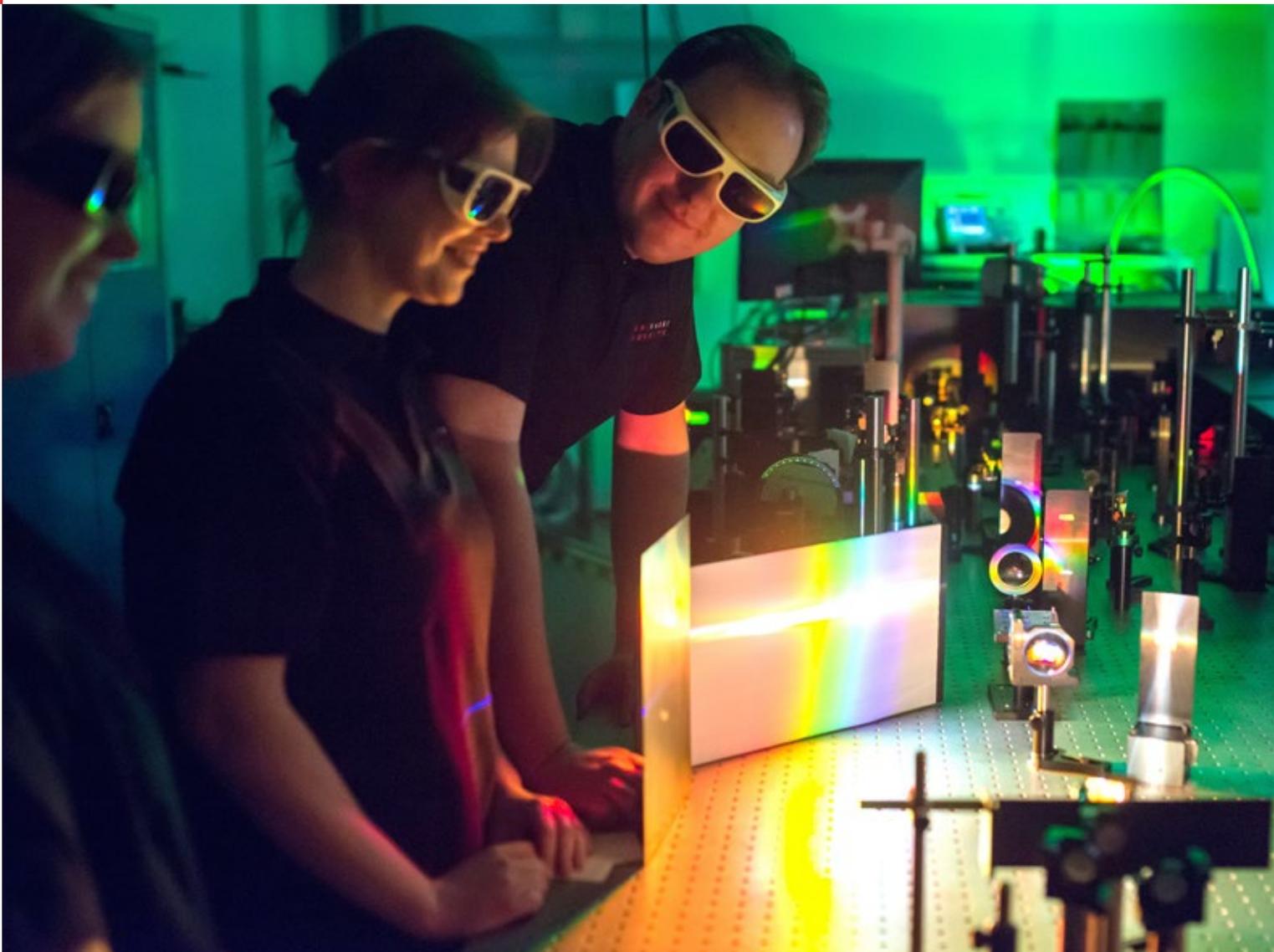


ELCH-
Elektronendynamik
chiraler Systeme



LOEWE

ABSCHLUSSBERICHT



**LOEWE-Schwerpunkt
ELCH – Elektronendynamik Chiraler Systeme**

Inhalt

- 2 Statement des Koordinators
- 3 Projektinhalte
- 3 Wissenschaftlich-technische Ausgangslage
- 4 Im Rahmen des LOEWE-Projekts erreichte Erkenntnisse und getätigte Entwicklungen
- 6 Erreichte Strukturentwicklung
- 7 Erreichte Bedeutung/Stellung im Themen-/Forschungsfeld
- 8 Wichtigste Meilensteine des Projekts
- 10 Weitere Informationsmöglichkeiten
- 10 Zahlen und Fakten
- 11 Kurzvorstellung der beteiligten Hochschulen und außeruniversitären Forschungsinstitute
- 14 Impressum

Das Alltagsphänomen Händigkeit, also die Tatsache, dass man linke und rechte Hand nicht durch eine Rotation miteinander zur Deckung bringen kann, fasziniert Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sowie Philosophinnen und Philosophen seit Jahrhunderten. In den Naturwissenschaften wird Händigkeit Chiralität genannt. Während im klassischen Strukturmodell der Chemie Chiralität mit einer chiralen Anordnung der Atomkerne erklärt wird, sind atomare und molekulare Eigenschaften (z. B. das Reaktionsverhalten oder Prozesse nach Teilchenstrahl- oder elektromagnetischer Anregung) durch die Dynamik des Elektronensystems bestimmt. Dieser bisher für chirale Systeme kaum betrachtete Aspekt sollte im LOEWE-Schwerpunkt „ELEktronendynamik CHiraler Systeme (ELCH)“ untersucht werden.



