

MBI Interner Newsletter

Inhalte

13. Jahrgang - Ausgabe 47 - August 2022

Editorial

Personalinformationen / Preise

Betriebsrat / Work Council

Vereinbarkeit Beruf und Familie /Work and Family

Gleichstellung/Equal Opportunity

Projekteinwerbung

Forschungsergebnisse/Research Highlights

EDV/IT

Allgemeines / General

Editorial

Liebe Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter,

in Folge des russischen Angriffs auf die Ukraine sind die Energiepreise in Westeuropa stark angestiegen, ein Ende dieser Entwicklung ist derzeit nicht absehbar. Wie wir alle in unserem privaten Umfeld muss auch das MBI mit den steigenden Energiekosten, vor allem für Strom und Fernwärme zurechtkommen. Stromversorgungsunternehmen schließen derzeit angesichts der unsicheren Entwicklung keine längerfristigen Festpreisverträge ab, sondern zielen auf eine direkte Weitergabe von Preissteigerungen an den Kunden, etwa durch monatliche Abrechnungen. So auch der Stromversorger des MBI.

Der Stromverbrauch des MBI hat im Jahr 2021 drei Millionen Kilowattstunden betragen, wofür Kosten in Höhe von 574.000 EUR entstanden. Geht man von einem ähnlichen Verbrauch für das Jahr 2022 aus, ergibt eine aktuelle Kostenschätzung einen Betrag von 1.025.000 EUR, also fast eine Verdopplung im Vergleich zum Jahr 2021. Dieser Betrag wird ebenso wie steigende Ausgaben für Fernwärme, Wasser etc. von den Zuwendungsgebern nicht kompensiert, die Kosten müssen aus dem laufenden Haushalt bestritten werden. Für das Jahr 2023 ist die weitere Kostenentwicklung derzeit nicht absehbar, allerdings ist das Programmbudget des Instituts für 2023 schon seit langem ohne Kostenausgleich festgelegt.

In dieser Situation ist die Senkung des Energieverbrauchs ein wichtiges Thema. Dabei müssen die Arbeits- und Konkurrenzfähigkeit des Instituts ebenso erhalten wie die Anforderungen der Arbeitssicherheit erfüllt werden. Zurück zum Stromverbrauch: Von den oben erwähnten drei Millionen Kilowattstunden wird ungefähr ein Drittel in der Technikzentrale verbraucht, der überwiegende Rest für den Laborbetrieb in den Häusern A, B und C und für die IT-Infrastruktur einschließlich des Rechnercluster der Theorieabteilung. Damit ist klar, dass wir gemeinsam über eine effizientere Nutzung dieser Ressourcen nachdenken müssen. Wir streben vor allem in den wissenschaftlichen Projekten eine effektivere und

Editorial

Dear Members of the MBI,

as a consequence of the Russian attack on Ukraine, the energy cost in Western Europe has seen a sharp rise with the future development not being foreseeable. Similar to the current situation in our private life, MBI has to manage an additional financial burden, which mainly results from increasing prices for electricity and heat. Currently, public utilities do not offer long-term supply contracts at fixed rates, but rather aim at directly charging their customers for increasing supply cost on a monthly basis. This scheme is also followed by the electricity supplier of MBI.

In 2021, the electricity consumption of MBI was three million kilowatt hours (kWh), which resulted in a price tag of 574,000 EUR. Assuming a similar consumption for 2022, a very recent cost estimate gives an amount of 1,025,000 EUR, close to twice the cost for 2021. This amount and other additional costs for heat, water etc. are not provided by the funding bodies of MBI but must be paid from the current budget of the institute. The cost development in 2023 is not predictable. However, MBI's program budget for 2023 has been fixed long time ago without any cost compensation.

Under such circumstances, the reduction of energy consumption is a key request. In doing so, we need to maintain the ability to work and the competitiveness of the institute, as well as to fulfill the requirements for safety at work. Back to the electricity consumption: Of the three million kWh mentioned earlier, about one third was used in the central technical supply, while the rest went mainly into the laboratories of house A, B, and C, and into the IT infrastructure including the computer cluster of the theory department. We jointly need to think about a more efficient use of such resources. We aim at a more effective and energy conserving operation of the laboratory and IT infrastructure, in particular in the framework of MBI's scientific projects. Potential steps are an improved time sharing and reduction of dead time in the laboratories, or the choice of energy efficient lab equipment and computers in purchasing processes.

MBI Interner Newsletter

13. Jahrgang - Ausgabe 47 - August 2022

ressourcenschonende Nutzung der Labor- und IT-Infrastruktur an, die Einsparungen beim Energieverbrauch ermöglicht. Mögliche Schritte sind die Verbesserung des Time Sharing und die Vermeidung von Totzeiten in den Labors wie auch bei Neubeschaffungen die Auswahl energieeffizienter Laborgeräte und Rechner.

All diese Fragen möchten wir nach der Sommerpause mit Ihnen in einer vertieften Diskussion erörtern und gemeinsam Lösungen erarbeiten. Anregungen und konkrete Vorschläge sind jederzeit willkommen. Darüber hinaus können wir alle schon jetzt in unserer täglichen Arbeitspraxis sparsam mit den Ressourcen umgehen.

Am Ende dieses Editorials möchte das Direktorium Margret Rink für ihre langjährige Tätigkeit als Gleichstellungsbeauftragte des Instituts danken. Margret hat sich dieser wichtigen Funktion unermüdlich gewidmet und sich dabei auch mit einer Reihe wichtiger damit verbundenen Aktivitäten engagiert, wie dem Audit „Beruf und Familie“ und diversen gesundheitsbezogenen Aktivitäten, die weit über ihre eigentlichen Aufgaben als Gleichstellungsbeauftragte hinausgingen.

Wir sind Margret für diesen Einsatz sehr dankbar und wünschen ihr für ihren wohlverdienten Ruhestand viel Erfolg und Freude.

Für das Direktorium:
Thomas Elsässer

After the Summer break, we would like to embark with you on an in-depth discussion of these issues and on developing joint practical solutions. Suggestions and specific proposals are welcome at any time. Already now, we should use resources in our daily work in a most economical way.

At the end of this editorial, the Direktorium would like to thank Margret Rink for her many years as the institute's equal opportunity officer. Margret has tirelessly committed herself to this important function, and in doing so has moreover engaged in a number of important related activities, such as the audit „Beruf und Familie“ and various health-related activities, that go well beyond the narrow definition of the responsibilities of the equal opportunity officer.

We are very grateful to Margret for this commitment, and wish her great success and enjoyment in her well-deserved upcoming retirement.

For the Board of Directors:
Thomas Elsaesser

MBI Interner Newsletter

13. Jahrgang - Ausgabe 47 - August 2022

Personalinformationen

Neue Mitarbeiter und Gäste des Max-Born-Instituts (Stand: 11.08.2022 - alphabetische Reihenfolge)

| | | | | | |
|------------------------|---------------------------------|-----|------|--------------------------|------------|
| Behrends, Robert | studentische Hilfskraft | B1 | 1342 | Behrends@mbi-berlin.de | 01.06.2022 |
| Christou, Elena Aethra | studentische Hilfskraft | T1 | / | Christou@mbi-berlin.de | 15.06.2022 |
| Dávila Lara, Sebastián | studentische Hilfskraft | A2 | / | DavilaLara@mbi-berlin.de | 15.05.2022 |
| Dummin, Marc | Gastwissenschaftler | B2 | / | Dummin@mbi-berlin.de | 01.07.2022 |
| Dutta, Sangita | wissenschaftliche Mitarbeiterin | T5 | / | / | 01.08.2022 |
| Glowinski, Hubert | Gastwissenschaftler | B2 | / | / | 24.07.2022 |
| Jasiulek, Michael | wissenschaftlicher Mitarbeiter | A2 | 1249 | Jasiulek@mbi-berlin.de | 16.05.2022 |
| Jornitz, Markus | Drittmittelsachbearbeiter | Vw | 1513 | Jornitz@mbi-berlin.de | 01.08.2022 |
| Kundik, Arkadi | Gastwissenschaftler | A2 | / | Kundik@mbi-berlin.de | 15.06.2022 |
| Lamonova, Karyna | wissenschaftliche Mitarbeiterin | T5 | 1318 | Kamonova@mbi-berlin.de | 16.05.2022 |
| Mohammed, Yusuf | Doktorand | T2 | 1225 | Mohammed@mbi-berlin.de | 15.07.2022 |
| Noghi, Sepideh | Windows-Systemadministratorin | EDV | 1541 | Noghi@mbi-berlin.de | 01.07.2022 |
| Richter, Johanna | Doktorandin | B1 | 1342 | JRichter@mbi-berlin.de | 01.08.2022 |
| Vengaladas, Saipavan | Masterstudent | T3 | 1213 | Vengaladas@mbi-berlin.de | 01.07.2022 |
| Werner, Leon | studentische Hilfskraft | B1 | 1370 | Werner@mbi-berlin.de | 01.07.2022 |

Ausgeschiedene Mitarbeiter 11.05.2021 – 11.08.2022

| | |
|--------------------------|-------------------------------------|
| Branchi, Federico | Doktorand, A2 |
| Cundiff, Steven | Gastwissenschaftler, C |
| Heilmann, Anke | wissenschaftliche Mitarbeiterin, B3 |
| Krishna, Jyoti | Gastwissenschaftlerin, T5 |
| Kumar, Aditya | Masterstudent |
| Lebendig-Kuhla, Janina | Doktorandin, A2 |
| Li, Qizhi | Doktorand, T5 |
| Seja, Ron | Techniker, Bt |
| Smaliukas, Povilas | Masterstudent, C2 |
| Sneftrup, Peter Sørensen | Gastwissenschaftler, A1 |
| Tran, Leo | Bachelorstudent, B2 |
| Weinmann, Benjamin | Bachelorstudent, B2 |
| Winterburn, Thea | Drittmittelsachbearbeiterin, Vw |

MBI Interner Newsletter

13. Jahrgang - Ausgabe 47 - August 2022

Betriebsrat

Liebe Kolleginnen und Kollegen,

bedauerlicherweise verzögert sich in diesem Jahr die Auszahlung des Leistungsentgelts (LOB). Diese wird, wie bereits vom Geschäftsführenden Direktor in der Mail vom 10. Juni angekündigt, mit der Gehaltsabrechnung im August erfolgen.

Ursächlich dafür ist, dass der Landesrechnungshof die bei uns gängige Praxis der Gleichverteilung des Leistungsentgeltes bei einer Überprüfung im Jahr 2018 beanstandet hat und dieses den Zuwendungsgebern so übermittelt hat. Das Prinzip der Gleichverteilung verstößt aus Sicht des Landesrechnungshofes gegen den Willen der Tarifparteien des Tarifvertrages „Leistungsentgelt für die Beschäftigten des Bundes“, der im Jahr 2006 geschlossen wurde.

Im Forschungsverbund Berlin e.V. wurde zur Umsetzung des Tarifvertrages eine Rahmenbetriebsvereinbarung zum Leistungsentgelt und im MBI darauf aufbauend eine ergänzende Betriebsvereinbarung abgeschlossen. In der ist konkret beschrieben, wie das Instrument der Leistungsorientierten Bezahlung angewendet werden soll. Seinerzeit hatten sich Geschäftsführung und Betriebsrat darauf verständigt, die Wirksamkeit der LOB nach drei Jahren Laufzeit in Hinblick auf das Verhältnis von Aufwand und Nutzen bei der Leistungsbewertung zu evaluieren. Gemeinsam kam man nach dem vereinbarten Zeitraum von drei Jahren zu dem Ergebnis, dass ein tatsächlicher Effekt nicht nachweisbar war und somit zukünftig das in der Betriebsvereinbarung dafür vorgesehene Prinzip der Gleichverteilung zur Anwendung kommen sollte. Diese Praxis wurde nun – wie eingangs erwähnt – vom Landesrechnungshof moniert.

