

hoch³FORSCHEN

Das Medium für Wissenschaft

Frühjahr 2017



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Impressum

Herausgeber
Der Präsident
der TU Darmstadt

Redaktion Stabsstelle
Kommunikation und Medien
der TU Darmstadt:
Jörg Feuck (Leitung, Vi.S.d.P.)
Ulrike Albrecht (Grafik Design)
Patrick Bal (Bildredaktion)

Gestalterische Konzeption
conclouso GmbH & Co. KG, Mainz

Titelbild Katrin Binner

Druck Drach Print Media GmbH,
Darmstadt
gedruckt auf 100 g/m²
PlanoScript, FSC-zertifiziert

Auflage 6.000
Nächste Ausgabe 15. Juni 2017

Leserservice
presse@pvw.tu-darmstadt.de

ISSN 2196-1506



Möchten Sie die nächste Ausgabe der hoch³FORSCHEN gerne in digitaler Form erhalten? Dann senden Sie bitte eine E-Mail an presse@tu-darmstadt.de

— **1 Kernphysik:** Das Rätsel der Neutronensterne — **2 IT-Sicherheit:** Neuer Standard für verschlüsselte Kommunikation — **3 Energietechnik:** Kohlekraftwerke werden umweltfreundlicher — **4 Materialwissenschaften:** Prägen von Nanostrukturen in Metalle

Abhürsicher in die Zukunft

Das Internet bekommt mit dem TLS 1.3 einen neuen Standard für verschlüsselte Kommunikation. Forscher um Professor Marc Fischlin an der TU Darmstadt haben an der Analyse des Protokolls mitgewirkt und die kryptographischen Verfahren geprüft – sie sind effizienter und weniger fehleranfällig. Aber sind sie zukunftsfähig?

— Von Boris Hänßler

Heartbleed, Triple Handshake, Crime – hinter diesen seltsamen Namen stecken Angriffe auf eines der Herzstücke des heutigen Internets: Das Transport Layer Security-Protokoll für verschlüsselte Kommunikation. Wir alle nutzen es: Wenn wir bei Google etwas suchen, in Online-Shops einkaufen oder E-Mails verschicken, werden unsere Daten damit geschützt. In der Regel können wir dem Protokoll vertrauen. Die folgenreichsten Hacker-Angriffe der letzten Jahre kamen stets zustande, weil das TLS nicht richtig implementiert wurde. Dennoch waren viele Experten mit dem Protokoll unzufrieden: Zum einen haben Forscher auch immer wieder kleinere Sicherheitslücken im Protokoll selbst entdeckt. Zum anderen war das bisherige Verfahren vielen Internet-Unternehmen zu umständlich – es war nicht schnell genug.

Die internationale Organisation „Internet Engineering Task Force“ (IETF) hat deshalb mit dem TLS 1.3 ein neues Protokoll vorgestellt. Marc Fischlin, Professor der Informatik an der Technischen Universität Darmstadt, und sein Team waren mit ihrer Expertise für Kryptographie bei der Analyse des Standards involviert. Sie prüften während des mehrjährigen Entwicklungsprozesses, ob die vorgeschlagenen Verfahren mit ihren neuen Funktionalitäten tatsächlich sicher genug sind – und ob sie auch mit den kommenden technologischen Fortschritten noch mithalten werden.

Ein Sicherheitsrisiko, mit dem sich Fischlins Team beschäftigt, ergibt sich, weil in dem neuen Protokoll die sogenannten Roundtrips reduziert wurden. Bei einer TLS-Verbindung handeln Client – zum Beispiel der Rechner des Kunden eines Online-Shops – und der Server des Shops in mehreren Schritten eine Verschlüsselung aus. Zunächst meldet sich der Rechner des Kunden. Er sagt im übertragenen Sinne: „Hallo, ich möchte mit dir kommunizieren und folgende Verschlüsselungen biete ich an.“ Der Server sucht daraufhin einen Schlüssel aus und schickt

zudem ein offizielles Zertifikat mit, das bestätigt, dass es sich tatsächlich um den Server des Shops handelt. Der Kunden-Rechner wiederum akzeptiert den Schlüssel; beide Seiten erklären nach einigen weiteren Schritten die Verhandlung für beendet und erst dann können die eigentlichen Daten ausgetauscht werden. Insgesamt besteht der technische Dialog aus sechs Einzelschritten. Ziel des neuen Pro-

tokolls war, diese Verhandlungen auf vier Schritte zu reduzieren. Das gelang den Entwicklern, indem sie jeweils zwei bisher getrennte Vorgänge zusammenlegten.