In allen Aspekten, die maßgeblich für die LOEWE-Förderung sind, entwickelte sich ELCH herausragend. Erst durch mehrere wissenschaftliche Durchbrüche innerhalb ELCH ist heute eine Vielzahl von nachfolgenden Untersuchungen möglich. Es konnte beispielsweise die Absolutkonfiguration einzelner Enantiomere eines chiralen Moleküls experimentell nachgewiesen werden und die Photoelektronenwinkelverteilung nach Anregung mit polarisierter Laserstrahlung wurde als extrem leistungsstarkes Werkzeug für die Enantiomeren-erkennung herausgearbeitet.

Fast noch wichtiger sind allerdings die methodischen Fortschritte und der Aufbau anspruchsvoller Infrastruktur für eine Verstetigung unserer Forschungsanstrengungen. Die LOEWE-Förderung und gezielt beantragte Drittmittelprojekte führten auf experimenteller Seite zum Aufbau einer ganzen Reihe fortschrittlicher Experimentiereinrichtungen mit weltweitem Alleinstellungsmerkmal.

Der SFB-Antrag 1319: Extremes Licht zur Analyse und Kontrolle molekularer Chiralität bündelt die erreichten Ergebnisse und würde die nachhaltige Verstetigung sicherstellen. Die im LOEWE-Verbund geleisteten Vorarbeiten bildeten das Fundament für Konzeptpapier und nach Vollantragsaufforderung auch für den Vollantrag dieser SFB-Initiative. Der SFB soll fortgeschrittene, auf Licht basierte Methoden entwickeln, mit denen chirale Moleküle analysiert, getrennt, abgekühlt, eingefangen, gesteuert und kontrolliert werden können. Längerfristig werden die Bestimmung der absoluten Konfiguration auf Einzelmolekülebene, die Überführung chiraler Moleküle aus einer gemischten Händigkeit in die eine oder andere Händigkeit mit rein optischen Methoden, sowie das Erreichen der Empfindlichkeitsgrenze für fundamentale Experimente angestrebt. Die Entscheidung zur Einrichtung des SFB wird im November 2017 fallen, die Begutachtung/Begehung des Vollantrags fand im Mai 2017 statt.



Prof. Dr. Arno Ehresmann
Koordinator des LOEWE-Schwerpunkts ELCH
Universität Kassel

Projekthalte

Wissenschaftlich-technische Ausgangslage

Systeme entgegengesetzter Chiralität (Händigkeit) lassen sich trotz gleicher Bestandteile nicht mit ihrem Spiegelbild durch Rotation zur Deckung bringen, genauso wenig wie linke und rechte Hand. Sie wechselwirken auf Grund der unterschiedlichen Anordnung ihrer Bestandteile verschieden mit ihrer Umgebung. In der (Bio)Chemie ist die Chiralität eines Moleküls entscheidend für seine chemischen und physiologischen Reaktionen, da alle wesentlichen Bausteine des Lebens, wie z. B. DNS-Moleküle, eine ganz bestimmte Chiralität besitzen. Daher hängt auch die Wirksamkeit von Medikamenten von der Händigkeit der Wirkstoffmoleküle ab. Moleküle entgegengesetzter Chiralität (Enantiomere) rufen verschiedene physiologische Reaktionen hervor (z. B. riecht (S)-(+)-Carvon nach Kümmel und (R)-(-)-Carvon nach Pfefferminz). Enantiomereine Stoffe besitzen deshalb ebenso wie enantiomerelektive Nachweis- und Trennmethoden große Bedeutung in der pharmazeutischen Industrie. Während im klassischen Strukturmodell der Chemie Chiralität mit einer chiralen Anordnung der Atomkerne erklärt wird, sind atomare und molekulare Eigenschaften (z. B. das Reaktionsverhalten oder Prozesse nach Teilchenstrahl- oder elektromagnetischer Anregung) durch die Dynamik des Elektronensystems bestimmt. Dieser bisher für chirale Systeme kaum betrachtete Aspekt sollte im LOEWE-Schwerpunkt „Elektronendynamik CHiraler Systeme (ELCH)“ unter-

