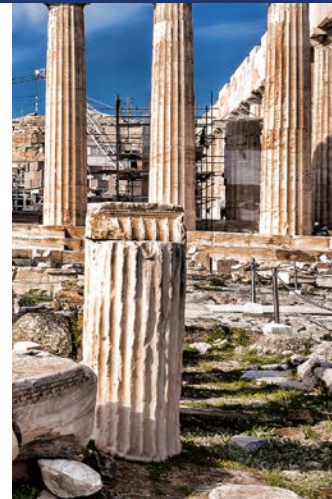


Neutronen für Forschung und Innovation



MLZ ist eine Kooperation zwischen:

Bayerisches Staatsministerium für
Wissenschaft und Kunst



GEFÖRDERT VOM

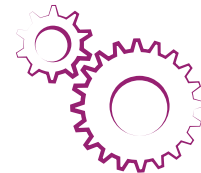


Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Das Heinz Maier-Leibnitz Zentrum (MLZ):

Das Heinz Maier-Leibnitz Zentrum in Garching bei München ist ein führendes Zentrum für Spitzenforschung mit Neutronen und Positronen. Als Serviceeinrichtung für Nutzer verfügt das MLZ über eine einzigartige, leistungsfähige Instrumentierung im Bereich der Neutronenforschung. Das MLZ ist eine Kooperation der Technischen Universität München, des Forschungszentrums Jülich und des Helmholtz-Zentrums Geesthacht. Es wird gemeinsam finanziert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung, das Bayerische Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst sowie Partner der Kooperation.


Heinz Maier-Leibnitz Zentrum (MLZ) – Neutronen für Forschung und Innovation



Neutronen im Dienste der Wissenschaft

Das Heinz Maier-Leibnitz Zentrum (MLZ) ist eine Kooperation der Technischen Universität München (TUM), des Forschungszentrums Jülich (FZJ) und des Helmholtz-Zentrums Geesthacht (HZG) zur wissenschaftlichen Nutzung der Forschungs-Neutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz (FRM II) in Garching. Der FRM II wird von der TUM im Auftrag des Freistaats Bayern betrieben. Unter dem Dach des MLZ tragen neun deutsche Universitäten sowie die Max-Planck-Gesellschaft zum Betrieb der Neutroneninstrumente bei. Das MLZ wird vom Bayerischen Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst (StMWK) und dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) finanziell unterstützt. Durch diese Kooperation konnte ein weltweit führendes Zentrum für die Forschung mit Neutronen geschaffen werden.





Das MLZ ist die deutsche Nutzerplattform zur Forschung mit Neutronen, welche auch von internationalen Forschern genutzt wird. Es hat sich zu einem weltweiten Anziehungspunkt für Wissenschaftler aus den unterschiedlichsten Disziplinen entwickelt. Über 1000 Forscher pro Jahr aus den Bereichen Physik, Chemie, Biologie, Ingenieurwissenschaften und Medizin bearbeiten Fragestellungen zur Materialforschung, Energieforschung, Lebenswissenschaften, Umweltwissenschaften, Geowissenschaften, Werkstoffforschung, Informationstechnologie sowie Kunstgeschichte und Archäologie. Forschung am MLZ trägt hierbei zur Lösung großer gesellschaftlicher Zukunftsaufgaben im Bereich technische Innovation, Gesundheit, Mobilität und Energieversorgung bei.