Die Geschäftsführung und der Betriebsrat haben sich deshalb darauf verständigt, die Klausel, die bisher eine Gleichverteilung erlaubte, aus der Betriebsvereinbarung zu entfernen. Das bedeutet, dass wie bereits geschehen und auch zukünftig jährlich eine Leistungsbewertung erfolgen muss. Ebenso werden die Leistungsstufen (überdurchschnittlich, normal, unterdurchschnittlich) angepasst und Abteilungsbudgets gebildet.

Konstituierende Sitzung des Gesamtbetriebsrats (GBR) des FVB e.V.

Bei der konstituierenden Sitzung des neuen Gesamtbetriebsrates, die am 31. Mai im IZW stattfand, wurde Mathias Schmidt (GV) zum GBR-Vorsitzenden sowie Dr. Peter Strieder (FMP) und Susanne Auls (IZW) zu seinen Stellvertretern gewählt. Mathias Schmidt wurde zur Wahrnehmung seiner Funktion als GBR-Vorsitzender von seiner Tätigkeit in der GV freigestellt.

Viele Grüße im Namen des Betriebsrates
Peter Scholze

Works Council

Dear colleagues,

Regrettably, the payment of the performance bonus (German: Leistungsorientierte Bezahlung (LOB)) is delayed this year. As already announced by the managing director in the e-mail of June 10, the bonus will be paid out within the August payroll.

The reason for this is that the state audit office (Landesrechnungshof) objected to our practice of equal distribution of the performance bonus during an audit in 2018 and communicated this to our funding providers in this way. In the view of the state audit office, the principle of equal distribution violates the agreement „Performance Pay for Federal Employees“, which was signed in 2006.

In order to implement the performance pay agreement, a framework company agreement on performance pay was signed at Forschungsverbund Berlin e.V. and, building on this, a supplementary company agreement was signed at MBI. The latter describes in detail how the instrument of performance-related pay has to be applied. At the time, management and the works council had agreed to evaluate the effectiveness of the LOB after three years with regards to the effort benefit ratio. After the initial period of three years, they jointly came to the conclusion that there was no evidence of an actual effect and that the principle of equal distribution should therefore be applied in the future. As mentioned above, this practice has now been criticized by the state audit office.

The management and the works council have therefore agreed to remove the clause, which previously allowed equal distribution, from our company agreement. This means that, as has already happened and will continue to happen in the future, a performance evaluation must be carried out on an annual basis. The performance levels (above average, normal, below average) will be adjusted and departmental budgets will be formed.

Constituent meeting of the General Works Council (GBR) of FVB e.V.

At the constituent meeting of the new General Works Council, which took place on May 31 at the IZW, Mathias Schmidt (GV) was elected GBR Chairman and Dr. Peter Strieder (FMP) and Susanne Auls (IZW) as his deputies. Mathias Schmidt was released from his duties in the GV to perform his function as GBR chairman.

Kind regards on behalf of the works council,
Peter Scholze

MBI Interner Newsletter

13. Jahrgang - Ausgabe 47 - August 2022

Gleichstellung

Liebe Mitarbeitende,

im Juni wurden wir, Maria Richter und Lisa-Marie Koll, zu den neuen Gleichstellungsbeauftragten am MBI gewählt. Wir bedanken uns bei allen Organisatorinnen und Teilnehmerinnen der Wahl und freuen uns auf die Aufgaben und Herausforderungen, die mit der Förderung und Umsetzung von Gleichstellung, Vielfalt und Vereinbarkeit von Familie und Beruf am MBI verbunden sind.

Unser herzlicher Dank gilt auch der bisherigen Gleichstellungsbeauftragten Margret Rink und ihrer Stellvertreterin Azize Koc. Sie haben sich mit großem Einsatz für alle Themen der Gleichstellung am MBI engagiert, auch weit über die Kernaufgaben hinaus. Margret setzte sich unter anderem mit Erfolg für die Schaffung der neuen Stelle der zentralen Gleichstellungsbeauftragten des FvB ein. Sie war maßgeblich für die erfolgreiche Zertifizierung des MBI zum *audit berufundfamilie* in den Jahren 2015, 2018 und 2021 verantwortlich. Weiterhin weckte sie das Interesse vieler Mädchen an Naturwissenschaften und Technik, auch im Hinblick auf ihre Berufswahl, indem sie die Organisation zahlreicher erfolgreicher Girls' Days leitete, an denen Schülerinnen die Arbeit am MBI aus erster Hand kennen lernen konnten. Margret stand den Mitarbeitenden in vielen Konfliktsituationen zur Seite und unterstützte sie engagiert bei der Bewältigung dieser Probleme. Darüber hinaus hat sie die Teilnahme der Mitarbeitenden an vielfältigen Sport-, Gesundheits-, Familien-, Weiterbildungs- und Outreach-Aktivitäten intensiv gefördert, wie z.B. am Stadtradeln, den Adlershofer Firmenstaffelläufen, den Aktionen des Adlershofer Gesundheitsnetzwerks der WISTA und TK, am Kinderprogramm der gelben Villa oder an den vielseitigen Programmen, Workshops und Veranstaltungen zur Karriereförderung und Vernetzung von Frauen in der Wissenschaft, wie dem Leibniz-Mentoring-Programm oder den Berlin Soapbox Science Events.

Ihre Initiative ist ein Vorbild für unsere künftige Tätigkeit, ebenso wie der Elan und die Fürsorge, mit denen sie sich stets den Herausforderungen der Förderung von Gleichstellung und Vereinbarkeit von Beruf und Familie gestellt hat.

Viele Grüße

Maria Richter und Lisa-Marie Koll, Tel. 1239, 1212

Equal Opportunity

Dear colleagues,

In June, we, Maria Richter and Lisa-Marie Koll, were elected as the new Equal Opportunities Officers at the MBI. We thank all the organizers and participants of the election and look forward to the tasks and challenges associated with the promotion and implementation of gender equality, diversity and reconciliation of family and work at the MBI.

Our sincere thanks also go to the previous Equal Opportunities Officer Margret Rink and her deputy Azize Koc. They have shown great commitment to all issues of equality at the MBI, even far beyond the core tasks. Among other things, Margret successfully lobbied for the creation of the new position of Central Equal Opportunities Officer at the FvB. She was largely responsible for the MBI's successful certification to the *audit berufundfamilie* in 2015, 2018 and 2021. She has sparked the interest of many girls in science and technology, also with regard to their career choice, by leading the organization of numerous successful Girls' Days, where schoolgirls could learn about the work at the MBI first hand. Margret stood by her colleagues in many conflict situations and was committed to helping them overcome these difficulties. She has also intensively promoted the participation of her colleagues in a wide range of sports, health, family, continuing education and outreach activities, such as the city cycling, the Adlershof company relay races, the campaigns of the Adlershof health network of WISTA and TK, the children's program of the „gelbe Villa“ or the diverse programs, workshops and events for career promotion and networking of women in science, such as the Leibniz Mentoring Program or the Berlin Soapbox Science Events.

Her initiative sets an example for our future work, as well as the vigor and care with which she has always met the challenges of promoting gender equality and reconciliation of family and work.

Best regards,

Maria Richter und Lisa-Marie Koll, Tel. 1239, 1212



 berufundfamilie
anberufgeberstrategie leben

#personalbewusst
www.berufundfamilie.de

Zertifikatsver
Berliner Palai



MBI Interner Newsletter

13. Jahrgang - Ausgabe 47 - August 2022

Projekteinwerbungen

Projektbezeichnung: EU 101095207 THRILL
Technology for high-repetition-rate intense laser laboratories
Laufzeit: 01.01.2023-31.12.2026
Projektleiter: D. Stozno
Geldgeber: EU

Projektbezeichnung: EU 101058414 ReMade-at-ARI
Recyclable Materials Development at Analytical Research
Infrastructures
Laufzeit: 01.09.2022-30.08.2026
Projektleiter: D. Stozno
Geldgeber: EU

Bereich A

Projektbezeichnung: SR-XTRS-2DLayMat
MSCA Global Fellowship
Laufzeit: 01.07.2022-30.06.2025
Projektleiter: L. Drescher
Geldgeber: EU

Bereich T

Projektbezeichnung: ERC ADG ULISSES
Ultrafast molecular chirality: twisting light to twist electrons on
ultrafast time scale
Laufzeit: 01.10.2022-30.09.2027
Projektleiter: O. Smirnova
Geldgeber: EU

MBI-Drittmittel in eigener Sache:

Seit dem 1.8.2022 verstärkt Markus Jornitz das Drittmittel-Team zusammen mit Ulrike Hanke und Anja Sato. Sie erreichen uns über die E-Mailadresse:

drittmittel@mbi-berlin.de.

Es wurde ein neues Buch angeschafft: ***Drittmittel für die Forschung: Grundlagen, Erfolgsfaktoren und Praxistipps für das Schreiben von Förderanträgen von Stefanie Preuß.***

Das Buch kann in der Bibliothek des MBI ausgeliehen werden.

MBI's Third-party funds on their own behalf

Since August 1st, 2022, Markus Jornitz has been strengthening the third-party funded team together with Ulrike Hanke and Anja Sato. Please contact us via our email address:

drittmittel@mbi-berlin.de.

A new book was purchased: ***„Drittmittel für die Forschung: Grundlagen, Erfolgsfaktoren und Praxistipps für das Schreiben von Förderanträgen von Stefanie Preuß“.*** (only in German language available.)

The book can be borrowed from the MBI library.

Forschungsergebnisse

Elektronen in Alkohol – konzertierte Bewegungen von Molekülen und Elektronen bei Terahertz-Frequenzen

Lichtinduzierte Ionisation erzeugt freie Elektronen in polaren Flüssigkeiten, etwa Alkoholen. Nach seiner Erzeugung geht das Elektron auf einer ultraschnellen Zeitskala in einen lokalisierten Zustand über. Dieses sogenannte solvatisierte Elektron ist von einer Wolke von mehreren tausend Alkoholmolekülen umgeben. Bei der Lokalisierung werden gekoppelte Schwingungen des Elektrons und seiner Umgebung ausgelöst, welche bis zu 30 Pikosekunden anhalten, Terahertzwellen ausstrahlen und die elektrischen Eigenschaften der Flüssigkeit deutlich verändern.

Die Ionisation von Molekülen in einer Flüssigkeit mittels Licht ist ein fundamentaler physikalischer Prozess, der zu einem negativ geladenen Elektron und einem positiv geladenen Molekül-Ion führt. Nach seiner Freisetzung verliert das Elektron innerhalb einer Pikosekunde ($1 \text{ ps} = 10^{-12} \text{ s}$) fast seine gesamte Überschussenergie und lokalisiert an einem neuen Ort in der Flüssigkeit, umgeben von einer Wolke von neutralen Flüssigkeitsmolekülen. In einer polaren Flüssigkeit haben die Moleküle ein elektrisches Dipolmoment aufgrund von Partialladungen innerhalb der Molekülstruktur. In der Molekülwolke um das Elektron herum sind die Wasserstoffatome der OH-Gruppen des Alkohols auf das Elektron gerichtet und schirmen damit dessen elektrisches Feld ab. Die Abschirmwolke besteht aus mehreren tausend Alkoholmolekülen und hat einen Durchmesser von etwa 10 Nanometern ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). Zusammen mit seiner Abschirmwolke stellt das Elektron ein Quantensystem mit diskreten Energieniveaus dar, welches eine breite optische Absorptionsbande zeigt.