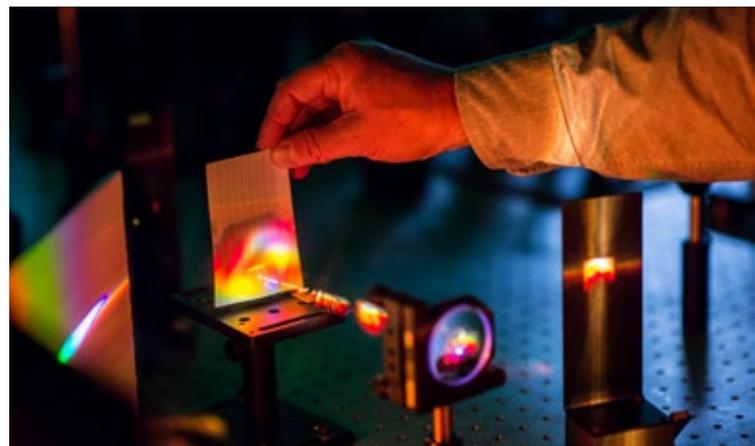
Chirale Moleküle bilden Bild und Spiegelbild.

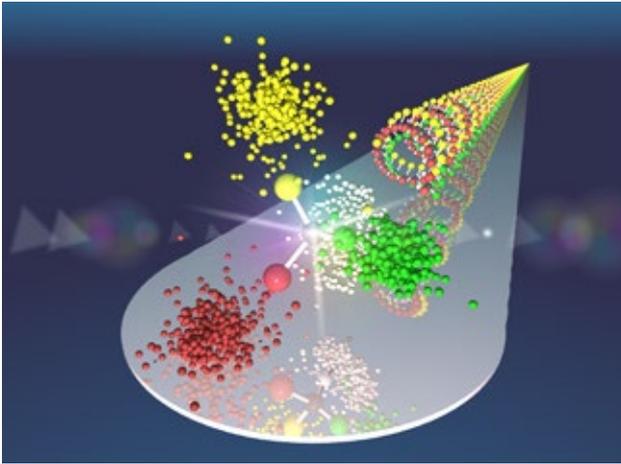


ELCH-Nachwuchswissenschaftlerin Dr. Hendrike Braun präsentiert die Händigkeit chiraler Moleküle am Beispiel Carvon. Die molekularen Spiegelbilder offenbaren ihre Händigkeit erst im Wechselspiel mit anderen chiralen Objekten. Ein solches sind die Rezeptoren in unserer Nase, so riecht Carvon einmal nach Kümmel und einmal nach Pfefferminze.

sucht werden. Die dazu erforderlichen aufwändigen experimentellen Techniken und theoretischen Methoden waren dabei erst in den letzten Jahren vor der Vollantragstellung unter maßgeblicher Beteiligung der Verbundpartner entwickelt worden. Die kompletären Expertisen der experimentell arbeitenden Verbundpartner sollten es im LOEWE-Schwerpunkt ELCH erstmals ermöglichen, fast alle in der Natur verfügbaren chiralen Sonden (zirkular polarisierte oder polarisationsgeformte Laserfelder, spinpolarisierte Elektronen und einzelne hochenergetische zirkular polarisierte Photonen (Synchrotronstrahlung) nutzbar zu machen oder zu nutzen, um im Vergleich zu methodisch und numerisch anspruchsvollen Modellen der theoretisch orientierten Partner grundlegende Fragestellungen zur Chiralität in der Elektronendynamik zu beantworten.

Je kürzer die Pulse, desto breiter (bunter) das Spektrum.





Die erstmalige direkte Bestimmung der Händigkeit eines Moleküls gelang ELCH-Forschern mithilfe der COLTRIMS Methode.



Das Frankfurter ELCH-Team (v. l. Dr. Markus Schöffler, Prof. Dr. Reinhard Dörner, Dr. Martin Pitzer) nutzt die dort entwickelte COLTRIMS Methode als Reaktionsmikroskop, um einzelne chirale Moleküle zu untersuchen.

Im Rahmen des LOEWE-Projekts erreichte Erkenntnisse und getätigte Entwicklungen

Der ELCH hat sich in allen für die LOEWE-Förderung maßgeblichen Aspekten hervorragend entwickelt. So konnten wissenschaftlich mehrere Durchbrüche erzielt werden, die, jeder für sich, die Grundlage für eine Vielzahl von nachfolgenden Untersuchungen bilden. Beispielsweise konnte die Absolutkonfiguration einzelner Enantiomere eines chiralen Moleküls experimentell nachgewiesen werden. Die Photoelektronenwinkelverteilung nach Anregung mit polarisierter Laserstrahlung wurde als extrem leistungsstarkes Werkzeug für die Enantiomereerkennung herausgearbeitet und es wurde beschrieben, dass zweiatomige offenschalige Moleküle durch die Eigenheiten ihrer Elektronenstruktur chiral werden, obwohl das Kerngerüst dieser Moleküle nicht chiral ist.