Für die MLZ-Partner



Prof. Dr. Peter
Müller-Buschbaum
Direktor FRM II und MLZ



Prof. Dr.
Stephan Förster
Direktor JCNS-1 und MLZ



Prof. Dr.
Martin Müller
Direktor GEMS bei HZG

Inhalt



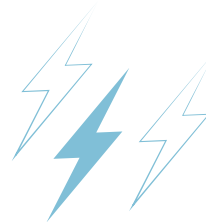
Neutronen
maßgeschneidert



Gebündelte Kräfte für
Neutronen – Made in
Germany



ENERGIE



KLIMA UND UMWELT



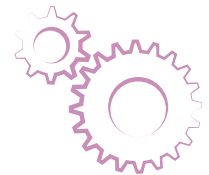


GESUNDHEIT UND
ERNÄHRUNG

MOBILITÄT

KULTURELLES ERBE

INNOVATION



Neutronen maßgeschneidert

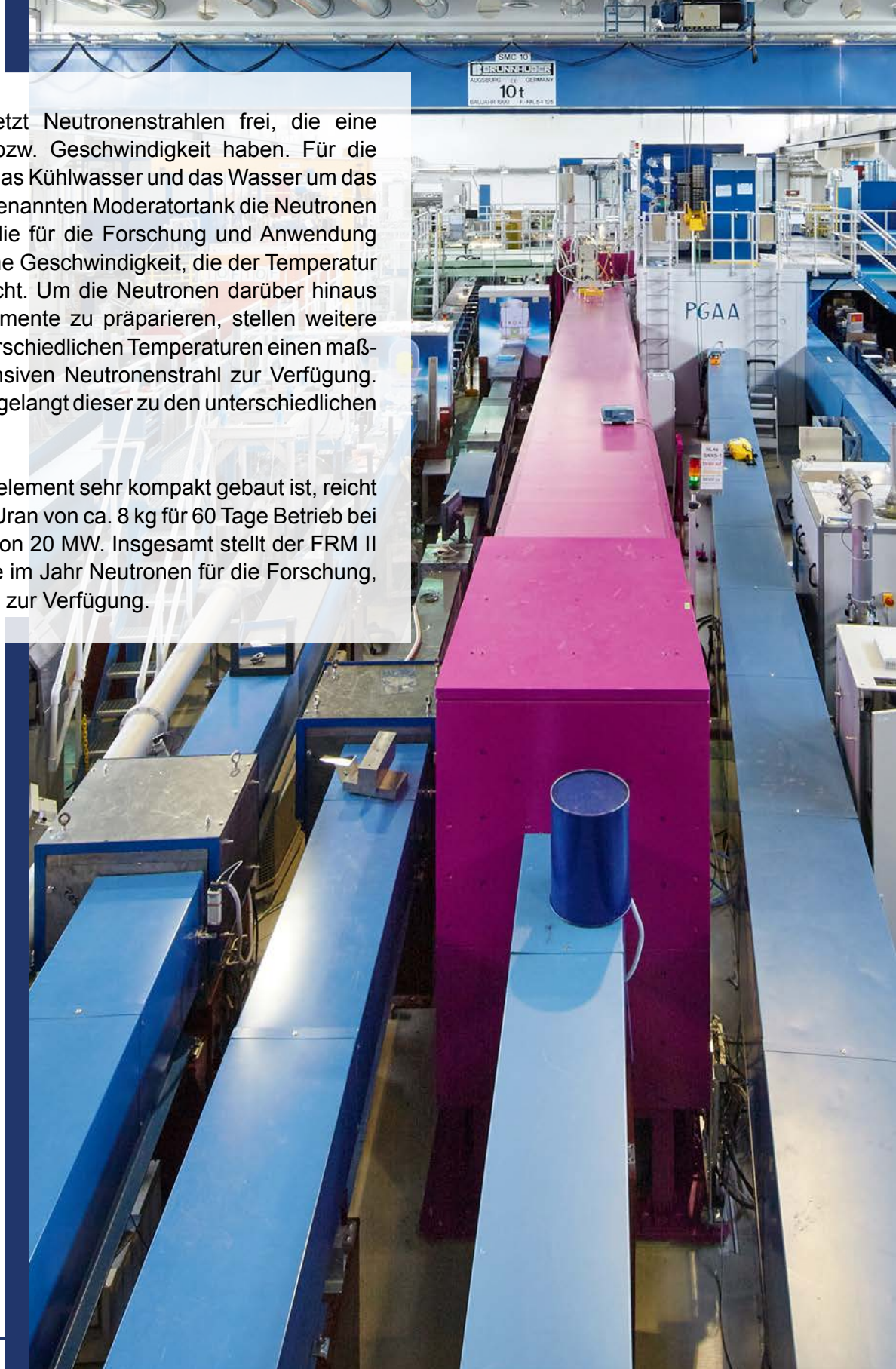


Die Neutronenstrahlen am MLZ werden durch die Kernspaltung von Uran erzeugt. Der FRM II dient nicht zur Energieerzeugung, sondern ist speziell für die Bereitstellung von Neutronen gebaut worden.

Forscher benötigen einen möglichst hohen Fluss von langsamen Neutronen, die auf die zu untersuchenden Proben an den Messinstrumenten geleitet werden. Da diese Proben typischerweise nur einige Zentimeter groß sind, muss auch die Quelle der Neutronen entsprechend klein sein. Der FRM II verwendet daher einen sehr kompakten Reaktorkern mit nur einem Brennelement, das durch die Verwendung von hochangereichertem Uran-235 besonders klein, aber sehr leistungsfähig gebaut werden konnte.

Die Kernspaltung setzt Neutronenstrahlen frei, die eine sehr hohe Energie bzw. Geschwindigkeit haben. Für die Forschung bremsen das Kühlwasser und das Wasser im Brennelement im sogenannten Moderatortank die Neutronen ab. So erhalten sie die für die Forschung und Anwendung erforderliche langsame Geschwindigkeit, die der Temperatur des Wassers entspricht. Um die Neutronen darüber hinaus für bestimmte Experimente zu präparieren, stellen weitere Moderatoren mit unterschiedlichen Temperaturen einen maßgeschneiderten, intensiven Neutronenstrahl zur Verfügung. Über Neutronenleiter gelangt dieser zu den unterschiedlichen Messinstrumenten.

Da das FRM II-Brennelement sehr kompakt gebaut ist, reicht das darin enthaltene Uran von ca. 8 kg für 60 Tage Betrieb bei maximaler Leistung von 20 MW. Insgesamt stellt der FRM II somit bis zu 240 Tage im Jahr Neutronen für die Forschung, Industrie und Medizin zur Verfügung.



Gebündelte Kräfte für Neutronen – Made in Germany



Das MLZ bietet ein breites Spektrum einzigartiger Neutronen-Analyseverfahren für Anwendungen in Forschung, Industrie und Medizin. Es erfüllt somit seine Mission als Serviceeinrichtung für Wissenschaft und Industrie. Zudem fördert und qualifiziert das MLZ Nachwuchs in den naturwissenschaftlich-technischen Fächern. Es informiert Schüler und bietet Studierenden, Promovierenden und Promovierten fächerübergreifende Ausbildung und Zugang zu spezialisierten Lehrangeboten beispielsweise in Praktika, Sommerschulen, Workshops und Konferenzen. Ingenieuren und Wissenschaftlern eröffnet es Karriereperspektiven und einzigartige Ausbildung auf höchstem Niveau.

Durch regelmäßige Führungen und Informationsveranstaltungen tritt das MLZ in den Dialog mit Bürgerinnen und Bürgern.

Die Forschungs-Neutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz ist die leistungsfähigste deutsche Neutronenquelle. Sie ist nach der Abschaltung der Forschungsreaktoren in Karlsruhe (1981), Jülich (2006), Geesthacht (2010) und Berlin (2019) die jetzt einzige verbleibende leistungsstarke Neutronenquelle in Deutschland.

Das MLZ bündelt die Neutronenkompetenz in Deutschland, stellt ca. ein Drittel der europäischen Kapazität für Forschung mit Neutronen bereit, und ist eine wesentliche Säule der Versorgung deutscher und europäischer Wissenschaftler mit Neutronen. Neutronenforschung am MLZ ist damit international, interdisziplinär und intersektoral, dient dem Transfer in Wirtschaft und Gesellschaft und ist eng an den forschungspolitischen Prioritäten des StMWK und des BMBF ausgerichtet.



Energie



Die Nutzung verfügbarer Energiequellen begleitet nahezu alle Bereiche des täglichen Lebens. Treibende Kraft für technologische Entwicklungen ist die Notwendigkeit einer nachhaltigen Energienutzung, insbesondere um fossile Energiequellen wie Kohle, Öl und Gas zu reduzieren. Um die Klimaschutzziele zu erreichen, benötigt es zukunftsweisende Entwicklungen bei Energietransport, Energieumwandlung und Energiespeicherung. Ein Schlüssel ist die Verfügbarkeit neuer Materialien, um Energieverluste zu minimieren und Speichertechnologien beispielsweise für neuartige Batteriesysteme zu entwickeln. Neutronen mit ihren einzigartigen Fähigkeiten Materialien und Bauteile zu untersuchen, leisten hierzu wesentliche Beiträge.