Forscher am MBI haben jetzt die ultraschnelle Antwort von solvatisierten Elektronen in Alkoholen bei Frequenzen im Terahertzbereich ($1 \text{ THz} = 10^{12} \text{ Hz}$) untersucht. Hierzu wurden Alkoholmoleküle durch einen Femtosekunden-Lichtimpuls ionisiert und die Dynamik der erzeugten Elektronen mittels eines durch die Flüssigkeit laufenden THz-Impuls verfolgt. Wie in der neuesten Ausgabe der Fachzeitschrift PNAS Nexus

beschrieben, haben die Wissenschaftler einen neuen Typ von Elementaranregungen des Elektrons und seiner Abschirmwolke beobachtet, ein sogenanntes Polaron. Kollektive Schwingungen des Elektrons und seiner Abschirmwolke bei THz-Frequenzen werden durch die ultraschnelle Lokalisierung des Elektrons hervorgerufen und dauern für eine Zeitspanne von ca. 30 Pikosekunden fort. Die Schwingungsfrequenz zwischen 0,2 und 1,5 THz wird einerseits durch die Elektronenkonzentration und andererseits durch die dielektrischen Eigenschaften des Alkohols bei THz-Frequenzen bestimmt.

Die konzertierte Bewegung des Elektrons und seiner Abschirmwolke aus polarisierten Alkoholmolekülen entspricht einer komplizierten Überlagerung von Quantenzuständen des

Research Highlights

Electrons in alcohol – concerted molecule and charge motions at terahertz frequencies

Light-induced ionization of polar liquids such as alcohols generates free electrons. After generation, an electron localizes on an ultrafast time scale, forming a so-called solvated electron surrounded by a cloud of several thousand alcohol molecules. Upon localization, strong coupled oscillations of the electron and its cloud are triggered, which persist for tens of picoseconds and radiate terahertz waves, thus markedly changing the electric properties of the liquid.

Ionization of molecules in a liquid by light is a basic physical process generating a negatively charged free electron and a positively charged parent ion. After its birth by ionization, the free electron undergoes a fast relaxation within 1 ps ($1 \text{ ps} = 10^{-12} \text{ s}$), by which it loses energy and eventually localizes at a new site in the liquid, surrounded by a cloud of electrically neutral solvent molecules. In a polar liquid, such molecules have an electric dipole moment, due to positive and negative partial charges within their molecular structure. In the solvent cloud around an electron, hydrogen atoms of the OH groups of alcohol molecules tend to point toward the electron, in this way screening its electric field. The screening cloud consists of several thousand alcohol molecules and has a diameter of some 10 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). The localized electron together with its screening cloud displays quantum states at discrete energies and a broad optical absorption band.

Researchers at the MBI have now studied the ultrafast response of solvated electron in alcohols at terahertz (THz) frequencies ($1 \text{ THz} = 10^{12} \text{ Hz}$). Electrons were generated by femtosecond optical ionization of alcohol molecules and their response was mapped by an ultrashort THz pulse transmitted through the excited liquid. As reported in the recent issue of PNAS Nexus they observed a novel type of excitation of the electron and its screening cloud of alcohol molecules, a so-called polaron. Collective oscillations of the electron and the solvent cloud arise at terahertz (THz) frequencies ($1 \text{ THz} = 10^{12} \text{ Hz}$), impulsively triggered by the ultrafast electron localization and persisting for tens of picoseconds. The oscillation frequency between 0.2 and 1.5 THz depends on the electron concentration and the THz dielectric response of the particular alcohol.

The concerted motion of the electron and the cloud of polarized alcohol molecules represents a complex superposition of polaron quantum states which is nonstationary and modulates the electric properties of the liquid periodically. Due to its electric dipole moment, the oscillating system radiates a THz wave, which is detected in the experiments. The polaron oscillations are illustrated in Fig. 1 and essentially consist in a radial motion of the spherical electric charge density around the electron as sketched in panels (+), (0), and (-). The movie gives a qualitative impression of what's going on in the liquid. Its left

MBI Interner Newsletter

13. Jahrgang - Ausgabe 47 - August 2022

Polarons, einem sogenannten Wellenpaket, welches die elektrischen Eigenschaften der Flüssigkeit periodisch moduliert. Aufgrund des elektrischen Dipolmoments strahlt das Quantensystem eine THz-Welle ab, welche in den Experimenten gemessen wird. Solche Polaron-Schwingungen sind in Abbildung 1 illustriert. Im Wesentlichen bestehen sie aus einer radialen Bewegung der kugelförmigen elektrischen Ladung um das Elektron herum, wie in den Teilbildern (+), (0) und (-) skizziert. Der beigefügte Film (Movie) gibt einen qualitativen Eindruck vom Geschehen in der Abschirmwolke um ein Elektron herum wieder. Auf der linken Seite werden Alkoholmoleküle mit OH-Gruppen in Rot gezeigt, deren Positionen um das solvatisierte Elektron (grüne Kugel) fluktuieren. Die räumlichen Korrelationen zwischen den schwingenden Molekülen werden nach einer räumlichen Mittelung der elektrischen Ladungsdichte sichtbar, die auf der rechten Seite gezeigt wird. Die kollektiven kugelförmigen Ladungsdichte-Schwingungen erfahren nahezu keine Dämpfung aufgrund der extrem kleinen Kopplung an andere Elementaranregungen in der Flüssigkeit.

Die von den Forschern entdeckte Polaron-Anregung ist charakteristisch für eine größere Klasse von polaren Flüssigkeiten, einschließlich Wasser. Die Frequenz der Polaron-Schwingungen kann mittels der Elektronenkonzentration in einem weiten Bereich verändert werden und ihre überraschend schwache Dämpfung erlaubt eine direkte Manipulation der zugrundeliegenden Quantendynamik, z.B. mittels einer maßgeschneiderten Folge von ultrakurzen Lichtimpulsen. Auf diese Weise werden die THz-Eigenschaften polarer Flüssigkeiten einer externen Steuerung zugänglich.

panel shows alcohol molecules with OH groups in red, fluctuating around a solvated electron (green sphere). The spatial correlations between oscillating molecules become visible after spatially averaging the microscopic electric charge density as shown in the right panel of the movie. The collective spherical charge-density oscillations experience almost no damping because of their weak coupling to other types of excitations in the liquid.

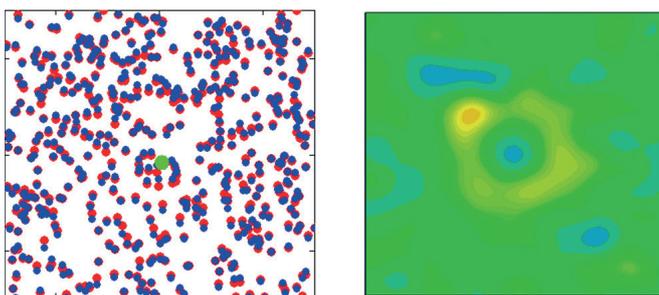
The polaronic response discovered here is characteristic for a larger range of polar liquids, including water. The frequency of polaron oscillations can be tuned via the electron concentration and their weak damping allows for a manipulation of the underlying quantum dynamics, e.g., by interaction with a sequence of tailored ultrashort light pulses. In this way, the THz response of polar liquids becomes amenable to external control.

Original publication:

Coherent polaron dynamics of electrons solvated in polar liquids

Poonam Singh, Jia Zhang, Ahmed Ghalgaoui, Klaus Reimann, Benjamin P. Fingerhut, Michael Woerner, Thomas Elsaesser
PNAS Nexus, Volume 1, Issue 3, July 2022
<https://academic.oup.com/pnasnexus/article/1/3/pgac078/6603821?login=true>

Contact: Poonam Singh, Tel. 1474, M. Woerner, Tel. 1470, T. Elsaesser, Tel. 1400



Film: Links: Cartoon von fluktuierenden Alkoholmolekülen um ein solvatisiertes Elektron (grüne Kugel) herum. Das Gesamtsystem aus Abschirmwolke und Elektron verrichtet eine konzertierte Polaron-Schwingungsbewegung, d.h. eine Oszillationsbewegung der elektrischen Ladungsdichte (Wasserstoffatome: rote Kugeln, der negative Rest des Alkohols: blaue Kugeln). Rechts: Nach einer räumlichen Mittelung der mikroskopischen Ladungsdichte kann man mühelos die kollektive kugelförmige Ladungsdichte-Schwingung erkennen. Die erfährt nahezu keine Dämpfung während der ersten 30 Pikosekunden.

<https://mbi-berlin.de/de/forschung/highlights/details/electrons-in-alcohol-concerted-molecule-and-charge-motions-at-terahertz-frequencies>

Movie: Left panel: Cartoon of fluctuating alcohol molecules around a solvated electron (green ball) performing concerted polaronic charge-density oscillations (hydrogen atoms in red, remaining molecule in blue) Right panel: after spatial averaging of the microscopic electric charge density one easily recognizes the collective spherical charge-density oscillations. The latter experience almost no damping for tens of picoseconds.

MBI Interner Newsletter

13. Jahrgang - Ausgabe 47 - August 2022

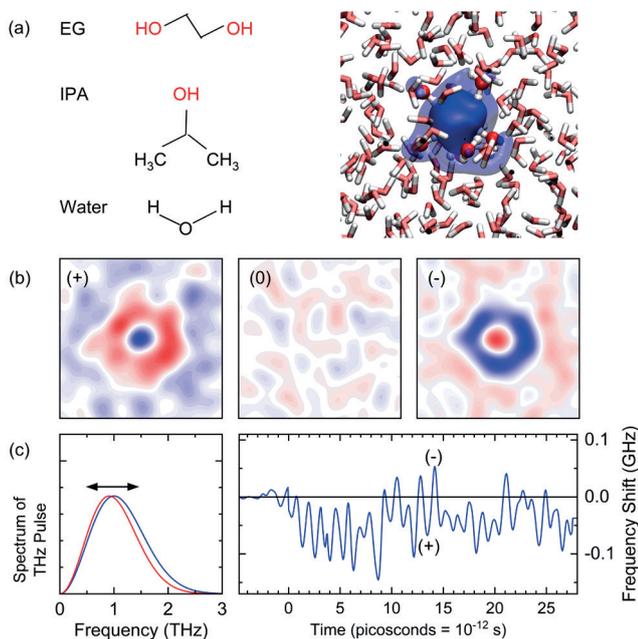


Abbildung 1:

(a) Chemische Strukturen von Ethylenglykol (EG), Isopropanol (IPA) und Wasser (links), zusammen mit einem Cartoon eines in Wasser solvatisierten Elektrons (rechts). Das Elektron (blaue Wolke) zieht die Wasserstoffatome der Wassermoleküle an, was zu einer polarisierten Umgebung führt, die wiederum eine selbstkonsistente Potentialmulde für das Elektron darstellt. Zusammen mit seiner Abschirmwolke bildet das Elektron ein elementares Quantensystem.

(b) Die konzertierte Bewegung des Elektrons mit seiner Abschirmwolke von polarisierten Alkohol- oder Wassermolekülen stellt eine elementare Quantenanregung dar, das sogenannte Polaron. Im Wesentlichen ist das Polaron eine Schwingungsbewegung der kugelförmigen elektrischen Ladungsdichte um das Elektron herum, wie in den Teilbildern (+), (0) und (-) skizziert ist.

(c) Links: Typische Spektren des einfallenden THz-Impulses (rote Linie) und des durch die angeregte Flüssigkeit transmittierten THz-Impulses (blaue Linie). Die Polaron-Schwingungen führen zu einer periodischen Verschiebung der Zentralfrequenz des THz-Impulses, was im rechten Teilbild zu sehen ist. In der gezeigten Messung wurden nur 2 Elektronen pro einer Million Alkoholmolekülen in Ethylenglykol erzeugt.

Figure. 1:

(a) Chemical structures of ethylene glycol (EG), isopropyl alcohol (IPA), and water (left), together with a sketch of an electron solvated in water (right). The electron (blue contour) attracts the hydrogen atoms of water molecules, thereby polarizing its environment and generating a self-consistent potential trap for the electron. The electron solvated this way represents an elementary quantum system.

(b) The concerted motion of the electron and the cloud of polarized alcohol or water molecules represents an elementary excitation, a so-called polaron. The polaron is essentially an oscillatory motion of the spherical electric charge density around the electron as sketched in panels (+), (0), and (-).