„Die Reduzierung der Roundtrips zählt zu den wichtigsten Neuerungen, birgt aber auch Risiken.“

Kennen sich Client und Server bereits, weil zum Beispiel der Kunde zuvor im Online-Shop eingekauft hatte, kommunizieren beide

Rechner in dem neuen TLS-Protokoll sogar sofort miteinander. Die Informatiker sprechen von einem Zero-Roundtrip, weil keine Extra-Runden bei der Verschlüsselungs-Verhandlung gedreht werden müssen. Der Rechner des Kunden identifiziert sich über ein sogenanntes „Session Ticket“, das er bei der letzten Kommunikation erhalten und gespeichert hatte – er kann mit diesem Ticket bereits seine Daten übertragen.

Die Reduzierung der Roundtrips bemerken wir als Internet-Nutzer im Alltag nicht. Schon das alte Protokoll war so schnell, dass es sich auf die Geschwindigkeit unserer Kommunikation kaum auswirkte. Anders jedoch sieht es zum Beispiel für Google aus. Die Suchmaschine verzeichnete zuletzt rund zwei Billionen Suchanfragen pro Jahr – und jedes Mal, wenn jemand die Suchmaschine in seinem Browser neu aufruft, muss sie eine Verschlüsselung mit ihm aushandeln. Die Reduzierung der Roundtrips ist für Unternehmen wie Google daher eine enorme Entlastung. „Sie gehört zweifellos zu den wichtigsten Neuerungen bei TLS 1.3“, sagt Fischlin. „Aber sie bringt auch Risiken mit sich.“

Eines dieser Risiken ist Thema einer aktuellen Studie, die Fischlin und sein Team in diesen Wochen als Konferenzbeitrag zur 2nd IEEE European Symposium

Informationen

Fachbereich Informatik Kryptopplexität

Prof. Dr. Marc Fischlin
marc.fischlin@cryptopplexity.de
<http://bit.ly/2mlTbs9>

on Security and Privacy in Paris vorstellen. Darin geht es um so genannte Replay-Angriffe bei Zero-Roundtrips. Im Falle eines solchen Angriffs würde ein Hacker versuchen, das Session Ticket abzufangen. Zwar könnte er damit nicht den Inhalt der übertragenen Daten auslesen oder ändern, aber er könnte das Session Ticket nutzen, um eine Anfrage mehrmals an einen Server zu schicken. Würde ein Kunde in einem Online-Shop ein Buch bestellen, könnte der Hacker die Bestellung tausendmal wiederholen.

In dem Protokoll TLS 1.3 sollten deshalb Online-Shops oder andere Dienstleister prüfen, ob eine Anfrage des Clients zum gleichen Ergebnis führt wie die Anfragen zuvor – ob zum Beispiel das gleiche Produkt bestellt wird. Falls ja, wird das Session Ticket für ungültig erklärt. Server und Client müssen einen neuen Schlüssel aushandeln, und damit ist der Hacker machtlos. Fischlin und sein Team konnten nachweisen, dass das Protokoll selbst bei allen möglichen Sonderfällen die relevanten Sicherheitsanforderungen erfüllt. „Risiken gibt es zwar nach wie vor, aber wir schätzen sie für so gering ein, dass wir den neuen Standard für robust halten“, sagt Fischlin.

Die Darmstädter Forscher blicken auch auf zukünftige Funktionen für TLS 1.3. Virenschutz-Hersteller wünschen sich zum Beispiel, dass ihre Software verschlüsselte Informationen durchsuchen dürfen – nicht erst die entschlüsselten Dateien. „Wir arbeiten an Verfahren, die das ermöglichen“, sagt Fischlin. „Eine Option wäre zum Beispiel, direkt auf der Verschlüsselung zu rechnen. Der Virensch scanner würde anhand der Verschlüsselungsmuster erkennen, ob es sich um schadhafte Code handelt. Allerdings müssen wir verhindern, dass mit dieser Methode auch standardisierte Informationen in den Dateien wie etwa Bankdaten ausgelesen werden können.“

In ferner Zukunft wird ein weiteres Problem auf die Kryptographie-Experten zukommen: Eines Tages wird es womöglich Quanten-Rechner geben. Dann wäre das gegenwärtige Verschlüsselungsverfahren, das auf dem sogenannten Diffie-Hellman-Schlüsselaustausch basiert, hinfällig. Das Verfahren gilt als



Abbildung: Katrin Binner

zuverlässig, weil ihm ein mathematisches Problem zu Grunde liegt, dessen Lösung für heutige Rechner zu aufwändig ist. Quantenrechner könnten es jedoch knacken. „Niemand weiß, wann es solche Rechner geben wird“, sagt Fischlin. „Aber sobald sie zur Verfügung stehen, wären die Verfahren auf einen Schlag unsicher. Darauf müssen wir vorbereitet sein.“

Ein möglicher Ersatz wäre das sogenannte Learning with errors (LWE)-Problem. Es ist vermutlich von Quantenrechnern nicht lösbar. Warum setzt man es also nicht jetzt schon ein? „Das würde die Protokolle wieder verlangsamen“, sagt Fischlin und lächelt. „Daran sieht man: So schnell gehen uns die Forschungsthemen in der Kryptographie nicht aus.“

Der Autor ist Wissenschaftsjournalist.