„Dank der Neutronenmessungen wissen wir, dass wir die richtige Mischung für unsere Batteriezellen verwenden und können sie auf die gewünschten Anforderungen optimieren.“

*Dr. Sebastian Schebesta,
VARTA Microbattery GmbH*





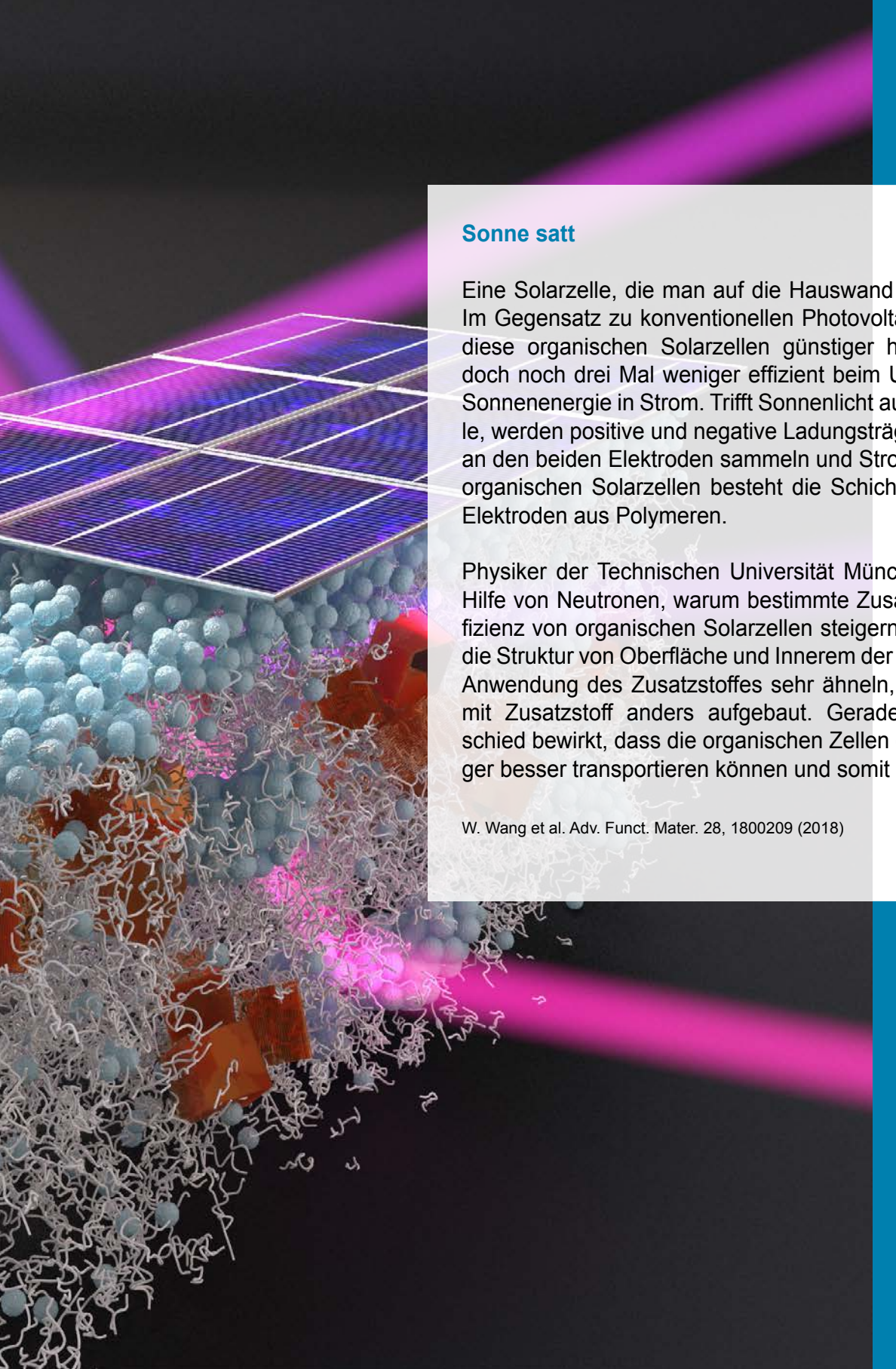
Akku leer? Neutronen her!

Noch altern die Akkus zu schnell, ihre Lebensdauer soll aber für die Anwendung als stationäre Energiespeicher steigen. Forscher von Varta arbeiten daher an neuen Batterien aus Lithium-Eisenphosphat und Graphit. Um zu sehen, was beim Altern der Batterie vor sich geht, dringen Neutronen zerstörungsfrei ins Innere und geben Auskunft über Chemie und Struktur.

Die Forscher be- und entladen die Akkus 5000 mal, andere lagerten sie über zwei Jahre. Die Messungen mit Neutronen zeigten: Eine spezielle Graphitart im Akku verlor drei Mal weniger an Speicherkapazität als eine andere. Schuld daran ist das Lithium. Es geht beim Altern der Akkus verloren, während es zwischen Plus- und Minuspol wandert. Die Neutronen zeigten, wo sich das Lithium sammelt.

N. Paul et al. J. Power Sources 345, 85 (2017)





Sonne satt

Eine Solarzelle, die man auf die Hauswand sprühen kann? Im Gegensatz zu konventionellen Photovoltaikanlagen sind diese organischen Solarzellen günstiger herzustellen, jedoch noch drei Mal weniger effizient beim Umwandeln von Sonnenenergie in Strom. Trifft Sonnenlicht auf eine Solarzelle, werden positive und negative Ladungsträger frei, die sich an den beiden Elektroden sammeln und Strom ergeben. Bei organischen Solarzellen besteht die Schicht zwischen den Elektroden aus Polymeren.

Physiker der Technischen Universität München klärten mit Hilfe von Neutronen, warum bestimmte Zusatzstoffe die Effizienz von organischen Solarzellen steigern. Während sich die Struktur von Oberfläche und Innerem der Solarzelle ohne Anwendung des Zusatzstoffes sehr ähneln, ist die Struktur mit Zusatzstoff anders aufgebaut. Gerade dieser Unterschied bewirkt, dass die organischen Zellen die Ladungsträger besser transportieren können und somit effizienter sind.

W. Wang et al. Adv. Funct. Mater. 28, 1800209 (2018)



Wie der Strom von der Nordsee nach Bayern kommt

Die Versorgung mit elektrischer Energie ist Dreh- und Angelpunkt in der aktuellen Energiewende. Neben dem Ausbau der erneuerbaren Energien liegen die beiden großen technologischen Herausforderungen in der Stromverteilung und Speicherung. Verfügbarer Strom aus Windkraft in der Nordsee muss teilweise über sehr lange Strecken transportiert werden. Um Verluste zu minimieren werden Hochspannungsleitungen verwendet, bislang jedoch überwiegend mit Wechselstrom. Dabei treten zusätzliche Verluste auf, die durch die Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung deutlich verringert werden können. Für die Umwandlung des Wechselstroms in Gleichstrom werden Gleichrichter eingesetzt. Diese bestehen aus dem Halbleitermaterial Silizium, welches durch Neutroneneinfang dotiert wird.

Der FRM II mit seinem hohen Fluss an Neutronen kann etwa 15 Tonnen dieses dotierten Siliziums pro Jahr herstellen, was ca. 10 % des Weltmarktes entspricht.

Klima und Umwelt



Forschung und Entwicklung in den Bereichen Klima und Umwelt sind geprägt durch ihre Komplexität in denen zahlreiche, heute teilweise noch unbekannte Faktoren eine Rolle spielen. Zum Verständnis der Vorgänge in der Natur können Neutronen mit der Untersuchung komplexer Materialien einen wesentlichen Beitrag liefern. Hierbei gibt oft der innere Aufbau dieser Materialien im Nanometer Bereich einen entscheidenden Hinweis, der mit Hilfe der Neutronen untersucht wird. Die Untersuchung von Probenmaterialien unter teilweiser extremen Bedingungen, wie sie beispielsweise in der oberen Atmosphäre bei der Wolkenbildung vorkommen, ist eine der herausragenden Stärken der Neutronenforschung indem sie Apparaturen, die diese Bedingungen herstellen, einfach durchdringen können.