(c) Schematic spectra of the incoming THz pulse (red line) and the THz pulse transmitted through the excited sample (blue line). The polaron oscillations result in a periodic shift of the center frequency of the THz pulse, shown on the right-hand side as a function of time after electron generation. In the particular measurement, two electrons per 1 million alcohol molecules were present in ethylene glycol.

Forschungsergebnisse

Tiefenaufgelöste Messung ultraschneller Magnetisierungsdynamik

Die zukünftige Entwicklung funktionaler magnetischer Bauelemente, die auf ultraschneller optischer Spinmanipulation basieren, erfordert ein Verständnis der tiefenabhängigen Spindynamik an den Grenzflächen komplexer magnetischer Heterostrukturen. Am Max-Born-Institut in Berlin wurde nun eine neuartige Methode vorgestellt, die eine solche tiefen- und zeitaufgelöste Untersuchung der Magnetisierung ermöglicht. Mithilfe breitbandiger Femtosekunden-Röntgenpulse konnte damit die transiente Entstehung von Magnetisierungsprofilen innerhalb eines magnetischen Dünnschichtsystems verfolgt werden.

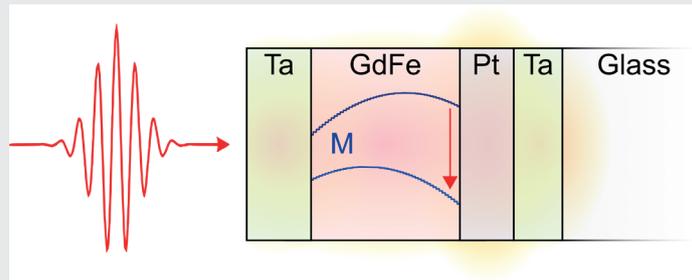
Research Highlights

Following ultrafast magnetization dynamics in depth

The future development of functional magnetic devices based on ultrafast optical manipulation of spins requires an understanding of the depth-dependent spin dynamics across the interfaces of complex magnetic heterostructures. A novel technique to obtain such an "in depth" and time-resolved view on the magnetization has now been demonstrated at the Max Born Institute in Berlin, employing broadband femtosecond soft X-ray pulses to study the transient evolution of magnetization depth profiles within a magnetic thin film system.

Tiefenabhängige ultraschnelle Magnetisierungsdynamik

Depth-dependent ultrafast magnetization dynamics



Schematische Darstellung der ultraschnellen Magnetisierungsdynamik, die durch einen Femtosekunden-Laserpuls innerhalb einer ferrimagnetischen Eisen-Gadolinium-Heterostruktur (GdFe) angeregt wird. Die laserinduzierte Entmagnetisierung der magnetischen GdFe-Schicht wird an der Grenzfläche zur darunter liegenden Platin-Schicht (Pt) verstärkt, da das Platin den Laserpuls viel stärker absorbiert als die anderen Schichten und somit als lokalisierte interne Wärmequelle wirkt.

Schematic view of the ultrafast magnetization dynamics induced by a femtosecond laser pulse within a ferrimagnetic iron-gadolinium (GdFe) heterostructure. The laser-induced demagnetization of the magnetic GdFe layer is enhanced towards the interface with the platinum (Pt) layer underneath, because the Pt absorbs the laser pulse much stronger than the other layers and therefore acts as a localized internal heat source.

In der heutigen Informationstechnik bestehen funktionale magnetische Bauelemente in der Regel aus Stapeln dünner Schichten magnetischer und nichtmagnetischer Materialien, die jeweils nur etwa einen Nanometer dick sind. Der Aufbau des Schichtsystems, die Auswahl der Atomarten und die sich daraus ergebenden Grenzflächen zwischen den einzelnen Schichten sind entscheidend für die Funktion des Bauteils, wie auch beispielsweise in den Leseköpfen aller magnetischen Festplatten, die auf dem Riesenmagnetowiderstand (GMR-Effekt) basieren. In den letzten Jahren wurde gezeigt, dass ultrakurze Laserimpulse bis hinab in den Femtosekundenbereich (eine Femtosekunde = 10^{-15} s) die Magnetisierung eines Materials effektiv und sehr schnell beeinflussen können, wodurch der Magnetisierungszustand vorübergehend geändert oder sogar dauerhaft umgeschaltet werden kann. Während diese Ef-

In current information technology, functional magnetic devices typically consist of stacks of thin layers of magnetic and nonmagnetic materials, each only about one nanometer thick. The stacking, choice of atomic species, and the resulting interfaces between the layers are key to the particular function, for example as realized in the giant magnetoresistance read heads in all magnetic hard drives. Over the last years, it was shown that ultrashort laser pulses down to the femtosecond range (1 femtosecond = 10^{-15} s) can effectively and very fast manipulate the magnetization in a material, allowing a transient change or even permanent reversal of the magnetization state. While these effects have been predominantly studied in simple model systems, future applications will require an understanding of magnetization dynamics in more complex structures with nanometer-scale heterogeneity.

MBI Interner Newsletter

13. Jahrgang - Ausgabe 47 - August 2022

fekte bisher vor allem in einfachen Modellsystemen untersucht wurden, erfordern künftige Anwendungen ein Verständnis der Magnetisierungsdynamik auch in komplexeren Strukturen mit Heterogenität auf der Nanometerskala.

ForscherInnen des MBI haben nun gemeinsam mit KollegInnen des IKZ, ISAS, sowie des Helmholtz-Zentrums Berlin eine neuartige Methode vorgestellt, welche es erlaubt, die räumliche und zeitliche Entwicklung laserinduzierter Spindynamik innerhalb einer komplexen magnetischen Heterostruktur auf Femto- und Pikosekundenzeitskalen aufzulösen. Mithilfe ultrakurzer weicher Röntgenpulse einer Wellenlänge von etwa acht Nanometern, die mit einer breitbandigen, auf der Erzeugung höherer Harmonischer („HHG“) basierenden Laborquelle erzeugt wurden, konnten sie die Entstehung eines magnetischen Tiefenprofils innerhalb einer zehn Nanometer dünnen ferrimagnetischen Eisen-Gadolinium-Schicht (FeGd) verfolgen, die zuvor mit einem Femtosekunden-Laserpuls im Infrarotbereich (IR) angeregt wurde. Die zugrundeliegende Sensitivität auf die Magnetisierung beruht auf dem transversalen magnetooptischen Kerr-Effekt (T-MOKE), der zu einer magnetisierungsabhängigen Reflektivität führt und zudem elementselektiv ist. Zum Erhalt von Tiefeninformation innerhalb der in Abb. 1 dargestellten Struktur entwickelte das Team den folgenden Ansatz: Wenn die Strahlung eine Wellenlänge nahe einer atomaren Resonanz hat, ändert sich ihre Eindringtiefe in das Material stark. Wie weit bestimmte spektrale Bestandteile des breitbandigen Röntgenpulses in das Material „hineinschauen“ können, hängt also von ihrer genauen Wellenlänge ab. Folglich kann eine Tiefeninformation aus den nach der Reflektion beobachteten spektralen Änderungen gewonnen werden. Für jeden Zeitpunkt nach Anregung lässt sich dabei das Magnetisierungsprofil durch Vergleich der gemessenen T-MOKE-Spektren mit von magnetischen Streusimulationen berechneten Spektren ermitteln (siehe Abb. 2).

Im Experiment regte der 27 Femtosekunden kurze IR-Laserimpuls, der die Magnetisierungsänderung induzierte, die Heterostruktur von Seiten der Tantalenschicht aus an, welche die eigentlich magnetische FeGd-Schicht bedeckt. In den ersten hundert Femtosekunden nach Anregung wurde daraufhin eine homogene Entmagnetisierung der FeGd-Schicht beobachtet. Zu ihrer Überraschung stellten die WissenschaftlerInnen jedoch fest, dass die laserinduzierte Magnetisierungsänderung zu späteren Zeiten von etwa einer Pikosekunde auf der dem einfallenden Laserpuls abgewandten Seite der FeGd-Schicht am stärksten war. Vorübergehend bildet sich dabei ein inhomogenes Magnetisierungsprofil, das eine verstärkte Entmagnetisierung an der Grenzfläche zur dünnen darunterliegenden Platinschicht zeigt. Anhand der Zeitskala des sich entwickelnden Magnetisierungsgradienten konnten die verantwortlichen mikroskopischen Prozesse identifiziert werden: Entgegen anfänglicher Erwartungen konnte ein signifikanter Einfluss ultraschnellen Spintransports durch die Grenzfläche ausgeschlossen werden, da dieser bereits während der ersten

Researchers from MBI together with their colleagues from IKZ, ISAS, and Helmholtz-Zentrum Berlin have now demonstrated a novel technique that allows resolving the spatiotemporal evolution of laser-induced spin dynamics within a complex magnetic heterostructure on the femto- and picosecond timescale. Using ultrashort soft X-ray pulses of about 8 nanometer wavelength generated by a broadband laboratory-scale source based on High-Harmonic-Generation (HHG), they were able to follow the magnetization depth profile evolving within a 10-nanometer thin ferrimagnetic iron-gadolinium (FeGd) layer after it was hit by a femtosecond infrared (IR) laser pulse. The basic sensitivity to the magnetization stems from the transverse magneto-optical Kerr effect (T-MOKE) which leads to a magnetization-dependent reflectivity in combination with being element-specific. To obtain depth information within the structure depicted in Fig. 1, the team developed the following approach: When the wavelength of the radiation is close to an atomic resonance, its penetration depth into the material strongly changes. How far certain spectral components of the broadband soft X-ray pulse can “look” into the material thus depends on their exact wavelength. Consequently, this depth information can be retrieved via the spectral changes observed after reflection. The magnetization profile at each point in time is determined by fitting the measured T-MOKE spectra with calculated spectra obtained from magnetic scattering simulations (see Fig. 2).

In the experiment, the 27-femtosecond short IR laser pulse triggering the changes in the magnetization was incident on the tantalum layer covering the actual magnetic FeGd layer. In the first few hundreds of femtoseconds, a homogeneous demagnetization of the FeGd layer was observed. To their surprise, however, the scientists found that at later times of around one picosecond, the reduction of the magnetization due to the laser pulse was strongest on the side of the FeGd layer not facing the incident laser pulse. Transiently, an inhomogeneous magnetization profile forms, reflecting enhanced demagnetization at the interface towards the thin platinum layer underneath. Based on the timescale of the evolving magnetization gradient, the responsible microscopic processes could be identified: Contrary to initial expectations, a significant influence due to ultrafast spin transport phenomena across the interface could be ruled out, as this would lead to magnetization gradients already within the first hundreds of femtoseconds. Instead, the observed effect arises due to heat injection from the buried platinum layer into the magnetic layer. The platinum absorbs the IR laser pulse much stronger than the other layers in the heterostructure and therefore acts as a localized internal heat source.

The approach demonstrated by the researchers allows following the evolution of magnetization profiles with femtosecond temporal and nanometer spatial resolution within the so far difficult-to-access depth of a sample. Thus, it paves a way to testing fundamental theoretical predictions in ultrafast

MBI Interner Newsletter

13. Jahrgang - Ausgabe 47 - August 2022

hundert Femtosekunden zu Magnetisierungsgradienten führen müsste. Stattdessen entsteht der beobachtete Effekt durch Wärmezufuhr aus der tieferen Platinschicht in die magnetische Schicht, da das Platin den IR-Laserpuls viel stärker absorbiert als die anderen Schichten der Heterostruktur und somit als lokalisierte interne Wärmequelle wirkt.

Kontakt: M. Hennecke, Tel. 1360, D. Schick, Tel. 1311

magnetism as well as studying laser-induced spin and heat transport phenomena in device-relevant geometries.