Obwohl die einzelnen wissenschaftlichen Ergebnisse wichtig sind, erachten wir insbesondere die methodischen Fortschritte und den Aufbau der anspruchsvollen Infrastruktur als wichtigstes Glied für eine Verstärkung unserer Forschungsanstrengungen. Die LOEWE-Förderung und gezielt beantragte und bewilligte Drittmittelprojekte, die deutlich über dem im Vollantrag formulierten Umfang liegen, führen auf experimenteller Seite zum Aufbau einer ganzen Reihe fortschrittlicher Experimentiereinrichtungen mit weltweitem Alleinstellungsmerkmal: So wird derzeit ein extrem leistungsstarker Laser im Nutzerzentrum für polarisationsgeformte Femtosekunden-Laserpulse an der Universität Kassel in Betrieb genommen, ELCH-Gruppen sind intensiv am Aufbau von permanent installierten Messapparaturen am europäischen Röntgen-Freie-Elektronen-Laser (XFEL) in Hamburg

beteiligt, die nach dessen Inbetriebnahme (geplant für das Jahr 2017) für Experimente vor Ort zur Verfügung stehen, und ELCH-Gruppen sind federführend und mit wichtigen Zuarbeiten am Aufbau des „CRYRINGS“ und der entsprechenden permanent installierten Messinfrastruktur am GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung in Darmstadt beteiligt (geplante Inbetriebnahme 2017). Schließlich ist das „Photon-Ion Spectrometer at PETRA III (PIPE)“ an der Synchrotronquelle PETRA III des Hamburger DESY nun betriebsbereit, das ebenfalls unter Federführung einer ELCH-Gruppe aufgebaut wurde. Auf theoretischer Seite gab es erhebliche Fortschritte, insbesondere bei der Entwicklung leistungsfähiger Software zur numerischen Beschreibung der beobachteten Phänomene und deren Einsatz zur Kontrolle der involvierten Prozesse im Rahmen des „coherent control“.



Laserpulse werden über Linsen und Fenster in Vakuumanlagen eingekoppelt, dort passiert das eigentliche Experiment.



ELCH-Forscher Dr. Martin Pitzer bei der Arbeit am Femtosekunden-Laser.



ELCH-Doktorand Philipp Schmidt justiert die Hochspannungsversorgung eines Versuchsaufbaus.



Die Datenaufnahme der Experimente erfordert modernste Technik. ELCH-Geschäftsführer Dr. André Knie beim Einstellen der Messwerterfassung.



Bei den Experimenten kommt modernste Messwerterfassung zum Einsatz.



Wissenschaft auf höchstem Niveau: ELCH-Koordinator Prof. Dr. Arno Ehresmann erklärt die Datenanalyse.



Physik lebt von der Diskussion: ELCH-Koordinator Prof. Dr. Arno Ehresmann und Geschäftsführer Dr. André Knie diskutieren Ergebnisse.



Das Verständnis kommt erst mit der richtigen Theorie, oft mit Papier und Bleistift oder Tafel und Kreide.

Wichtige wissenschaftliche Ergebnisse des LOEWE-Schwerpunkts „Elektronendynamik chiraler Systeme“ waren auf theoretischer Seite:

- Die Entwicklung von Optimierungsalgorithmen für Photoelektronenspektren im Rahmen der optimal control theory, mithilfe derer z. B. ein für Detektionsanwendungen wichtiges Signal maximiert werden kann.
- Grundlegende Erkenntnisse, wie z. B., dass nur bei polarisationssensitivem Nachweis von Molekülfluoreszenz molekulare Chiralität bei Experimenten auch an statistisch orientierten Molekülen nachgewiesen werden kann.
- Die Erkenntnis, dass die Eigenheiten der Elektronenstruktur in zweiatomigen Molekülen unbekannte Verwandtschaften innerhalb des Periodensystems offenbaren und zweiatomige Moleküle durch paritätsungerade (Spiegelung wechselt das Vorzeichen) Effekte chiral werden.
- Die Entwicklung der stationären „single-center“-Methode zur Berechnung des Kontinuumselektronenspektrums in vielatomigen Molekülen, mit der die Modellierung der Experimente gelingt.

Auf experimenteller Seite standen dem gegenüber:

- Die Bestimmung der Absolutkonfiguration eines chiralen Moleküls durch die COLTRIMS Technik. Sowohl nach Anregung mit Laser- als auch nach Anregung mit Synchrotronstrahlung konnte die chirale Struktur von Molekülen direkt gemessen werden. Dieses war eines der zentralen Forschungsziele des Verbundes.
- Die Untersuchung des Photoelektronenzirkulardichroismus nach Mehrphotonenanregung als Funktion der chemischen Struktur, Elliptizität, Intensität und Anzahl beteiligter Photonen. Dadurch können neue Modelle für die Stärke der Chiralität entwickelt werden.
- Nutzung der chemischen Verschiebung innerhalb eines Moleküls, um chirale Zentren auszuwählen. Der Nachweis der Möglichkeit, dass ein bestimmtes chirales Zentrum in chiralen Molekülen mit mehreren Stereozentren bei resonanter Innerschalenanregung durch Anregung mit Photonen einer bestimmten Energie angesprochen werden kann.



ELCH-Forscher nutzen ultrakurze Laserpulse, um chirale Moleküle zu untersuchen. Im Rahmen des Projektes wurde in Kassel ein Labor für Experimente mit Femtosekunden-Laserpulsen aufgebaut.