“Die Neutronenmessungen am Heinz Maier-Leibnitz Zentrum haben uns geholfen, das langjährige Rätsel um die Zusammensetzung von Eiswolken zu lösen.“

*Prof. Dr. Hinrich Grothe,
Technische Universität Wien, Österreich*





Phänomen Eiswolken

Wer bei einem Interkontinentalflug nach oben aus dem Fenster schaut, kann sie manchmal erblicken: Zirren, die Eiswolken in der oberen Troposphäre (8-12 km Höhe) sehen aus wie zerzupfte Watte. Eiswolken spielen z.B. in der Strahlungsbilanz der Erde eine Rolle, mit einem starken Einfluss auf das Klima, oder beim Ozonabbau an den Polkappen.

Sie bestehen vor allem aus Wassereis und Salpetersäuretrihydrat. Letzteres kann wiederum zwei unterschiedliche kristalline Strukturen annehmen. Experimentell beweisen konnten die Meteorologen das jedoch nicht, zumal die sogenannte alpha-Form nur vorübergehend stabil ist, künstlich gezüchtet und bei Temperaturen unter -93 °C gehalten werden muss. Mit Neutronen, die auch große Kühlapparate gut durchdringen, klärten Forscher der Technischen Universität Wien erstmals die Struktur dieses Bestandteils von Eiswolken vollständig auf.

F. Weiss et al. Angew. Chem. 128, 3334 (2016)





Luft entlasten – CO₂ vergraben?

CO₂ wirkt in der Atmosphäre als Treibhausgas und gilt als Hauptursache der globalen Erwärmung. Große Mengen entstehen z.B. in Gas- oder Kohlekraftwerken. Um ein Entweichen in die Atmosphäre zu verhindern, kann man CO₂ abscheiden und verdichten. Damit es dem Klimakreislauf langfristig fernbleibt, muss es danach sicher gespeichert werden.

Weltweit wird bereits an einer möglichen Speicherung in tiefen, porösen Gesteinsschichten geforscht. Bevor dies realisiert werden kann, sind noch zahlreiche Fragen zu klären, vor allem wie lange das CO₂ dort verbleibt. Dichte Deckschichten sollen ein Austreten verhindern. Doch wie lange halten diese stand? Im Falle des natürlichen Reservoirs in Utah mindestens 100.000 Jahre und damit zehnmal so lange wie angestrebt, zeigen Geologen und der Öl- und Gas-Konzern Shell mit Hilfe von Neutronen am Heinz Maier-Leibnitz Zentrum.

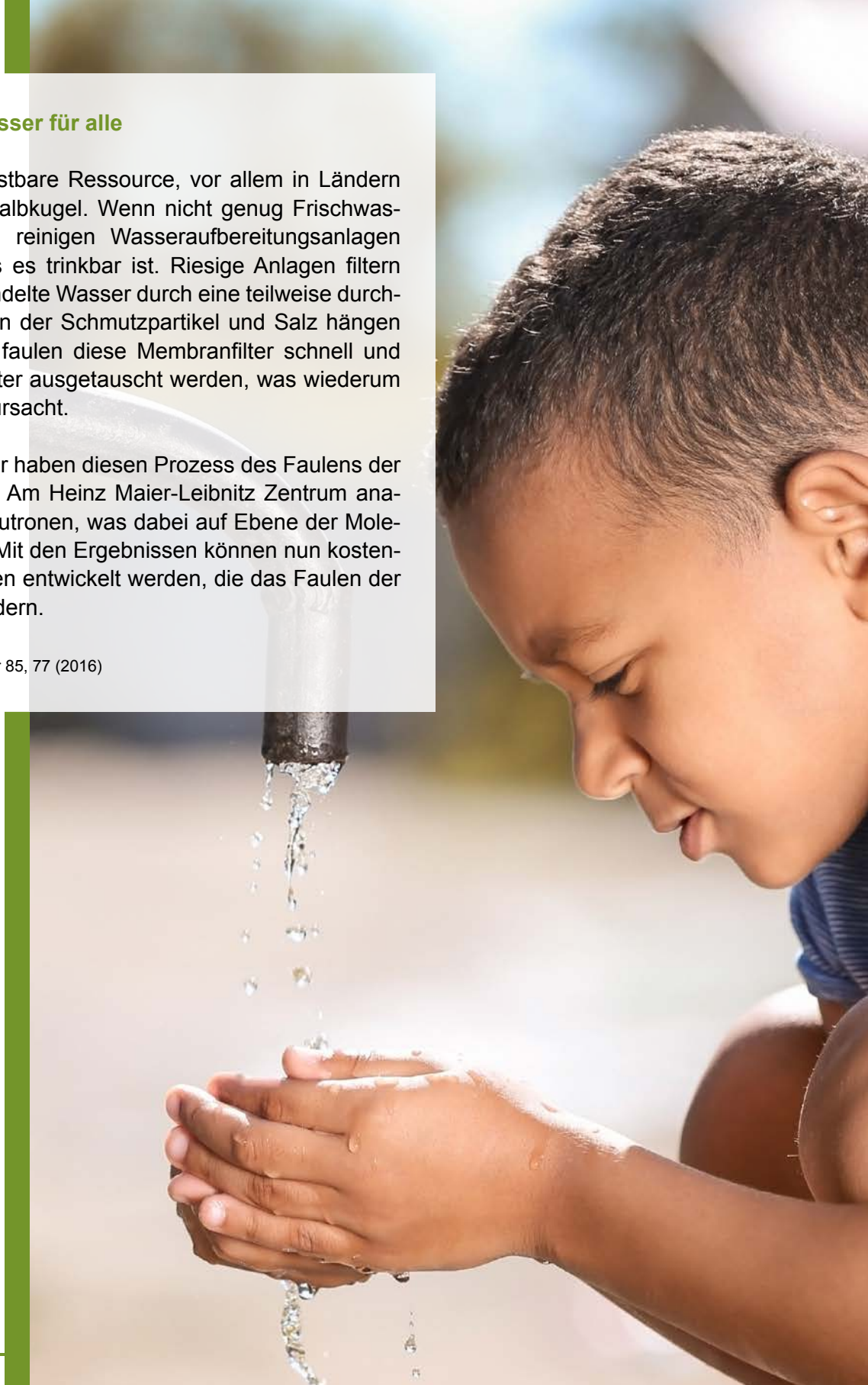
N. Kampman et al. Nat. Commun. 7, 12268 (2016)

Sauberes Trinkwasser für alle

Wasser ist eine kostbare Ressource, vor allem in Ländern der südlichen Erdhalbkugel. Wenn nicht genug Frischwasser vorhanden ist, reinigen Wasseraufbereitungsanlagen Abwasser so, dass es trinkbar ist. Riesige Anlagen filtern dabei das vorbehandelte Wasser durch eine teilweise durchlässige Membran, in der Schmutzpartikel und Salz hängen bleiben. Allerdings faulen diese Membranfilter schnell und müssen deshalb öfter ausgetauscht werden, was wiederum höhere Kosten verursacht.