Original publication:

Ultrafast element- and depth-resolved magnetization dynamics probed by transverse magneto-optical Kerr effect spectroscopy in the soft x-ray range
 Martin Hennecke, Daniel Schick, Themistoklis Sidiropoulos, Felix Willems, Anke Heilmann, Martin Bock, Lutz Ehrentraut, Dieter Engel, Piet Hessing, Bastian Pfau, Martin Schmidbauer, Andreas Furchner, Matthias Schnuerer, Clemens von Korff Schmising, Stefan Eisebitt
 Phys. Rev. Research 4, L022062 (2022)
<https://journals.aps.org/prresearch/abstract/10.1103/PhysRevResearch.4.L022062>

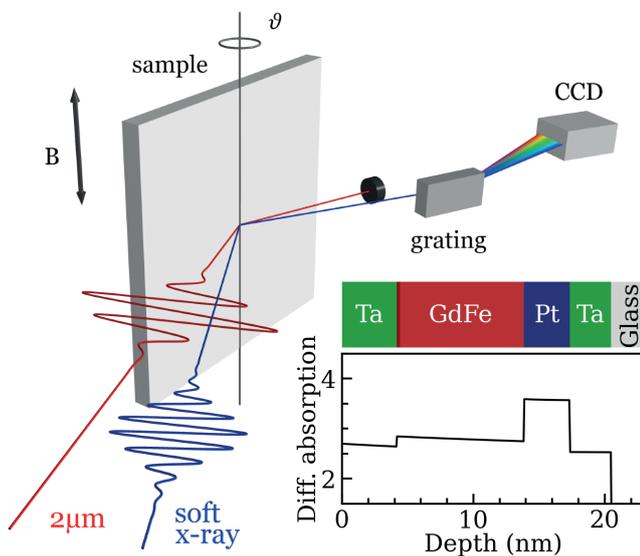


Abb.1: Schematische Darstellung des experimentellen Spektroskopieaufbaus, der für die zeitaufgelösten T-MOKE-Messungen verwendet wurde. Die Probe wird mit Femtosekunden-Laserimpulsen im Infrarotbereich ($2\mu\text{m}$ Wellenlänge) optisch angeregt und ihr Magnetisierungszustand mit Femtosekunden-Weichröntgenpulsen nach einem variablen Zeitintervall gemessen. Das Spektrum der reflektierten weichen Röntgenstrahlung wird durch ein Gitter in der horizontalen Ebene aufgespalten und mit einer CCD-Kamera aufgenommen. Der eingefügte Graph zeigt einen schematischen Querschnitt durch die untersuchte Heterostruktur über der tiefenabhängigen Absorption des IR-Laserimpulses, die in der Pt-Schicht (blau) stark erhöht ist.

Fig.1: Schematic illustration of the experimental spectroscopy setup used for the time-resolved T-MOKE measurements. The sample is optically excited by femtosecond infrared laser pulses ($2\mu\text{m}$ wavelength) and probed using femtosecond soft X-ray pulses after a variable time interval. The spectrum of the reflected soft X-rays is horizontally dispersed by a grating and recorded using a CCD camera. The inset shows a schematic cross section of the studied heterostructure and the depth-dependent absorption of the IR laser pulse, which is enhanced in the Pt layer (blue).

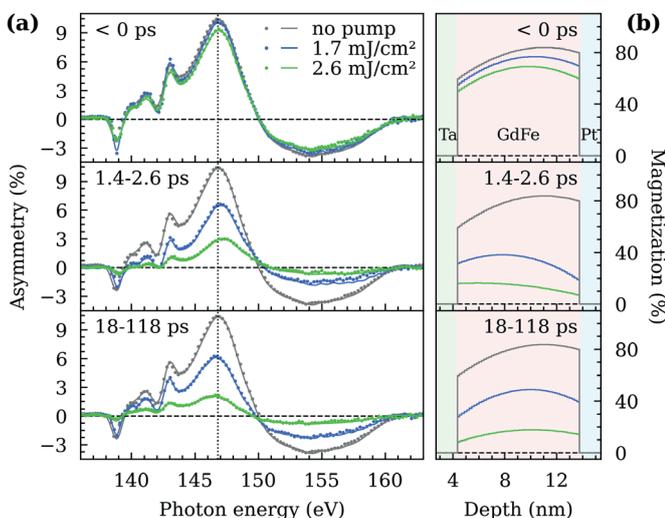


Abb.2: Entstehung transienter Magnetisierungsprofile entlang der Tiefe der laserangeregten Heterostruktur, die aus einer ferrimagnetischen Eisen-Gadolinium-Schicht (GdFe, rot unterlegt) umgeben von Tantal- (Ta, grün unterlegt) und Platinschichten (Pt, blau unterlegt) besteht. (a) Zeitaufgelöste T-MOKE-Spektren (Punkte), die zu verschiedenen Zeiten (Pikosekunden, ps) gemessen wurden, nachdem die IR-Laserimpulse die Probe mit unterschiedlichen Intensitäten (schwarz, blau, grün) angeregt haben. Die experimentellen Daten wurden mit hoher Übereinstimmung durch magnetische Streusimulationen reproduziert (Linien). (b) Magnetisierungstiefenprofile innerhalb der GdFe-Schicht, die aus den Simulationen bestimmt wurden.

Fig.2: Formation of transient magnetization depth profiles within a laser-excited heterostructure consisting of a ferrimagnetic iron-gadolinium (GdFe, shaded red) layer between adjacent tantalum (Ta, shaded green) and platinum (Pt, shaded blue) layers. (a) Time-resolved TMOKE spectra (dots) recorded at different times (picoseconds, ps) after the IR laser pulses hit the sample with different intensities (black, blue, green). The experimental data is fitted with high accuracy by magnetic scattering simulations (lines). (b) Magnetization depth profiles within the GdFe layer retrieved from the simulations.

MBI Interner Newsletter

13. Jahrgang - Ausgabe 47 - August 2022

Forschungsergebnisse

Optisch-Induzierte Magnetisierungsumschaltung auf der Nanometerskala

Die ultraschnelle, optische Kontrolle der Magnetisierung auf der Nanometer-Längenskala ist unabdingbar für konkurrenzfähige Bitgrößen in zukünftigen Datenspeichertechnologien. ForscherInnen des Max-Born-Instituts in Berlin und der Großforschungseinrichtung Elettra in Triest, Italien, konnten erstmals die ultraschnelle Entstehung rein optischer Schaltvorgänge durch Erzeugung nanometerskaliger Gitter mittels Interferenz zweier Pulse im extrem ultravioletten Spektralbereich demonstrieren.

Die Physik der optisch induzierten Magnetisierungsdynamik auf der Femtosekunden-Zeitskala ist vor allem aus zwei Gründen von großem Interesse: Erstens, um die grundlegenden mikroskopischen Mechanismen der ultraschnellen Spin-Dynamik im thermischen Nichtgleichgewicht zu verstehen, und zweitens, um potenzielle Anwendungen für die nächste Generation der Informationstechnologie zu erforschen, die den Bedarf an schnelleren und energieeffizienteren Datenspeichern decken soll. Einer der interessantesten und vielversprechendsten Mechanismen für dieses Vorhaben ist das „all-optical switching“ (AOS), bzw. die „optisch-induzierte Magnetisierungsumschaltung“. Hier wird der Magnetisierungszustand mit einem einzigen Femtosekunden-Laserpuls zwischen zwei Richtungen umgeschaltet, entsprechend der beiden Zustände „0“ und „1“ im binären Computersystem. Um eine rein optische Kontrolle des magnetischen Schaltens in technologischen Anwendungen zu realisieren, müssen jedoch insbesondere ultraschnelle, laterale Transportprozesse im Nanometerbereich erforscht werden, die letztlich mit AOS konkurrieren. Da die Wellenlänge von Lichtimpulsen im sichtbaren Bereich einige hundert Nanometer beträgt, ist der Zugang zur Nanometerskala stark eingeschränkt. Eine elegante Möglichkeit, diese Einschränkungen zu überwinden, ist die Reduzierung der Wellenlängen auf nur wenige Nanometer im extrem ultravioletten (XUV) Spektralbereich. Dann können in Experimenten mit sogenannten transienten Gittern durch Interferenz von zwei XUV-Strahlen ein Anregungsmuster im Nanometerbereich erreicht werden. Diese neuartige Methode wurde an der EIS-Timer-Beamline des Freie-Elektronen-Lasers (FEL) FERMI in Triest, Italien, entwickelt.

Nun haben WissenschaftlerInnen des MBI sowie des FEL in Triest ein solches transientes magnetisches Gitter (TMG) mit einer Periodizität von $\Lambda_{\text{TMG}} = 87$ nm in einer ferrimagnetischen GdFe-Legierungsprobe angeregt. Die räumliche Entwicklung des Magnetisierungsgitters wurde durch Beugung eines zeitverzögerten, dritten XUV-Pulses untersucht, der eine Wellenlänge von 8.3 nm (150 eV) hatte und damit resonant zur Gd-N Kante war. Da AOS eine stark nichtlineare Abhängigkeit als Funktion der Anregung zeigt, erwartet man eine charakteris-

Research Highlights

All-optical switching on a nanometer scale

Ultrafast light-driven control of magnetization on the nanometer length scale is key to achieve competitive bit sizes in next generation data storage technology. Researchers at Max Born Institute in Berlin and of the large scale facility Elettra in Trieste, Italy, have successfully demonstrated the ultrafast emergence of all-optical switching by generating a nanometer scale grating by interference of two pulses in the extreme ultraviolet spectral range.

The physics of optically driven magnetization dynamics on the femtosecond time scale has become of great interest for two main reasons: first, understanding the fundamental mechanisms of nonequilibrium, ultrafast spin dynamics and, second, the potential application in the next generation of information technology with a vision to satisfy the need for both faster and more energy efficient data storage devices. All-optical switching (AOS) is one of the most interesting and promising mechanisms for this endeavor, where the magnetization state can be reversed between two directions with a single femtosecond laser pulse, serving as “0s” and “1s”. While the understanding of the temporal control of AOS has progressed rapidly, knowledge on ultrafast transport phenomena on the nanoscale, important for the realization of all-optical magnetic reversal in technological applications, has remained limited due to the wavelength limitations of optical radiation. An elegant way to overcome these restrictions is to reduce the wavelengths to the extreme ultraviolet (XUV) spectral range in transient grating experiments. This technique is based on the interference of two XUV beams leading to a nanoscale excitation pattern and has been pioneered at the EIS-Timer beamline of the free-electron laser (FEL) FERMI in Trieste, Italy.

Now, researchers from the MBI and the FEL facility FERMI have excited a transient magnetic grating (TMG) with a periodicity of $\Lambda_{\text{TMG}} = 87$ nm in a ferrimagnetic GdFe alloy sample. The spatial evolution of the magnetization grating was probed by diffracting a time-delayed, third XUV pulse tuned to the Gd *N*-edge at a wavelength of 8.3 nm (150 eV). As AOS exhibits a strongly non-linear response to the excitation, one expects characteristic symmetry changes of the evolving magnetic grating distinct from the initial sinusoidal excitation pattern. This information is directly encoded in the diffraction pattern: in case of a linear magnetization response to the excitation and no AOS, a sinusoidal TMG is induced and the second diffraction order is suppressed. However, if AOS occurs, the grating shape changes, now allowing for a pronounced second order diffraction intensity. In other words, the researchers identified the intensity ratio between the second and first order (R_{21}) as a fingerprint observable for AOS in diffraction experiments.

MBI Interner Newsletter

13. Jahrgang - Ausgabe 47 - August 2022

tische Symmetrieänderung des sich entwickelnden magnetischen Gitters, die sich von dem ursprünglichen sinusförmigen Anregungsmuster unterscheidet. Diese Information ist direkt im Beugungsmuster kodiert. Für niedrige Anregungsenergien, bei der kein AOS auftritt, bleibt die Änderung der Magnetisierung linear und die zweite Beugungsordnung ist unterdrückt. Tritt jedoch AOS auf, ändert sich die Form des Gitters und ermöglicht nun eine ausgeprägte Beugungsintensität zweiter Ordnung. Mit anderen Worten, die ForscherInnen konnten das Intensitätsverhältnis zwischen der zweiten und der ersten Ordnung (R_{21}) als eine sehr empfindliche Messgröße für AOS in Beugungsexperimenten identifizieren.