Im Kasseler Labor werden Detektoren aufgebaut. ELCH-Doktorand Andreas Hans bei den finalen Schritten.



Erreichte Strukturentwicklung

Der LOEWE-Schwerpunkt ELCH konnte erfolgreich standortübergreifend die Gruppe der beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler stärken und deren Expertise bündeln. Seit seiner Gründung trägt er erfolgreich zur Profilbildung der Standorte bei.

Zahlreiche strukturelle Entwicklungen sind nur durch die LOEWE-Förderung möglich gewesen. So konnte im ersten Jahr der Förderung Herr Prof. Dr. Philipp Demekhin als Juniorprofessor an die U Kassel berufen werden und die AG „Theoretische Atom- und Molekülphysik“ wird seitdem von ihm geleitet. Von Beginn an konnte Herr Dr. André Knie als Geschäftsführer von ELCH und als Habilitand an der U Kassel arbeiten und erfolgreich die Abteilung „Physik mit Synchrotronstrahlung“ mit dem Thema Chiralität erweitern. Nach seiner sehr erfolgreichen Promotion an der GU Frankfurt richtete Herr Dr. Martin Pitzer eine Nachwuchsgruppe „Laser-induzierte Fluores-

zenzspektroskopie“ an der U Kassel ein und vernetzt damit die experimentell arbeitenden Gruppen in Kassel. Einen herausragenden Baustein der Strukturentwicklung stellt das in Kassel eingerichtete ELCH Femtosekunden-Laserlabor dar, das auch essentieller Teil des SFB Antrages 1319 ist. Dieser stellt die Verstärkungsperspektive des ELCH-Schwerpunktes dar und sowohl Vorantrag als auch Vollantrag wurden mit Bestnoten bewertet. Die finale Entscheidung findet im November 2017 statt. Die Begutachtenden der DFG waren begeistert vom Commitment und der engen Zusammenarbeit der ELCH-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler. „Es fühlt sich eher nach der Begehung zur Verlängerung eines SFBs an, als nach dem ersten Antrag.“ Wurde häufiger von den Begutachtenden und den Vertreterinnen und Vertretern der DFG geäußert. Daraus lässt sich direkt der Hauptnutzen der LOEWE-Förderung sehen: Es hat sich eine extrem gut vernetzte wissenschaftliche Struktur in Hessen gebildet, die sich beim Thema chirale Moleküle in der Gasphase weltweit an die Spitze dieser hochaktuellen Forschungsrichtung gesetzt hat.

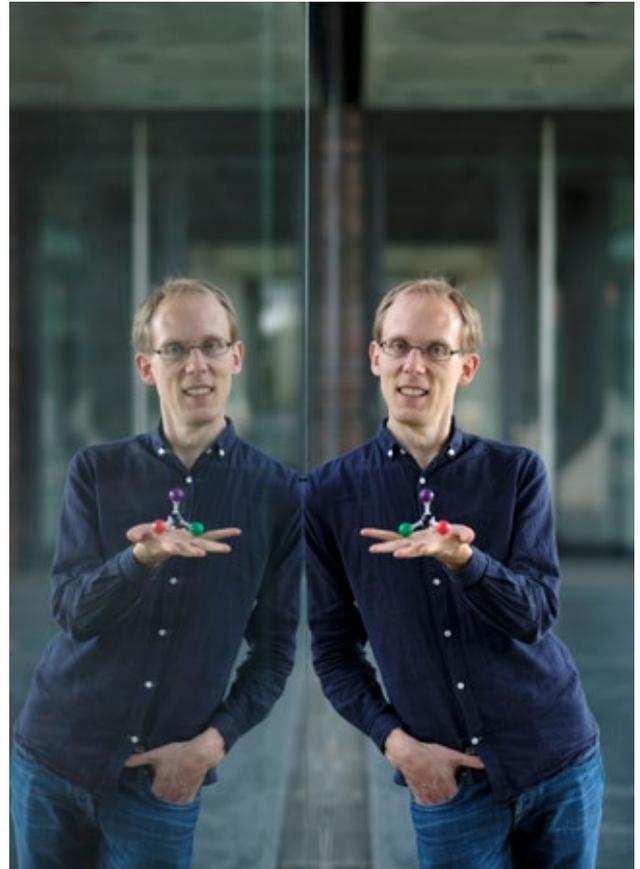
Die am SFB 1319 beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Tag der Begehung.



Erreichte Bedeutung/Stellung im Themen-/Forschungsfeld

Durch zwei Sommerschulen und ein Interdisziplinäres Symposium innerhalb der Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (der größten Tagung dieser Art) konnte gezeigt werden, dass großes internationales Interesse am Thema Elektronendynamik chiraler Systeme besteht. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des LOEWE-Schwerpunkts ELCH haben mit 110 Publikationen und 275 Beiträgen auf internationalen Tagungen hierfür die Grundlagen geschaffen. Die internationale Sichtbarkeit führte nicht nur zur Rekrutierung von ausgezeichneten externen Nachwuchswissenschaftlern, sondern förderte auch die Karriereentwicklung der ELCH-Wissenschaftler. So ergingen an zwei verantwortliche ELCH-Wissenschaftler während der Laufzeit Rufe an deutsche Universitäten (beispielsweise wechselte Prof. Dr. Matthias Wollenhaupt von Kassel nach Oldenburg, Prof. Dr. Robert Berger wechselte von der TU Darmstadt zur Philipps-Universität Marburg). Darüber hinaus wurden zahlreiche Preise an den wissenschaftlichen Nachwuchs und führende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der ELCH-Gruppe verliehen (z. B. Robert-Wichard-Pohl-Preis 2015 an Prof. Dr. Reinhard Dörner, Röntgenpreis 2016 an Dr. Markus Schöffler).