Israelische Forscher haben diesen Prozess des Faulens der Membran simuliert. Am Heinz Maier-Leibnitz Zentrum analysierten sie mit Neutronen, was dabei auf Ebene der Moleküle vor sich geht. Mit den Ergebnissen können nun kostengünstige Substanzen entwickelt werden, die das Faulen der Membranen verhindern.

Y. N. Dahdal et al. Polymer 85, 77 (2016)



Gesundheit und Ernährung



Nur mit hochintensiver Neutronenstrahlung können bestimmte Radioisotope hergestellt werden. Hierbei entsteht durch die Absorption von Neutronen radioaktives Material, das dann zur Herstellung von Radiopharmaka verwendet wird. Neutronen leisten somit einen wertvollen Beitrag zu unserer Gesundheitsvorsorge und medizinischer Behandlung. Neutronen bieten auch einzigartige Einblicke in die Wirkmechanismen von Medikamenten. Um ihre Funktion zu verstehen, sind die schwachen chemischen Bindungen in Proteinen wesentlich. Hier besitzen Neutronen zwei große Vorteile: Sie spüren hochempfindlich Wasserstoffatome auf, die diese Bindungen herstellen. Und sie haben eine relativ niedrige Energie, die diese schwachen Bindungen nicht beeinflusst. Diese Eigenschaften sind auch für die Untersuchung von Lebensmitteln besonders vorteilhaft.



„In den vergangenen zwei Jahren konnten wir die Anzahl der ausgelieferten Patientendosen des am FRM II produzierten hochreinen Lutetium-177 nahezu verdoppeln. Zusammen mit mehr als 30 internationalen Vertriebspartnern beliefern wir mehr als 360 Kliniken in ca. 50 Ländern und können so einen signifikanten Beitrag zum Behandlungserfolg und zur Verbesserung der Lebensqualität von Krebspatienten weltweit leisten.“

Dr. Richard Henkelmann,

Gründer und Geschäftsführer ITG Isotope Technologies Garching GmbH



Neutronen gegen Krebs

In der Medizin werden Krebszellen bestrahlt, um den Tumor am Wachstum zu hindern oder ihn zurückzubilden. Radiopharmaka bringen die Strahlung direkt an den Tumor. So verringern sich Nebenwirkungen erheblich und der Krebs wird gezielt behandelt.

Geeignete Radioisotope müssen ihre Strahlung dabei über eine sehr kurze Distanz abgeben und sich an geeignete Trägersubstanzen binden, um zum Tumor zu gelangen. Für die Herstellung dieser Radioisotope werden häufig intensive Neutronenstrahlen benötigt, wie sie am FRM II zur Verfügung stehen. Beispiele sind Lutetium-177 für die Behandlung von Tumoren, wie z.B. Prostatakrebs, oder Holmium-166 gegen Lebermetastasen. Zukünftig werden am FRM II auch Isotope für die Diagnostik wie z.B. Molybdän-99/Technetium-99m hergestellt. Über 30 Millionen Untersuchungen werden weltweit jedes Jahr mit diesem Radioisotop durchgeführt, davon allein in Deutschland ca. 3 Millionen.





Resistenten Bakterien auf der Spur

Immer öfter werden Bakterien resistent gegen Antibiotika. Sie spalten den Wirkstoff mit Hilfe eines speziellen Eiweißes. Das Medikament wird so unbrauchbar. Bei einem bakteriellen Eiweiß, der sogenannten Beta-Lactamase, ist immer noch nicht im Detail geklärt, wie es das Antibiotikum, z.B. Penicillin, genau spaltet. Bislang gab es zwei einander widersprechende Theorien, welcher Teil im aktiven Zentrum des Eiweißes vorübergehend ein Wasserstoffatom zwischenparkt.

Deshalb haben amerikanische Wissenschaftler am MLZ den Prozess mit Neutronen genauer analysiert. Sie bestimmten die Position der Wasserstoffatome im aktiven Zentrum des Eiweißes, während es ein Antibiotika-Analogen gebunden hatte, und bestätigten damit eine der beiden Theorien. Die Ergebnisse helfen nun, bessere und neue Antibiotika zu entwickeln.

S. J. Tomanicek et al. J. Biol. Chem. 288, 4715 (2013)

Frisch getrocknet

Himbeeren im Früchtemüsli sind zwar getrocknet, sehen aber aus wie frisch gepflückt. Dahinter steckt die Gefriertrocknung. Dabei frieren die Hersteller die Himbeeren ein. Bei Unterdruck führen sie Wärme zu, woraufhin das gefrorene Wasser direkt verdampft ohne das Obst aufzutauen. Zurück bleibt eine entwässerte aber dennoch perfekte Himbeere.

Bislang gibt es nur einfache Theorien zum Umwandlungsprozess, der bei der Gefriertrocknung abläuft. Aktuell gleicht die Industrie ihr Unwissen mit zu langen Trocknungszeiten aus, was hohe Kosten zur Folge hat. Forscher der Technischen Universität München und der Universität Magdeburg haben mithilfe von Neutronen weltweit zum ersten Mal den Prozess live beobachtet. Das hilft die Gefriertrocknung besser zu verstehen und somit Kosten zu sparen.

S. Gruber et al. Chem. Eng. Sci. 211, 115268 (2020)



Mobilität



Von einem Ort zum anderen zu kommen, ist für uns heute oft ein alltägliches Bedürfnis, aber auch eine Notwendigkeit unserer modernen Gesellschaft. Die damit verbundenen technischen Herausforderungen wie Energieeffizienz, Verfügbarkeit und Kosteneinsparung erfordern eine ständige Weiterentwicklung der Transportmittel und der dabei verwendeten Materialien und Bauteile. Eine Schlüsselrolle können hier Neutronen einnehmen, indem sie einen Einblick ins Innere der Bauteile ermöglichen, insbesondere unter realen oder simulierten Einsatzbedingungen. Mit Durchstrahlungsexperimenten erkennen Forscher Vorgänge, die sonst anderweitig verborgen geblieben wären. Dies ermöglicht es, industrielle Prozesse zu optimieren, einzelne Geräte zu verbessern oder neue Materialien zum Einsatz zu bringen.