Abbildung 1 a) und b) zeigt die zeitliche Entwicklung der Beugungsintensitäten erster und zweiter Ordnung nach der optischen Anregung. Man beobachtet vergleichbare Abklingzeiten von $\tau_{RE,first} = (81 \pm 7)$ ps und $\tau_{RE,second} = (90 \pm 24)$ ps, die mit den lateralen Wärmediffusionsraten der nanoskaligen Gitter übereinstimmen. Abbildung 1 c) zeigt das Verhältnis R_{21} in Abhängigkeit von der Anregungsfluenz bei einer konstanten Pump-Probe-Verzögerung von 50 ps. Bei niedriger Fluenz unterhalb der Schwelle von AOS beobachtet das Forschungsteam einen konstanten und kleinen Wert von R_{21} von etwa 1%. Erhöht man jedoch die Anregung, so steigt R_{21} stetig auf ~8% an, was erste Hinweise auf AOS auf der Nanometer-Längenskala liefert. Das Verhältnis R_{21} als Funktion der Zeit ist in Abbildung 1 d) für zwei ausgewählte Anregungsfluenzen dargestellt. Für die größere Fluenz (rote Kreise) weist R_{21} ein erhöhtes und konstantes Verhältnis von etwa 6% über das gemessene Zeitintervall von 150 ps auf. Dies ist ein weiterer Hinweis auf eine entstandene stabile magnetische Struktur, die als optisch geschaltete Domänen, d.h. AOS, interpretiert werden muss. Schließlich konnten die ForscherInnen ihre Beobachtungen durch ergänzende, rein optische Messungen im realen Raum mittels zeitaufgelöster Faraday-Mikroskopie bestätigen.

In zukünftigen transienten Gitterexperimenten mit deutlich kleineren Periodizitäten bis hinunter zu <20 nm erwarten die ForscherInnen den Einfluß von ultraschnellen lateralen Transportprozesse zu sehen, die die Anregungsgradienten innerhalb weniger Pikosekunden ausgleichen können und damit die fundamentalen räumlichen Begrenzung von AOS festlegen.

Figure 1 a) and b) show the temporal evolution of the diffracted first and second order intensities, respectively. The researchers find comparable decay times of $\tau_{RE,first} = (81 \pm 7)$ ps and $\tau_{RE,second} = (90 \pm 24)$ ps, consistent with lateral heat diffusion rates of the nanoscale gratings. Figure 1 c), shows the ratio R_{21} as a function of the excitation fluence at a constant pump-probe delay of 50 ps. For low fluence below the threshold of AOS, the research team observed a constant and small value of R_{21} of around 1%. Increasing the excitation, however, R_{21} shows a steady rise to ~8%, providing first evidence for AOS on the nanometer length scale. The ratio R_{21} as a function of time is shown in Figure 1 d) for two selected excitation fluences. For the larger fluence (red circles) R_{21} exhibits an elevated and constant ratio of about 6% over the measured time interval of 150 ps, indicative of a stable magnetic structure, which is interpreted as optically reversed domains, i.e. AOS. Finally, the researchers were able to confirm their observations by complementary all-optical measurements in real space using time-resolved Faraday microscopy.

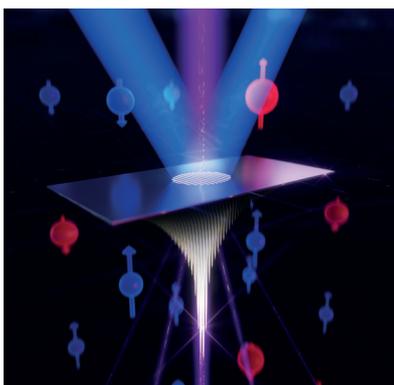
In future transient grating experiments with significantly smaller periodicities down to <20 nm, ultrafast lateral transport processes are expected to equilibrate the excitation gradients within a few picoseconds and will therefore define the fundamental spatial limits of AOS.

Original publication:

All-Optical Switching on the Nanometer Scale Excited and Probed with Femtosecond Extreme Ultraviolet Pulses.

K. Yao, F. Steinbach, M. Borchert, D. Schick, D. Engel, F. Bencivenga, R. Mincigrucci, L. Foglia, E. Pedersoli, D. D. Angelis, M. Pancaldi, B. Wehinger, F. Capotondi, C. Masciovecchio, S. Eisebitt and C. v. Korff Schmising
Nano Letters 22, no. 11 (2022): 4452–58

<https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.nanolett.2c01060>



Die Interferenz von zwei Pulsen im extrem ultravioletten Spektralbereich führt zu einem nanoskaligen Anregungsmuster in einer ferrimagnetischen Legierung. Das Beugungsmuster eines dritten Pulses erlaubt die Beobachtung des ultraschnellen magnetischen Schaltens.

Interference of two pulses in the extreme ultraviolet spectral range leads to a nanoscale excitation pattern in a ferrimagnetic alloy. The diffraction pattern of a third pulse probes the ultrafast emergence of all-optical switching.

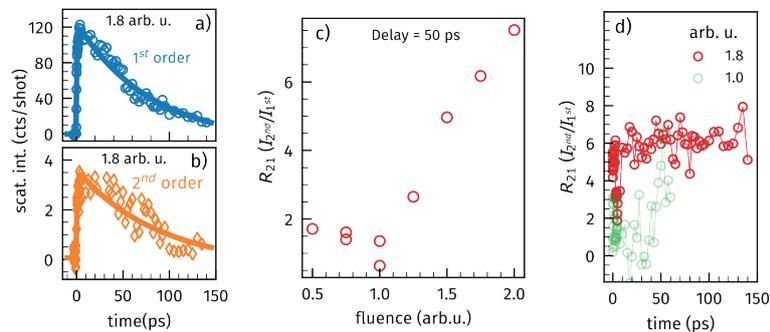


Abb. 1: Beugungsintensität a) erster und b) zweiter Ordnung als Funktion der Zeitverzögerung nach optischer Anregung. c) Intensitätsverhältnis zwischen der zweiten und ersten Beugungsordnung (R_{21}) als Funktion der Anregungsfluenz bei einer Verzögerungszeit von 50 ps. Bei einer Fluenz von 1,3 arb.u. beginnt das transiente Magnetisierungsgitter seine Form zu verändern, was zum Auftreten der zweiten Beugungsordnung führt, einem Fingerabdruck für AOS. d) Das Verhältnis R_{21} für eine hohe Anregungsfluenz (rote Kreise) weist ein großes und konstantes Verhältnis auf, das wir als das Auftreten einer stabilen magnetischen Struktur und somit als zusätzlichen Hinweis für AOS auf der Nanometerskala identifizieren.

Fig. 1 a) First and b) second order diffraction intensity as a function of the time delay between the pump and probe beams. c) Intensity ratio between the second and first diffraction order (R_{21}) as a function of excitation fluence at a delay of 50 ps. At a fluence of 1.3 arb.u., the transient magnetization grating starts to change its shape leading to the emergence of the second diffraction order, a fingerprint for AOS. d) The ratio R_{21} for a high excitation fluence (red circles) exhibits a large and constant ratio, which we identify as the emergence of a stable magnetic structures and therefore as additional evidence for AOS on the nanometer spatial scale.

Forschungsergebnisse

Attosekunden-Pump Attosekunden-Probe-Spektroskopie

Ein internationales Team von Wissenschaftlern des MBI, des University College London und ELI-ALPS in Szeged, hat ein neuartiges Attosekunden-Pump Attosekunden-Probe-Experiment zur Untersuchung von nichtlinearen Multiphotonen-Prozessen demonstriert. Die Messungen liefern Einblicke in einen der fundamentalsten Prozesse der nichtlinearen Optik. Die detaillierten Ergebnisse der experimentellen und theoretischen Untersuchungen wurden im Fachmagazin *Optica* veröffentlicht.

Pump-Probe-Spektroskopie auf einer Femtosekunden-Zeitskala (1 Femtosekunde = 10^{-15} Sekunden) hat das Verständnis von extrem schnellen Prozessen revolutioniert. Die Dissoziation eines Moleküls kann zum Beispiel durch einen Femtosekunden-Laserpuls initiiert und dann mithilfe eines zeitlich verzögerten Femtosekunden-Probeimpulses in Echtzeit beobachtet werden. Der Probeimpuls fragt dabei den sich ändernden Zustand des Moleküls bei unterschiedlichen zeitlichen Verzögerungen ab. Dies ermöglicht es, einen Film der molekularen Dissoziation aufzunehmen. Diese leistungsfähige Technik wurde 1999 mit dem Nobelpreis in Chemie ausgezeichnet.

Einige Prozesse in der Natur sind jedoch noch schneller und spielen sich auf einer Attosekunden-Skala (1 Attosekunde = 10^{-18} Sekunden) ab. Es wäre daher ideal, einen ultraschnellen Prozess mit einem Attosekunden-Pumpimpuls zu initiieren, und das System mit einem Attosekunden-Probeimpuls abzufragen. Bisher wurde Attosekunden-Pump Attosekunden-Probe-Spektroskopie für relativ einfache Prozesse gezeigt, in denen zwei Photonen absorbiert wurden. Da Attosekunden-Pump Attosekunden-Probe-Spektroskopie jedoch sehr schwierig ist, wurden die meisten Experimente in der Attosekunden-Wissenschaft mit nur einem Attosekunden-Puls sowie einem Femtosekunden-Puls durchgeführt.

Die Wissenschaftler konnten nun ein Pump-Probe-Experiment demonstrieren, in dem komplexe Multiphotonen-Prozesse mithilfe zweier Attosekunden-Pulszüge untersucht wurden. Dieses Experiment erforderte die Erzeugung sehr intensiver Attosekunden-Pulse, für das ein großes Lasersystem benutzt wurde. Daher haben die Wissenschaftler das Experiment im größten Labor des MBI durchgeführt. Zudem mussten die beiden Attosekunden-Pulse mit einer hohen zeitlichen Stabilität im Attosekunden-Bereich sowie einer hohen räumlichen Stabilität im Nanometer-Bereich überlappt werden. Dies erklärt, warum diese Experimente so herausfordernd sind.

Eine künstlerische Darstellung des Experiments ist in Abb. 1 gezeigt, wo zwei Attosekunden-Pulszüge mit einem Argon-Atom wechselwirken. Nach der Absorption von vier Photonen kommt es zu der Freisetzung von drei Elektronen aus dem Atom. Dabei gibt es viele Möglichkeiten, wie genau diese Photonen absorbiert werden. Um im Detail herauszufinden, wie die

Research Highlights

All-attosecond pump-probe spectroscopy

An international team of researchers from the MBI, University College London and ELI-ALPS in Szeged, Hungary, has demonstrated attosecond-pump attosecond-probe spectroscopy to study non-linear multi-photon ionization of atoms. The obtained results provide insights into one of the most fundamental processes in non-linear optics. The detailed experimental and theoretical results have been published in *Optica*.

Femtosecond (1 femtosecond = 10^{-15} sec.) pump-probe spectroscopy has revolutionized the understanding of extremely fast processes. For instance, the dissociation of a molecule can be initiated by a femtosecond laser pump pulse, and can then be observed in real time using a time-delayed femtosecond probe pulse. The probe pulse interrogates the evolving state of the molecule at different time delays, making it possible to record a movie of the molecular dissociation. This powerful technique was awarded with the Nobel Prize in Chemistry in 1999.

Some processes in nature, however, are even faster and take place on attosecond timescales (1 attosecond = 10^{-18} seconds). It would therefore be ideal to initiate an ultrafast process using an attosecond pump pulse, and to interrogate the system under investigation using an attosecond probe pulse. So far, attosecond-pump attosecond-probe spectroscopy has been demonstrated for relatively simple processes involving the absorption of two photons. However, since all-attosecond pump-probe spectroscopy is very challenging, most experiments in attosecond science use only one attosecond (pump or probe) pulse in combination with one femtosecond pulse.