Die weltweite Führungsposition des ELCH wurde bei der Begutachtung des Einrichtungsantrags von dem internationalen SFB-Gutachtergremium bestätigt und ausdrücklich die Vorreiterrolle in diesem im Aufwind befindlichen Forschungsgebiet betont.



Oktober 2016: Für die allgemeinverständliche Darstellung seiner Doktorarbeit erhielt Martin Pitzer (Uni Frankfurt/Uni Kassel) 2016 den renommierten Klaus Tschira Preis in der Kategorie Physik. Mithilfe des Reaktionsmikroskops demonstrierte er eine neue Methode zur Strukturbestimmung chiraler Moleküle.

April 2013: Das Kasseler ELCH-Labor ist vom allgemeinen Interesse. Auch das Fernsehen berichtete über den Schwerpunkt.



Wichtigste Meilensteine des Projekts



Die ELCH-Beteiligten tauschten sich schon im August 2011 deutlich vor Beginn der Förderung auf einer Sommerschule mit dem Thema Elektronendynamik chiraler Systeme in Mainz aus. Hier werden die ersten Ideen gründlich diskutiert.



Die glücklichen ELCH-Partner präsentieren ihre Urkunden: (v. l.) Robert Berger (TU Darmstadt), Stefan Schippers und Alfred Müller (Uni Gießen), Regierungspräsident Walter Lübcke, Reinhard Dörner (Uni Frankfurt), Präsident Rolf-Dieter Postlep, Christiane Koch, Sprecher Arno Ehresmann (Uni Kassel), Thomas Stöhlker und Michael Lestinsky (GSI Darmstadt), Thomas Baumert und Matthias Wollenhaupt (Uni Kassel). (Urkundenübergabe 18.04.2013)



Auf der ersten ELCH-Sommerschule im August 2013 in Hofgeismar treffen sich alle Beteiligten ELCHe und erörtern mit international eingeladenen Gästen.



In einem feierlichen Akt wurde am 18.04.2013 die offizielle Förderungsurkunde an die Partner des ELCH-Projektes überreicht. Regierungspräsident Dr. Walter Lübcke (rechts im Bild) übergab die Unterlagen an die Universität Kassel, die durch ihren Präsidenten Prof. Dr. Rolf-Dieter Postlep (links im Bild) vertreten wurde, und an den Sprecher des LOEWE-Schwerpunktes ELCH Prof. Dr. Arno Ehresmann (Bildmitte).



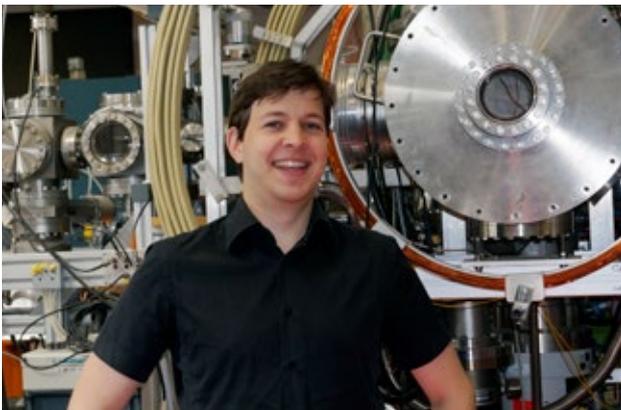
Juni 2013: ELCH-Geschäftsführer Dr. André Knie lässt Zuschauer auf dem Hessentag Chiralität durch ihre eigene Nase erfahren.



Juni 2015: Junge ELCH-Forscher präsentieren chirale Apfelschnitzen auf dem Hessentag.



Mai 2016: ELCH präsentiert sich der Öffentlichkeit auf dem Hessentag 2016.



Juli 2016: Dr. Markus Schöffler ist einer der Herren des Reaktionsmikroskops COLTRIMS und Träger des Röntgenpreises 2016.



Im Oktober 2016 wird der vollständig von ELCH-Doktoranden organisierte Workshop zum vollen Erfolg. Die ELCH-Beteiligten und die Gäste sind sehr angetan.

