen von FeBO<sub>3</sub> Sample) ist mit Messungen an Kristallen mit besserer Qualität ergänzt (M2a).

Die Meilensteine M1, M3 und M4 müssen nach dem Projektende verschoben werden.

Die Meilenstein M7 wird verlängert.

Um wissenschaftlichen Ergebnisse zu erhalten, möchten wir weitere verfügbare Quellen betrachten, und vielleicht eine Kooperation mit einer anderen Gruppe anfangen. Dazu werden wir die Möglichkeit auf eine Strahlzeit bei FLASH oder XFEL analysieren und wenn möglich die Strahlzeit beantragen.

Die Meilensteine sind wie folgt angepasst:

- M1: Laser fertiggestellt: verschoben nach Projekt-Ende
- **M2: Messungen an monokristallin FeBO<sub>3</sub>: Juni 2018**
- M2a: Messungen an monokristallin FeBO<sub>3</sub>, mit 30fs TiSa-getriebenen Setup: 31. Juli 2019
- M3: HHG fertiggestellt zum Experimentieren: Verschoben nach Projekt-Ende
- M4: Laser angepasst: wird noch definiert
- **M5: Interaktionskammer für Experimenten: 31. März 2019**
- M5a: weitere Tests und automatisierung: 30. Juni 2019
- M6: erstes THz-Anrege - HHG-Abfrage Experiment durchgeführt: verschoben nach Projekt-Ende
- **M7: Identifizierung weiterer Sample und Herstellung: 31. Dezember 2019**
- M8a: Messungen anderer Samples mit THz-pump-800nmProbe: bis Projektende
- M8b: Experimenten mit THz-pump-EUV-Probe: nach Projektende
- M9a: mit 30fs-TiSa getriebenen pulse-front-tilt setup: 31. Mai 2019
- M9b: Pulskompression und Spin-emitter-Setup: 30. September 2019
- M10: Strahlzeit bei FLASH oder XFEL definieren und einreichen: Juni 2019

Die Doktorandin Emma Kueny und ich haben uns auf die European School on Magnetism im September 2019 beworben.

Da es noch Mittels auf das Projekt gibt, sind ein paar Komponenten für die THz Erzeugung auf Projekt-kosten in 2019 bestellt worden.

### 3) Publikationen / Preise

#### Journals:

- E. Kueny, J. Meier, X. Levecq, N. Varkentina, F. X. Kärtner, and A.-L. Calendron, "Wavefront analysis of a white-light supercontinuum," Opt. Express **26**, 31299-31306 (2018)
- T. Kroh, C. Jin, P. Krogen, P. D. Keathley, A.-L. Calendron, J. P. Siqueira, H. Liang, E. L. Falcao-Filho, C. D. Lin, F. X. Kärtner, and K.-H. Hong, „Enhanced high-harmonic generation up to the soft X-ray region driven by mid-infrared pulses mixed with their third harmonic,“ Optics Expr., **26**(13) 16955-16969 (2018).
- M. Hemmer, G. Cirimi, K. Ravi, F. Reichert, F. Ahr, L. Zapata, O. D. Mücke, A.-L. Calendron, H. Cankaya, D. Schimpf, N. H. Matlis, and F. X. Kärtner, "Cascaded interactions mediated by terahertz radiation," Optics Express **26** (10), 12536 (2018).

### Konferenzen:

- D. Zhang, A. Fallahi, M. Hemmer, H. Ye, M. Fakhari, Y. Hua, H. Cankaya, A.-L. Calendron, L. E. Zapata, N. H. Matlis, F. X. Kärtner, „Energy Spread And Emittance Control In Segmented High Field Terahertz Driven Electron Accelerators,“ 2019 44th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz), INTSOCIMTW-THz2019-4432612 (2019)
- F. X. Kärtner, D. Zhang, A. Fallahi, M. Fakhari, H. Cankaya, A.-L. Calendron, F. Ahr, K. Ravi, S. Jolly, V. Leroux, T. Eichner, H. Ishizuki, T. Taira, A. Maier and N. H. Matlis, « THz Acceleration for Compact Electron & X-ray Sources », Conference on Optical Terahertz Science and Technology, Marc 2019
- Nicholas H. Matlis, ..., « « , Banff Meeting on Structural Dynamics 2019
- N. H. Matlis, A. Fallahi, M. Fakhari, H. Cankaya, A.-L. Calendron, F. Ahr, K. Ravi, S. Jolly, V. A. Gilles Leroux, T. Eichner, H. Ishizuki, T. Taira, A. R. Maier, F. X. Kärtner, « THz-based acceleration for compact electron and X-ray sources“, FGTC2019, ID 196 (2019)
- D. Zhang, A.-L. Calendron, H. Cankaya, M. Fakhari, A. Fallahi, M. Hemmer, Y. Hua, F. X. Kärtner, N. H. Matlis, X. Wu, L. E. Zapata, « Segmented Terahertz Driven Device for Electron Acceleration », TUPML045 (2018).
- F. X. Kärtner, D. Zhang, A. Fallahi, M. Hemmer, M. Fakhari, Y. Hua, H. Cankaya, A.-L. Calendron, L. E. Zapata, N. H. Matlis, « Compact THz Accelerators: From Fiction To Reality », IRMMW-THz (2018).
- E. Kueny, A.-L. Calendron, X. Levecq, N. Varkentina, J. Meier, F. X. Kaertner, „Wavefront Analysis of White-light Supercontinuum,“ CLEO presentation (2018).
- S. Valente, A.-L. Calendron, J. Meier, E. Kueny, H. Cankaya, N. H. Matlis, G. Cirmi, F. X. Kaertner, „Timing Stabilization of Solid-State Yb-Based Laser System“, CLEO poster (2018).
- N. H. Matlis, F. Ahr, A.-L. Calendron, H. Cankaya, G. Cirmi, T. Eichner, A. Fallahi, M. Fakhari, M. Hemmer, A. Hartin, H. Ishizuki, S. W. Jolly, V. Leroux, A. R. Maier, J. Meier, W. Qiao, K. Ravi, D. N. Schimpf, T. Taira, X. Wu, L. Zapata, C. Zapata, D. Zhang, C. Zhou, F. X. Kärtner, « Acceleration of electrons in THz driven structures for AXSIS, » in Nuclear Inst. And Methods in Physics Research, A, EAAC proceedings, paper (2018).
- G. Cirmi, et al., COPA, DPG (2018)