The researchers have now been able to demonstrate a pump-probe experiment, in which complex multi-photon ionization processes were studied using two attosecond pulse trains. This experiment required the generation of very intense attosecond pulses, for which a large laser system was used. Consequently, the researchers performed the experiment in the largest laboratory that is available at the MBI. At the same time, the two attosecond pulses had to be overlapped with attosecond temporal and nanometer spatial stability. This explains why these experiments are so challenging.

An artistic visualization of the experiment is presented in Fig. 1, showing two attosecond pulse trains interacting with an argon atom. Following the absorption of four photons from the attosecond pulses, three electrons were removed from the atom. There are many possible ways in which this multi-photon absorption may take place. To find out in detail how the electrons were removed from the atom, the researchers varied the time delay between the two attosecond pulses and observed how many ions were generated.

As shown in Fig. 2, the yield of the doubly-charged Ar^{2+} ions (red curve) was almost independent of the time delay. In

MBI Interner Newsletter

13. Jahrgang - Ausgabe 47 - August 2022

Elektronen freigesetzt wurden, haben die Forscher die zeitliche Verzögerung zwischen den beiden Attosekunden-Pulsen variiert und beobachtet, wie viele Ionen jeweils erzeugt werden. Wie in Abb. 2 gezeigt wird, war die Zahl der doppelt geladenen Ar^{2+} -Ionen (rote Kurve) fast unabhängig von der zeitlichen Verzögerung zwischen den Attosekunden-Pulsen. Im Gegensatz dazu zeigt die Zahl der dreifach geladenen Ar^{3+} -Ionen (blaue Kurve) ausgeprägte Oszillationen. Mithilfe dieser Messungen konnten die Wissenschaftler schlussfolgern, dass die Multi-photonen-Ionisation in drei Stufen erfolgt: In jeder der ersten beiden Stufen wird jeweils ein einzelnes Photon absorbiert, wohingegen in der dritten Stufe zwei Photonen gleichzeitig absorbiert werden. Diese Ergebnisse konnten mithilfe von Computer-Simulationen, die am University College London und bei ELI-ALPS durchgeführt wurden, bestätigt werden. Die hier entwickelte experimentelle Technik könnte in Zukunft dafür eingesetzt werden, komplexe Prozesse nicht nur in Atomen, sondern auch in Molekülen, Festkörpern und Nanostrukturen zu untersuchen. Eine aufregende Frage, die die Forscher damit hoffen, beantworten zu können, besteht darin, wie mehrere Elektronen miteinander wechselwirken. Dies könnte dabei helfen, die fundamentalsten Prozesse auf den kürzesten Zeitskalen besser zu verstehen.

contrast, the yield of the triply-charged Ar^{3+} ions (blue curve) shows pronounced oscillations when varying the time delay between the two attosecond pulses. The researchers were able to conclude that the multi-photon absorption occurred in three steps: In each of the first two steps a single photon was absorbed, whereas in the third step two photons were absorbed at the same time. These results were confirmed by computer simulations that were carried out at University College London and at ELI ALPS.

The developed experimental technique can be used in the future to study complex processes not only in atoms, but also in molecules, solids and nanostructures. An exciting question that the researchers hope to answer is how several electrons interact with each other. This could help to understand the most fundamental processes on the shortest timescales.

Contact: M. Kretschmar, Tel. 1271, B. Schütte, Tel. 1295

Original publication:

Attosecond investigation of extreme-ultraviolet multi-photon multi-electron ionization.

M. Kretschmar, A. Hadjipittas, B. Major, J. Tümmeler, I. Will, T. Nagy, M. J. J. Vrakking, A. Emmanouilidou and B. Schütte

Optica 9, Vol. 9, Issue 6, pp. 639-644 (2022)

<https://opg.optica.org/optica/fulltext.cfm?uri=optica-9-6-639&id=476812>

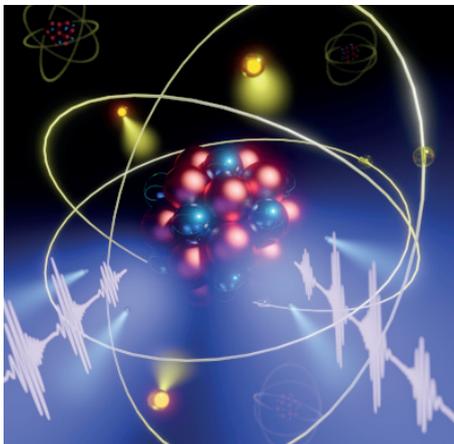


Abb. 1: Zwei intensive Attosekunden-Pulszüge (weiß) wechselwirken mit einem Atom, welches zur Freisetzung von drei Elektronen (gelb) führt. Während dieses Prozesses werden vier Photonen (blau) absorbiert. Die Wahrscheinlichkeit der Multiphotonen-Absorption kann kontrolliert werden, indem der zeitliche und der räumliche Überlapp zwischen den Attosekunden-Pulsen variiert werden.

Fig. 1: Two intense attosecond pulse trains (white) interact with an atom, resulting in the emission of three electrons (yellow). During this process four photons (blue) are absorbed. The probability of this process can be controlled by varying the temporal and the spatial overlap between the two attosecond pulses.

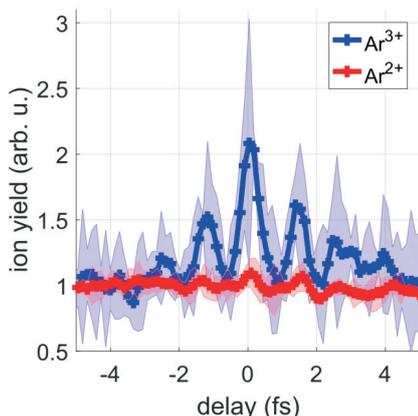


Abb. 2: Zahl der Ar^{2+} - und Ar^{3+} -Ionen als Funktion der zeitlichen Verzögerung zwischen den beiden Attosekunden-Pulszügen. Die Zahl der Ar^{2+} -Ionen (rote Kurve) verändert sich nur leicht in Abhängigkeit der zeitlichen Verzögerung. Dagegen zeigt die Zahl der Ar^{3+} -Ionen eine deutliche Oszillation mit einer Periode von 1,3 fs. Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass Ar^{2+} durch die nacheinanderfolgende Absorption von zwei Photonen erzeugt wird. Anschließend werden zwei zusätzliche Photonen gleichzeitig absorbiert, sodass Ar^{3+} entsteht.

Fig. 2: Ar^{2+} and Ar^{3+} ion yields as a function of the time delay between two attosecond pulse trains. (a) The Ar^{2+} ion yield (red curve) is only weakly modulated as a function of the XUV-XUV time delay, whereas clear oscillations with a period of 1.3 fs are observed in the delay-dependent Ar^{3+} ion yield (blue curve). These results indicate that Ar^{2+} is generated via the sequential absorption of two photons. Subsequently, two additional photons are simultaneously absorbed to form Ar^{3+} .

MBI Interner Newsletter

13. Jahrgang - Ausgabe 47 - August 2022

Forschungsergebnisse

Laser- und Röntgenstrahlen mischen

Anders als fiktive Laserschwerter interagieren reale Laserstrahlen nicht miteinander, wenn sie sich kreuzen - es sei denn, die Strahlen treffen sich in einem geeigneten Material, das eine nichtlineare Licht-Materie-Wechselwirkung ermöglicht. In einem solchen Fall kann die Wellenmischung zu Strahlen mit veränderten Farben und Richtungen führen..

Wellenmischungsprozesse zwischen verschiedenen Lichtstrahlen sind ein Eckpfeiler des Bereichs der nichtlinearen Optik, der seit der breiten Verfügbarkeit von Lasern fest etabliert ist. In einem geeigneten Material, z.B. bestimmten Kristallen, können sich zwei Laserstrahlen gegenseitig „spüren“. Dabei können Energie und Impuls ausgetauscht werden, so dass aus der Wechselwirkungszone zusätzliche Laserstrahlen in unterschiedlichen Richtungen und mit unterschiedlichen Frequenzen austreten, die im sichtbaren Spektralbereich als unterschiedliche Farben wahrgenommen werden. Diese Effekte werden häufig genutzt, um neue Laserlichtquellen zu entwerfen und zu realisieren. Ebenso wichtig ist, dass die Analyse der austretenden Lichtstrahlen bei Wellenmischungsphänomenen Aufschluss über die Beschaffenheit des Materials gibt, in dem der Wellenmischungsprozess stattfindet. Eine solche auf Wellenmischung basierende Spektroskopie ermöglicht es Forschern, Feinheiten der elektronischen Struktur einer Probe und die Art und Weise, wie Licht das Material anregen und mit ihm wechselwirken kann, zu verstehen. Bislang wurden diese Ansätze jedoch kaum außerhalb des sichtbaren oder infraroten Spektralbereichs eingesetzt.

Ein Team von Forschenden des Max-Born-Instituts (MBI), Berlin, und des DESY, Hamburg, hat nun einen neuartigen Wellenmischungsprozess mit weicher Röntgenstrahlung beobachtet. Bei der Überlagerung ultrakurzer Pulse weicher Röntgen- und Infrarotstrahlung in einem Einkristall aus Lithiumfluorid (LiF) konnte das Team beobachten, wie die Energie von zwei Infrarotphotonen auf ein Röntgenphoton übertragen wird und sich damit die „Farbe“ der Röntgenstrahlung in einem sogenannten nichtlinearen Prozess dritter Ordnung ändert. Nicht nur wurde dieser spezielle Prozess zum ersten Mal mit Röntgenstrahlen beobachtet, sondern es wurde auch die Effizienz des Mischens bei der Änderung der Farbe der einfallenden Röntgenstrahlen vermessen. Es zeigte sich, dass die Mischsignale nur dann nachweisbar sind, wenn ein Elektron der innersten Schale eines Lithiumatoms in einen Zustand angeregt wird, in dem es fest an die zurückgelassene Leerstelle gebunden ist - ein Zustand, der als Exziton bekannt ist. Darüber hinaus zeigt der Vergleich mit der Theorie, dass ein ansonsten „optisch verbottener“ Übergang eines Innerschalenelektrons zu dem Wellenmischungsprozess beiträgt.

Research Highlights

Mixing laser- and x-ray-beams

Unlike fictional laser swords, real laser beams do not interact with each other when they cross – unless the beams meet within a suitable material allowing for nonlinear light-matter interaction. In such a case, wave mixing can give rise to beams with changed colors and directions.

Wave-mixing processes between different light beams are one cornerstone of the field of nonlinear optics, which is firmly established since lasers have become widely available. Within a suitable material such as particular crystals, two laser beams can “feel each other’s presence”. In this process, energy and momentum can be exchanged, giving rise to additional laser beams emerging from the interaction zone in different directions and with different frequencies, in the visible spectral range seen as different colors. These effects are commonly used to design and realize new laser light sources. Just as important, the analysis of the emerging light beams in wave mixing phenomena provides insights into the nature of the material in which the wave mixing process occurs. Such wave-mixing based spectroscopy allows researchers to understand intricacies of the electronic structure of a specimen and how light can excite and interact with the material. So far, however, these approaches have been hardly used outside of the visible or infrared spectral range.

A team of researchers from Max Born Institute (MBI), Berlin, and DESY, Hamburg, has now observed a new kind of such wave mixing process involving soft x-rays. Overlapping ultrashort pulses of soft x-rays and infrared radiation in a single crystal of lithium fluoride (LiF), they see how energy from two infrared photons is transferred to or from the x-ray photon, changing the x-ray “color” in a so-called third-order nonlinear process. Not only do they observe this particular process with x-rays for the first time, they were also able to map out its efficiency when changing the color of the incoming x-rays. It turns out that the mixing signals are only detectable when the process involves an inner-shell electron from a lithium atom being promoted into a state where this electron is tightly bound to the vacancy it left behind – a state known as exciton. Furthermore, comparison with theory shows that an otherwise “optically forbidden” transition of an inner-shell electron contributes to the wave mixing process.