Weitere Informationsmöglichkeiten

- www.uni-kassel.de/elch
Homepage der Initiative
- <http://www.proloewe.de/de/loewe-vorhaben/vorhaben/elch.html>
ELCH bei ProLOEWE
- <https://www.uni-giessen.de/ueber-uns/pressestelle/pm/pm217-16>
Pressemitteilung: Röntgenpreis 2016: ELCH-Forscher Dr. Markus Schöffler
- <http://www.dpg-physik.de/preise/preistraeger2015.html>
Robert-Wichard-Pohl-Preis 2015 für Beiträge zur Physik von interdisziplinärer Bedeutung an ELCH-Forscher Prof. Dr. Reinhard Dörner
- <http://www.muk.uni-frankfurt.de/51168188/199?>
Pressemitteilung: Adolf-Messer-Stiftungspreis für ELCH Dr. Markus Schöffler für sein Forschungsprojekt „Händigkeitsbestimmung komplexer chiraler Moleküle mit dem Reaktionsmikroskop“
- <https://www.uni-kassel.de/uni/nc/universitaet/nachrichten/article/52-millionen-euro-fuer-zwei-kasseler-loewe-projekte.html>
Pressemitteilung Universität Kassel: Einrichtung ELCH
- <https://www.hessen.de/pressearchiv/pressemitteilung/loewe-forschungsprojekte-erhalten-weitere-14-millionen-euro-0>
Pressemitteilung HMWK: Einrichtung ELCH

Zahlen und Fakten

Förderzeitraum	01.01.2013 – 31.12.2016	Bemerkungen
bis Ende des Förderzeitraums verausgabte LOEWE-Mittel	5.302.370,00 Euro	
bis Ende des Förderzeitraums verausgabte Drittmittel	3.597.198,51 Euro	
eingeworbene Drittmittel	9.914.413,00 Euro	2013 – 2020
Anzahl der beteiligten Personen	ProfessorInnen: 8 wiss. MitarbeiterInnen: 36 techn.-admin. MitarbeiterInnen: 10	
Anzahl an innerhalb des Förderzeitraums abgeschlossenen Promotionen	17	
Anzahl an Veröffentlichungen in Fachzeitschriften innerhalb des Förderzeitraums	110	Publikationen teilweise in 2017 erschienen, aber 2016 eingereicht
Anzahl an Konferenzbeiträgen innerhalb des Förderzeitraums	275	
Anzahl an innerhalb des Förderzeitraums zugeteilten Patenten	–	

Kurzvorstellung der beteiligten Hochschulen und außeruniversitären Forschungsinstitute

Universität Kassel

www.uni-kassel.de

Die Universität Kassel ist eine junge Universität. Sie versteht sich als eine Hochschule, an der Offenheit, Initiative, fächerübergreifendes und unkonventionelles Denken gewünscht und gefördert werden. Ideen zu entwickeln, zu überprüfen und umzusetzen ist hier der Anspruch – auch wenn sich diese noch nicht im Mainstream befinden. Das gilt in Studium, Forschung und Lehre ebenso wie bei Existenzgründungen, die die Uni Kassel in besonderem Maße unterstützt. Die Universität hat ein außergewöhnlich breites Profil mit den Kompetenzfeldern Natur, Technik, Kultur und Gesellschaft. Hier setzen sich Wissenschaftlerinnen, Wissenschaftler und Studierende mit den großen Forschungsfragen auseinander. Das reicht von naturwissenschaftlicher Grundlagenforschung über die Weiterentwicklung technischer Systeme und ihre gesellschaftliche Einbettung bis hin zu den Auswirkungen der Globalisierung oder der Bewältigung des Klimawandels. Die Universität ist in den vergangenen Jahren stark gewachsen: Im Wintersemester 2016/17 zählte sie mehr als 25.000 Studierende.

U N I K A S S E L
V E R S I T Ä T

Goethe-Universität Frankfurt am Main

<http://www.uni-frankfurt.de>

Die Goethe-Universität ist eine forschungsstarke Hochschule in der europäischen Finanzmetropole Frankfurt. 1914 gegründet mit rein privaten Mitteln von freiheitlich orientierten Frankfurter Bürgerinnen und Bürgern fühlt sie sich als Bürgeruniversität bis heute dem Motto „Wissenschaft für die Gesellschaft“ in Forschung und Lehre verpflichtet. Viele der Frauen und Männer der ersten Stunde waren jüdische Stifter. In den letzten 100 Jahren hat die Goethe-Universität Pionierleistungen erbracht auf den Feldern der Sozial-, Gesellschafts- und Wirtschaftswissenschaften, Chemie, Quantenphysik, Hirnforschung und Arbeitsrecht. Am 1. Januar 2008 gewann sie mit der Rückkehr zu ihren historischen Wurzeln als Stiftungsuniversität ein einzigartiges Maß an Eigenständigkeit. Heute ist sie eine der zehn drittmittelstärksten und drei größten Universitäten Deutschlands mit drei Exzellenzclustern in Medizin, Lebenswissenschaften sowie Geisteswissenschaften.