„Um sicher zu gehen, dass auch wirklich alle Bereiche der Elektrode mit Elektrolyt gefüllt sind, planen die Hersteller eine lange Sicherheitsmarge ein. Das kostet Zeit und Geld. Die Neutronenradiografie hat uns gezeigt, dass das Befüllen viel schneller und homogener vonstattengeht, als wir das erwartet hatten.“

Dr. Wolfgang Weydanz,

Senior Expert bei Robert Bosch GmbH, Stuttgart





Langsame Neutronen für schnelle Prozesse

Einer der kritischsten und zeitlich aufwändigsten Prozesse in der Batterieherstellung ist das Befüllen der Lithiumionen-Zellen mit Elektrolytflüssigkeit, nachdem die Elektrode eingebaut wurde. Während das Befüllen selbst nur wenige Sekunden dauert, warten Batteriehersteller oft mehrere Stunden lang, um sicher zu gehen, dass die Flüssigkeit vollständig in die Poren des Elektrodenstapels eingesogen ist.

Da Neutronen vom Metallgehäuse des Akkus kaum absorbiert werden, kann man mit ihnen Prozesse im Inneren sehr gut analysieren. Mitarbeiter der Firma Bosch und Forscher der Technischen Universität München und Universität Erlangen-Nürnberg untersuchten den Befüllprozess einer Batterie für Elektroautos daher am MLZ. Im Licht der Neutronen sahen die Wissenschaftler, dass im Vakuum bereits nach gut 50 Minuten die gesamte Elektrode benetzt ist. Unter Normaldruck dauert dies doppelt so lange.

W.J. Weydanz et al. J. Power Sources 380, 126 (2018)

Wasser aus dem Auspuff

Emissionen vermeiden und im innerstädtischen Verkehr die Luft verbessern – das ist eine der treibenden Kräfte für die Elektromobilität. Neben Batterien hat Wasserstoff als Energiequelle für Autos ein vielversprechendes Potential. Aber auch hier liegt die Herausforderung in der Speicherung des Energieträgers.

Metallhydride werden als heiße Kandidaten für Speicher gehandelt. Neutronenexperimente am MLZ zeigen, wie sich Wasserstoffatome in die Metalle einlagern und wieder herauslösen, sodass man mit ihnen später das Wasserstoffauto schnell be- und entladen kann. Forscher untersuchen nicht nur, wie sich der Wasserstoff im Metallhydrid anordnet, sondern auch wie er sich während des Be- und Entladens bewegt. Schnelle Neutronen können sogar massive Stahltanks durchleuchten und zeigen, wie sich der Wasserstoff darin verteilt.

S. Börries et al. Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A. 797, 158 (2015)





Unerwartetes Übergepäck

Flughäfen achten peinlichst auf Übergepäck. Auch im Flugzeugrumpf versteckt sich so manches Extra-Kilo. Denn aus der Atemluft der Passagiere entstehen über den jahrelangen Einsatz eines Flugzeugs hunderte Kilo Wasser, die in die Isolierung dringen. Der Dampf schlägt sich an der kalten Außenwand als Wasser oder Eis nieder. Das kostet Treibstoff. Und: Die Isolierung dämmt schlechter, schimmelt. Kurzschlüsse in der Elektrik entstehen. Oft muss die Isolierung ausgetauscht werden.

Forscher der TU Hamburg-Harburg und die XRG Simulation GmbH suchen nach Lösungen. Dazu messen sie, wie und wo genau sich das Wasser in der Isolierung niederschlägt. Konventionelle Messtechniken liefern eine schlechte Auflösung. Die Neutronenradiografie am MLZ lieferte jedoch hoch aufgelöste Bilder, die die Wasserverteilung während des Flugs abbilden. Das hilft die Flugzeugisolierung weiterzuentwickeln.

A. Joos et al. Int. J. Heat Mass Transf. 53, 5283 (2010)

Kulturelles Erbe



Bewahren und Verstehen sind zwei der wesentlichen Aspekte, wenn es um unser kulturelles Erbe geht. Sei es ein bedeutendes Artefakt, das Archäologen bei Ausgrabungen gefunden haben oder Fossilien die uns einen Einblick in die Entstehungsgeschichte der Erde geben – Wissenschaftler benötigen Analysen, um sie zu identifizieren und ihren Zusammenhang in der Geschichte oder Evolution zu verstehen. Neutronen können hier einen wesentlichen Beitrag liefern. Sie können zerstörungsfrei in das Innerste der Objekte blicken und dort auch noch ihre chemische Zusammensetzung analysieren. Sie bestimmen innere Spannungen in Werkzeugen und verstehen, wie sie hergestellt wurden. Oft gibt die Zusammensetzung der Materialien einen Hinweis auf den Ursprung oder Herstellungsort der Artefakte.



„Neutronen sind einzigartig darin, unsere Konservierungsmethoden zu bewerten. Da sie zerstörungsfrei Auskunft geben, können wir sowohl vor als auch nach der Behandlung unsere archäologischen Fundstücke messen.“

*Prof. Dr. Dipl.-Rest. Britta Schmutzler,
FH Erfurt*





Heißes Eisen

Eisenhaltige Fundstücke überdauern unter der Erde über Jahrhunderte. Kaum sind die Schwerter oder Pfeile jedoch ausgegraben, rosten sie und drohen zu zerfallen. Forscher haben Chlor als Auslöser im Verdacht, das beim Ausgraben im Kontakt mit Sauerstoff wirkt.