Via analysis of this resonant four-wave mixing process, the researchers get a detailed picture of where the optically excited electron travels in its very short lifetime. “Only if the excited electron is localized in the immediate vicinity of the hole it has left behind do we observe the four-wave mixing signal”, says Robin Engel, a PhD student involved in the work, “and because

MBI Interner Newsletter

13. Jahrgang - Ausgabe 47 - August 2022

Durch die Analyse dieses resonanten Vier-Wellen-Mischungsprozesses erhalten die Forscher ein detailliertes Bild davon, wohin sich das optisch angeregte Elektron während seiner sehr kurzen Lebensdauer bewegt. „Nur wenn sich das angeregte Elektron in unmittelbarer Nähe des Lochs befindet, das es zurückgelassen hat, beobachten wir das Signal der Vierwellenmischung“, sagt Robin Engel, ein an der Arbeit beteiligter Doktorand, „und da wir eine bestimmte Farbe der Röntgenstrahlung verwendet haben, wissen wir, dass sich dieses Loch sehr nahe am Atomkern des Lithiumatoms befindet“. Da man mit Röntgenstrahlen, Elektronen der inneren Schalen selektiv an den verschiedenen atomaren Spezies in einem Material anregen kann, ermöglicht dieser Ansatz es Forschern, Elektronen zu verfolgen, die sich in Molekülen oder Festkörpern bewegen, nachdem sie durch einen ultraschnellen Laserpuls angeregt wurden. Genau solche Prozesse - Elektronen, die sich nach der Anregung durch Licht zu verschiedenen Atomen bewegen - sind entscheidende Schritte bei photochemischen Reaktionen oder Anwendungen, wie z. B. Photovoltaik oder direkte solare Kraftstoffherzeugung. „Da sich unser Ansatz der Wellenmischspektroskopie an Röntgenlasern auf viel höhere Photonenenergien skalieren lässt, können viele verschiedene Atomsorten im Periodensystem selektiv angeregt werden. Wir erwarten daher, dass es zukünftig möglich sein wird, die kurzzeitige Anwesenheit von Elektronen an den verschiedenen Atomen eines komplexeren Materials zu verfolgen, was neue Einblicke in diese wichtigen Prozesse ermöglicht“, erklärt Daniel Schick, Forscher am MBI.

we have used a specific color of x-rays, we know that this hole is very close to the atomic nucleus of the lithium atom”. Due to the ability of x-rays to excite inner shell electrons selectively at the different atomic species in a material, the demonstrated approach allows researchers to track electrons moving around in molecules or solids after they have been stimulated by an ultrafast laser pulse. Exactly such processes – electrons moving towards different atoms after having been excited by light – are crucial steps in photochemical reactions or applications such as light harvesting, e.g., via photovoltaics or direct solar fuel generation. “As our wave-mixing spectroscopy approach can be scaled to much higher photon energies at x-ray lasers, many different atoms of the periodic table can be selectively excited. In this way we expect that it will be possible to track the transient presence of electrons at many different atoms of a more complex material, giving new insight into these important processes”, explains Daniel Schick, researcher at MBI.

Contact: S. Eisebitt, Tel. 1300

Original publication:

Probing electron and hole colocalization by resonant four-wave mixing spectroscopy in the extreme ultraviolet

Horst Rottke, Robin Y. Engel, Daniel Schick, Jan O. Schunck, Piter S. Miedema, Martin C. Borchert, Marion Kuhlmann, Nagitha Ekanayake, Siarhei Dzierzhyski, Günter Brenner, Ulrich Eichmann, Clemens von Korff Schmising, Martin Beye, Stefan Eisebitt

Science Advances, Vol. 8 Issue 20 (2022)

<https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.abn5127>



Image credit: Anne Riemann

Abb.: Strahlen zweier Taschenlampen werden nicht voneinander beeinflusst, wenn sie sich kreuzen. Anders verhält es sich bei sehr intensiven Laserpulsen, die sich in einem geeigneten „nichtlinearen Material“ treffen - hier können die Strahlen abgelenkt werden und neue Strahlen unterschiedlicher Farbe entstehen, ein Prozess, der als Wellenmischung bezeichnet wird. Die Beobachtung solcher Wellenmischphänomene erlaubt Rückschlüsse auf elektronische Übergänge innerhalb des nichtlinearen Materials, die sonst nicht sichtbar sind. Forschende von MBI und DESY haben nun beobachtet, wie ein Röntgenstrahl mit einem Laserstrahl wechselwirkt, und ebnen damit einen Weg, um in Zukunft ultraschnelle Prozesse atomselektiv zu untersuchen.

Fig.: Two light beams from flashlights will not be influenced by each other when they cross. This is different for very intense laser pulses which meet in a suitable “nonlinear material” – here, beams can be deflected and new beams of different color can be created in a process called wave-mixing. The observation of such wave-mixing phenomena allows researchers to draw conclusions about electronic transitions within the nonlinear material which are otherwise invisible. Researchers from MBI and DESY have now observed how an x-ray beam interacts with a laser beam, paving a route to atom-selective studies of ultrafast processes in the future.

MBI Interner Newsletter

13. Jahrgang - Ausgabe 47 - August 2022

Allgemein

Lange Nacht der Wissenschaften 2022

Nachdem die Lange Nacht der Wissenschaften infolge der Covid-Pandemie zweimal ausfallen musste, konnten am 2. Juli 2022 endlich wieder interessierte Besucher*innen am MBI empfangen werden. Neben den bekannten und beliebten Angeboten für Kinder und Junggebliebene am „Spieletisch“, wo verschiedene optische Tricks und Täuschungen präsentiert und erklärt wurden, oder dem Lego-Interferometer gab es auch einige neue Programmpunkte. So konnte beobachtet werden, wie sich Marshmallows im Vakuum verhalten und nach dem Experiment durften die Leckereien auch noch verspeist werden. Außerdem wurde anschaulich gemacht, wie sich kleinste Strukturen und Moleküle mithilfe der Fouriertransformation sichtbar machen lassen. So wurden in Echtzeit computergenerierte Hologramme berechnet und verdeutlicht, wie sich daraus Informationen über Formen ableiten lassen. Die Besucher*innen konnten dann ein "Fourier-Selfie" von sich selbst machen und als Ausdruck mit nach Hause nehmen.

Unermüdlich wurden wieder Handspektroskope gebastelt, Laborführungen angeboten und noch bis zuletzt um Mitternacht musste Ingo Will Auskunft über die technischen Details der ausgestellten Instrumente seiner Abteilung geben.

Die beteiligten Mitarbeiter*innen des MBI standen mit großem Engagement Rede und Antwort, erklärten und diskutierten die Phänomene, die den gezeigten Exponaten zugrunde liegen oder beschrieben den Forschungsalltag am MBI. Allen herzlichen Dank für ihre Mitwirkung zu einem rundum gelungenen Abend.

General

Long Night of Science 2022

After the Long Night of Science had to be cancelled twice due to the Covid pandemic, interested visitors could finally be welcomed again at the MBI on July 2, 2022. In addition to the familiar and popular offers for children (or the young at heart) at the "game table", where various optical tricks and illusions were presented and explained, there were also some new activities. For example, it was possible to observe how marshmallows behave in a vacuum and subsequently, the treats could be eaten.

It was also demonstrated how the smallest structures and molecules can be made visible with the aid of the Fourier transformation. Computer-generated holograms were calculated in real time and it was shown how information about shapes can be derived from them. The visitors were then able to take a "Fourier selfie" and take it home as a printout.

Tirelessly, hand-held spectrosopes were again tinkered, lab tours were offered, and even up to the last minute at midnight, Ingo Will had to provide information about the technical details of the presented instruments of his department.

The participating MBI staff members answered questions with great commitment, explained and discussed the phenomena underlying the exhibits shown or described the daily research routine at the MBI. Many thanks to everybody for their contribution.

Contact: A. Grimm, Tel. 1500



MBI Interner Newsletter

13. Jahrgang - Ausgabe 47 - August 2022



Auch in diesem Jahr war das MBI mit 13 Teilnehmern beim STADTRADELN dabei. Die KollegInnen sind mit 4323,1 km für ein gutes Klima geradelt und haben damit gemeinsam 665,8 kg CO₂ vermieden.

Insgesamt radelten in Berlin 19.539 Biker und schafften 4.325.861 km.

In Deutschland Gesamt machten 2.453 Kommunen mit 670.399 Fahrradfahrer fuhren insgesamt 122.620.166 Kilometer und haben somit 18.884 Tonen CO₂ vermieden.



Also this year 13 participants of MBI cycled for the „STADTRADELN“. The colleagues cycled 4323.1 km for a good climate and together they avoided 665.8 kg of CO₂.

A total of 19,539 bikers cycled in Berlin and covered 4,325,861 km.

Overall 2,453 municipalities took part in Germany. 670,399 cyclists rode altogether 122,620,166 kilometers and thus avoided 18,884 tons of CO₂.

MBI Interner Newsletter

13. Jahrgang - Ausgabe 47 - August 2022

Präsidentenschaftswechsel in der Leibniz-Gemeinschaft

Change of presidency in the Leibniz Association

Martina Brockmeier übernimmt Amt von Matthias Kleiner.



Martina Brockmeier is the successor of Matthias Kleiner.

Nach acht Jahren als Präsident der Leibniz-Gemeinschaft hat Matthias Kleiner das Amt an seine Nachfolgerin Martina Brockmeier übergeben. Der Amtswechsel fand in einer Feierstunde im Berliner Futurium im Beisein der Bundesforschungsministerin Bettina Stark-Watzinger und der Hamburger Wissenschaftssenatorin Katharina Fegebank statt. Der offizielle Beginn der Amtszeit Martina Brockmeiers ist der 1. Juli.

After eight years Matthias Kleiner stepped down as President of the Leibniz Association and handed over to his successor Martina Brockmeier. The change of office took place at a ceremony in Berlin's Futurium in the presence of Federal Research Minister Bettina Stark-Watzinger and Hamburg's Science Senator Katharina Fegebank. The official start of Martina Brockmeier's term of office is July 1st.

Die vollständige Pressemitteilung der Leibniz Gemeinschaft finden Sie unter folgendem Link:

<https://www.leibniz-gemeinschaft.de/ueber-uns/neues/presse/essemitteilungen/pressemitteilungen-single/newsdetails/praesidentschaftswechsel-in-der-leibniz-gemeinschaft>

The complete press release of the Leibniz Association can be found under the following link:

<https://www.leibniz-gemeinschaft.de/ueber-uns/neues/presse/essemitteilungen/pressemitteilungen-single/newsdetails/praesidentschaftswechsel-in-der-leibniz-gemeinschaft>

Ein Interview mit Martina Brockmeier im Online-Magazin „leibniz“ ist online verfügbar unter:

<https://www.leibniz-magazin.de/alle-artikel/magazindetail/newsdetails/gemeinsam-sind-wir-zu-unglaublichem-in-der-lage>

An interview with Martina Brockmeier in the online magazine „leibniz“ is available at:

<https://www.leibniz-magazin.de/alle-artikel/magazindetail/newsdetails/gemeinsam-sind-wir-zu-unglaublichem-in-der-lage>

MBI Interner Newsletter

13. Jahrgang - Ausgabe 47 - August 2022

Termine - Save the date

Donnerstag, 1. September 2022

10. Adlershofer Firmenstaffel - Der Jubiläumslauf
Startzeit Hauptwettbewerb: 16:30 Uhr

<https://adlershofer-firmenstaffel.de/>



Montag/Monday, 5. September 2022

MBI Symposium

29. & 30. September 2022

Wissenschaftlicher Beirat/SAB

Kein Herauskopieren, kein Vervielfältigungs- und Verbreitungsrecht der Bilder und Texte oder anderweitige Nutzung aus unserem MBI Internen Newsletter.

Copying, reproduction and distribution of any pictures or any other material of this Internal MBI Newsletter is prohibited.