Philipps-Universität Marburg

<http://www.uni-marburg.de>

Die Philipps-Universität Marburg versteht sich als klassische Volluniversität mit breitem Fächerspektrum. Sie wurde 1527 gegründet und ist Hessens traditionsreichste Hochschule. An den 16 Fachbereichen studieren rund 27.000 Studierende. Die Universität bietet etwa 100 Studiengänge, von Archäologie bis Zahnmedizin. Etwa 350 Professorinnen und Professoren lehren und forschen in Marburg. Bislang wurden 13 Marburger Forscherinnen und Forscher mit dem Leibniz-Preis ausgezeichnet. Als wissenschaftliche Schwerpunkte mit zahlreichen interdisziplinären Schnittstellen haben sich die Tumorforschung, die Synthetische Mikrobiologie, die Materialwissenschaften, die Neuro- und Sprachwissenschaften sowie die Konfliktforschung und die Nah- und Mitteloststudien etabliert.



Justus-Liebig-Universität Gießen

<http://www.uni-giessen.de>

Die Universität Gießen ist eine moderne Hochschule mit über 400-jähriger Geschichte. Sie hat rund 28.000 Studierende und ist für die Zukunft bestens aufgestellt. Neben einem breiten Lehrangebot – von den klassischen Naturwissenschaften über Rechts- und Wirtschaftswissenschaften, Gesellschafts- und Erziehungswissenschaften bis hin zu Sprach- und Kulturwissenschaften – bietet sie ein lebenswissenschaftliches Fächerspektrum, das nicht nur in Hessen einmalig ist: Human- und Veterinärmedizin, Agrar-, Umwelt- und Ernährungswissenschaften sowie Lebensmittelchemie. Unter den großen Persönlichkeiten, die an der JLU geforscht und gelehrt haben, befindet sich eine Reihe von Nobelpreisträgern, unter anderem Wilhelm Conrad Röntgen (Nobelpreis für Physik 1901) und Wangari Maathai (Friedensnobelpreis 2004).



GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH, Darmstadt

<http://www.gsi.de>

Die GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH in Darmstadt betreibt eine der weltweit führenden Teilchenbeschleunigeranlagen für die Forschung. Etwa 1.350 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sind bei GSI beschäftigt. Dazu kommen jährlich rund 1.000 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus Universitäten und anderen Forschungslaboren weltweit, um die Anlage für Experimente zu nutzen. GSI ist eine Gesellschaft mit beschränkter Haftung (GmbH). Gesellschafter sind der Bund zu 90 Prozent, das Bundesland Hessen zu acht Prozent sowie das Bundesland Rheinland-Pfalz und der Freistaat Thüringen zu je einem Prozent. Sie werden im Aufsichtsrat durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und die jeweiligen Landesministerien vertreten. GSI ist Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft, der größten deutschen Wissenschaftsorganisation.



Technische Universität Darmstadt

www.tu-darmstadt.de

Die TU Darmstadt zählt zu den führenden Technischen Universitäten in Deutschland. Ihre rund 300 Professorinnen und Professoren, 4.250 wissenschaftlichen und administrativ-technischen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, Auszubildenden und wissenschaftlichen Hilfskräfte sowie 26.000 Studierenden widmen sich entscheidenden Zukunftsfeldern wie Energie, Mobilität, Kommunikation und Information sowie Bauen und Wohnen. Die vielfältigen Disziplinen der Universität konzentrieren sich alle auf Technik – aus der Perspektive der Ingenieur-, Natur-, Geistes- und Gesellschaftswissenschaften – von der Erkenntnis bis zur Anwendung im Alltag.



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

HESSEN



Das Forschungsförderungsprogramm LOEWE ist eine Förderinitiative des Hessischen Ministeriums für Wissenschaft und Kunst.

Impressum

Herausgeber:

Hessisches Ministerium für Wissenschaft und Kunst
Rheinstraße 23 – 25
65185 Wiesbaden

Inhalt:

LOEWE-Schwerpunkt ELCH –
Elektronendynamik Chiraler Systeme

Redaktion:

LOEWE-Geschäftsstelle im
Hessischen Ministerium für Wissenschaft und Kunst

Layout:

Christiane Freitag, Idstein

Fotos:

LOEWE-Schwerpunkt ELCH – Elektronendynamik Chiraler Systeme
Titel, S. 2, S. 3 Abb. 1 und Abb. 2, S. 4 Abb. 3, S. 5 alle, S. 6 Abb. 1 und Abb. 2:
© Paavo Blofield/Universität Kassel; Logo Titel und S. 6 Abb. 1, S. 8 Abb. 1 und
Abb. 3, S. 9 Abb. 4 und Abb. 6: © Dr. André Knie/Universität Kassel; S. 3 Abb. 2,
S. 9 Abb. 2 und Abb. 3: © ProLOEWE; S. 4 Abb. 1: © Reinhard Dörner/Goethe-
Universität; S. 4 Abb. 2 und Abb. 4: Uwe Dettmar © Goethe-Universität;
S. 6 Abb. 3: © Alexander Gaul/Universität Kassel; S. 7 Abb. 1: © Klaus Tschira Stif-
tung; S. 7 Abb. 2: © Hessischer Rundfunk; S. 8 Abb. 2, S. 9 Abb. 1: © Andreas
Fischer/Universität Kassel; S. 9 Abb. 5: Claudia Freudenberger © Goethe-
Universität