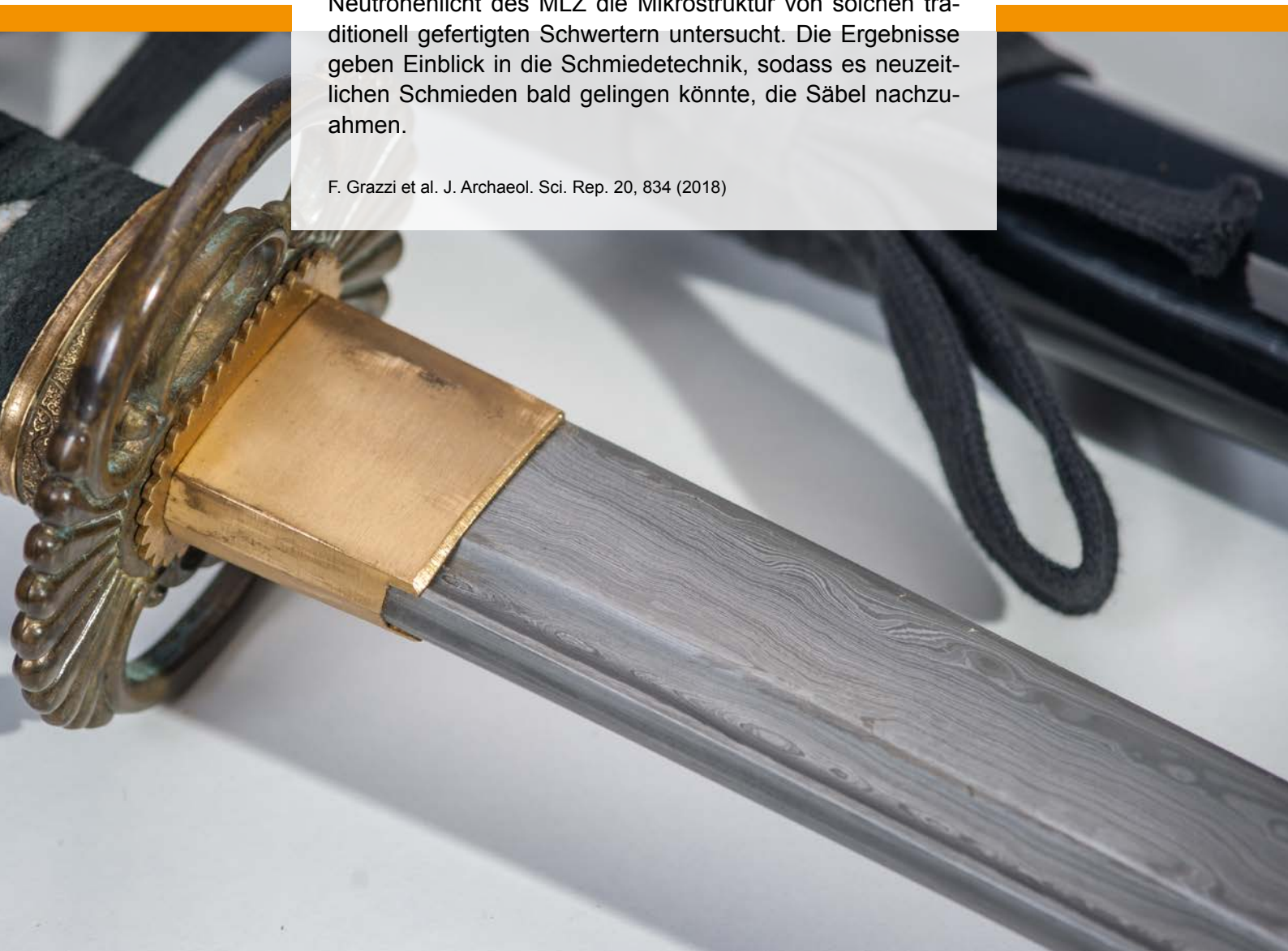
Wissenschaftler der Technischen Universität München und der Bayerischen Staatssammlung testeten ein neues Verfahren, das die Fundstücke auf bis zu 750 °C erhitzt. Den Chlorgehalt vor und nach der Behandlung bestimmten sie mit Hilfe der Neutronen. Tatsächlich führte das Erhitzen zum gewünschten Erfolg: Bis zu 85 % des Chlors verschwand. So können die Archäologen die historischen Schwerter wesentlich besser vor Korrosion schützen und in Museen ausstellen.

Das Geheimnis legendärer Schwerter

Die ersten Kreuzfahrer machten im Orient oft schmerzhaft Begegnung mit den Schwertern ihrer Feinde: Im Kampf erwiesen sich die Säbel mit Wellenmuster nicht nur als biegsamer und bruchfester als die Schwerter der Christen, sondern blieben auch viel länger scharf.

Die genaue Schmiedetechnik dieses sogenannten Damaszener Stahls, der durch Mischen verschiedener Sorten und komplizierter Temperaturbehandlung entstand und in Indien eine jahrhundertelange Tradition hatte, ist jedoch in Vergessenheit geraten. Alle Versuche, die Originale zu kopieren, sind bislang gescheitert. Italienische Forscher haben nun im Neutronenlicht des MLZ die Mikrostruktur von solchen traditionell gefertigten Schwertern untersucht. Die Ergebnisse geben Einblick in die Schmiedetechnik, sodass es neuzeitlichen Schmieden bald gelingen könnte, die Säbel nachzuahmen.

F. Grazzi et al. J. Archaeol. Sci. Rep. 20, 834 (2018)





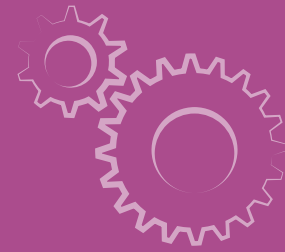
Knochenkrimi Dino-Eier

Haben Oviraptoren vor 67 Millionen Jahren eher wie Krokodile oder wie Vögel gebrütet? Krokodile vergraben ihre Eier und die Nachkommen schlüpfen gleichzeitig; bei Vögeln hingegen schälen sich die Küken zu unterschiedlichen Zeiten aus dem Ei.

Paläontologen der Universität Bonn untersuchten zusammen mit Wissenschaftlern aus Taiwan, der Schweiz und dem MLZ drei Eier der zweibeinigen Dinosaurier aus demselben Gelege. Weil Neutronen sehr tief in die versteinerten Eier eindringen, machten sie die internen Strukturen sichtbar und die Paläontologen konnten die Länge und Lage der Embryonenknochen vermessen. Weil die Dino-Babys in den Eiern unterschiedlich weit entwickelt waren, schlossen die Wissenschaftler, dass die Oviraptoren in ihrem Brutverhalten eher modernen Vögeln ähnelten. So sind sie der Lebensweise der Dinosaurier einen Schritt nähergekommen.

Z.-R. Yang et al. Integ. Org. Biol. 1, obz030 (2019)

Innovation



Neutronen für Forschung, Industrie und Medizin, für diese Zwecke wurde die Forschungs-Neutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz konzipiert. Der Betrieb seit 2005 hat überzeugende Forschungsergebnisse geliefert und weltweit führende Entwicklungen im Bereich der Forschung mit Neutronen vorangebracht. Was aber sind die Auswirkungen auf unsere Gesellschaft, welche Innovationen und Entwicklungen wurden und werden verfolgt? Welche Produkte und Technologien profitieren von dem Einsatz der Neutronenforschung? Durch die vielfältigen Analysemethoden, die die Neutronen ermöglichen, ist die Antwort umfangreich und eng verbunden mit Materialforschung im weitesten Sinne. Neutronen sind hierbei jedoch immer nur ein Teil eines komplexen Prozesses, liefern aber oft einen entscheidenden Beitrag zur Entwicklung von neuen Materialien, Verfahren und Produkten.



„Dank der Neutronendaten können wir nun Zellulosefilme für bestimmte Anwendungen maßschneidern, die dafür beispielsweise das optimale Verhältnis zwischen Rauigkeit, Wassergehalt und Hohlräumen besitzen.“

*Prof. Dr. Stephan Roth,
Deutsches Elektronen Synchrotron, Hamburg,
und Königlich-Technische Hochschule Stockholm, Schweden*





Umweltfreundliche Verpackung

Dünne Schichten aus mineralölbasierten Kunststoffen finden vielfältige Anwendung in der Industrie, von Verpackungsmaterialien bis hin zu Konstruktionswerkstoffen. Zwar haben sie hervorragende Eigenschaften, können jedoch nur begrenzt wiederverwertet werden. Schichten aus Zellulosefasern werden üblicherweise aus Holz gewonnen und bieten eine nachhaltige Alternative zum Plastik.

Forscher vom DESY in Hamburg und der Königlich-Technischen Hochschule Stockholm untersuchten poröse, nanostrukturierte Filme, die durch ein Sprühverfahren aus Zellulose-Nanofasern hergestellt wurden. Sie erhielten dabei ein extrem dünnes, glattes und festes Nanopapier. Mit Hilfe von Röntgen- und Neutronenstrahlen untersuchten die Forscher dieses Material für mögliche Anwendungen. Es lässt sich bereits im industriellen Maßstab und in hoher Qualität produzieren.

C. J. Brett et al. *Macromolecules* 52, 4721 (2019)



Hart wie Diamant

Die aus Hartmetall bestehenden Schneidplättchen eines Sägeblatts werden gewöhnlich mit einem Hartlötverfahren aufgebracht. Dieses Hartlöten ermöglicht die Reparatur einzelner Sägezähne, die üblicherweise aus Wolframcarbid oder Diamant bestehen. Als Hersteller für Schneidwerkzeuge für die Holzverarbeitende Industrie hat die französische Firma DIAMONDE den Einsatz von keramischen Sägezähnen entwickelt. Hierbei wurde ein zweistufiges Lötverfahren angewendet, das gesintertes Wolframcarbid als Zwischenschicht zwischen Keramik und Sägeblatt einfügt.

Auf der Suche nach einem zerstörungsfreien Prüfverfahren, das die Eigenspannungen im Material nach diesem komplexen Lötverfahren messen kann, kam die Firma zum MLZ. Die Neutronenmessungen zeigten die Spannungsverteilung im Sägeblatt, bestätigten den möglichen Einsatz der Keramik und halfen der Firma, die Sägeblätter durch Optimierung der Produktionsprozesse zu verbessern.

F. Contarato et al. Int. J. Appl. Ceram. Tech. (2019)



Unsere Stadt bleibt sauber

Energieumwandlung ohne lokale Emissionen, das macht den Einsatz von Brennstoffzellen attraktiv. Für die direkte chemische Umwandlung von Wasserstoff zur Erzeugung elektrischer Energie ist jedoch bislang eine teure Schutzschicht aus Platin an den Elektroden erforderlich. Bei der kontrollierten Reaktion innerhalb einer Brennstoffzelle wird eine elektrisch nichtleitende Membran verwendet, die nur für den Wasserstoff durchlässig ist. Brennstoffzellen, die nicht den Wasserstoff, sondern Anionen durch eine Membran leiten, könnten auf das teure Platinmetall verzichten.

Forscher aus Japan und dem Forschungszentrum Jülich ist es gelungen, ein hierfür geeignetes neues Material zu entwickeln. Die Untersuchung mit Neutronen zeigte, welche Vorgänge in der Membran die bisherige geringe Lebensdauer begrenzt und wie zukünftig noch bessere Membranen entwickelt werden können.

K. Yoshimura et al. Soft Matter 14, 9118 (2018)

Biotinte – Organe aus dem Drucker

Im Labor gezüchtete Gewebe sind ein Hoffnungsträger für Menschen mit Gewebeschädigungen. Sie könnten beispielsweise einmal Knorpelmasse oder ganze Organe ersetzen, die durch Krankheiten oder Unfälle verletzt wurden.

Für die Erzeugung gewebeähnlicher Strukturen im Labor setzen Forscher der Julius-Maximilians-Universität Würzburg ein neu entwickeltes Thermogel in einem 3D-Druckverfahren ein; eine sogenannte "Biotinte". Sie besteht aus einer Mischung biokompatibler Polymere und lebender Zellen und erfüllt alle Anforderungen für die regenerative Medizin. Das schwammartige Netzwerk ist mechanisch besonders stabil. Dies haben die Forscher in Zusammenarbeit mit Kollegen des Forschungszentrums Jülich bestätigt, als sie die Nanostruktur mit der Neutronenstreuung am MLZ untersuchten.

T. Lorson et al. Biomacromolecules 18, 2161 (2017)





Neue Superlegierungen – Weniger Treibstoff

Nickel-Basis Superlegierungen sind die führenden High-Tech Materialien für Gasturbinen zur Stromerzeugung und im Flugzeug. Um sie noch effizienter und damit umweltverträglicher zu machen, werden die Turbinen ständig weiterentwickelt. Ihre Effizienz zu steigern, heißt, die Verbrennungstemperaturen zu erhöhen. Doch irgendwann schmilzt auch die beste Superlegierung.

Wissenschaftler der TU Braunschweig entwickeln deshalb neue Hochtemperatur-Legierungen auf Basis von Kobalt und Rhenium. Der Einsatz von Neutronen am MLZ lieferte wichtige Informationen über die Veränderungen im Kristallgitter auf atomarer Ebene während der Erwärmung und Verformung des Materials und über die internen Spannungsverteilungen, insbesondere unter Belastung. Für die zerstörungsfreie Untersuchung solcher Materialien sind Neutronen mit ihrer hohen Durchdringungskraft unverzichtbar.

L. Karge et al. Acta Mater. 132, 354 (2017)

Impressum

Herausgeber

Technische Universität München
Forschungs-Neutronenquelle
Heinz Maier-Leibnitz (FRM II)
Lichtenbergstr. 1
85747 Garching
Germany

Internet: www.mlz-garching.de
E-Mail: presse@frm2.tum.de

Redaktion

Anke Görg
Connie Hesse
Jürgen Neuhaus
Andrea Voit

Design und Layout

Ramona Bucher, Forschungszentrum
Jülich GmbH, JCNS Outstation at MLZ

Coverdesign: Selitsch Weig

Erste Auflage, April 2020

Bildnachweise

Diamonde:
S. 34

Astrid Eckert, TUM:
S. 5 Portraitfoto links, S. 12, S. 33

Forschungszentrum Jülich GmbH:
S. 5 Portraitfoto Mitte

Suzanne Hangx:
S. 18

Andreas Heddergott, TUM:
S. 4/5, S. 13, S. 22, S. 29

Tom Kirkpatrick, BMW AG:
S. 26

Bernhard Ludewig:
S. 8, S. 9

Christian Schmid, HZG:
S. 5 Portraitfoto rechts

Wenzel Schürmann, TUM:
S. 6 zweites von links, S. 10/11, S. 25,
S. 31

Michael Stibitz:
S. 20 Portraitfoto

Tobias Zolles, TU Wien:
S. 17