Forscht zu Kryptographie, Sicherheit und Komplexitätstheorie:
Professor Marc Fischlin (re.)

Saubere Abfangtechnik

Forscher der TU Darmstadt haben im Projekt SCARLET das Carbonate-Looping-Verfahren zur Reduktion der CO₂-Emission beim Betrieb von Kohlekraftwerken nahe an die Marktreife herangeführt.



Jochen Hilz, Dr.-Ing. Jochen Ströhle, Prof. Dr.-Ing. Bernd Eppe (von links) in der CO₂-Versuchshalle des Instituts für Energiesysteme und Energietechnik (EST), in der sich die 1 MW-Versuchsanlage befindet.

— Von Hildegard Kaulen

Wenn Professor Bernd Eppe vom Institut für Energiesysteme und Energietechnik der TU Darmstadt in diesen Tagen das Abschluss-Symposium zum europäischen Projekt SCARLET eröffnen wird, werden einige Meilensteine erreicht sein. Der Maschinenbauingenieur und seine zehn in- und ausländischen Projektpartner haben in den vergangenen drei Jahren Voraussetzungen für den industriellen Einsatz des Carbonate-Looping-Verfahrens entwickelt. Mit diesem Verfahren können über 90 Prozent des bei der Verbrennung von fossilen Energieträgern anfallenden CO₂ abgefangen werden. Wenn bestehende Kraftwerks- und Industrieanlagen damit nachgerüstet werden, könnten sie sehr viel umweltfreundlicher betrieben werden.

Professor Eppe und sein Team haben mit Hilfe von Messungen aus einer 1 Megawatt (MW)-Versuchsanlage Skalierungswerkzeuge für industrielle Anlagen entwickelt und damit Modellrechnungen und Computersimulationen gemacht. Sie haben gezeigt, dass das Verfahren kostengünstiger und energieeffizienter ist als herkömmliche Verfahren. Für das Kohlekraftwerk Émile Huchet im französischen Saint-Avold legten sie die Planung einer kompletten Pilotanlage mit einer Leistung von 20 MW vor. „Wenn die Finanzierung geklärt wäre, könnte diese Anlage als erstes industrielles Pilotprojekt an den Start gehen“, sagt Dr. Jochen Ströhle, Akademischer Rat am Institut für Energiesysteme und Energietechnik der TU Darmstadt und Koordinator des SCARLET-Projektes. „Alle Pläne, einschließlich eines Kostenplans und einer Risikoabschätzung, liegen auf dem Tisch.“ Das Akronym SCARLET steht für „Scale up of Calcium Carbonate Looping Technology for Efficient CO₂ Capture from Power and Industrial Plants“. Die Europäische Union hat das Projekt mit fünf Millionen Euro unterstützt, das Gesamtbudget lag bei mehr als sieben Millionen Euro.

Wie funktioniert das Carbonate-Looping-Verfahren? Es besteht aus zwei chemischen Reaktionen, die kontinuierlich in zwei miteinander verbundenen Wirbelkammern ablaufen. In der ersten Wirbelkammer, dem Absorber, reagiert ein Pulver aus gebranntem Kalk, dem sogenannten Kalziumoxid (CaO), mit dem CO₂ im Abgasstrom des Kraftwerks zu Kalziumkarbonat (CaCO₃). Das Kalziumkarbonat gelangt dann in den zweiten Wirbelreaktor, den Regenerator. Dort wird das im Kalziumkarbonat gebundene CO₂ durch hohe Temperaturen ausgetrieben, so dass wieder gebrannter Kalk und gasförmiges CO₂ entstehen. Das freiwerdende CO₂ kann weiter verwendet oder gelagert werden. Der gebrannte Kalk wird wieder an die erste Wirbelkammer zurückgegeben. Nach mehreren Dutzend Zyklen muss das Material ausgetauscht werden. Allerdings kann der abgenutzte Kalk für die Zementherstellung genutzt werden. Er ist also kein Abfallprodukt, sondern ein Wertstoff.

Wir benötigen 80 Kilogramm Kalk, um eine Tonne CO₂ abzuscheiden“, sagt Professor Eppe. „Die Kosten für den Prozess liegen derzeit bei 20 bis 27

Informationen

Institut Energiesysteme und Energietechnik

Prof. Dr.-Ing. Bernd Eppe
Telefon: 06151/16-23002
bernd.eppe@est.tu-darmstadt.de
www.est.tu-darmstadt.de

Euro für eine Tonne CO₂. Andere Verfahren sind teurer und weniger energieeffizient. Wir haben mit SCARLET beim Carbonate-Looping-Verfahren einen großen Schritt Richtung Marktreife gemacht“. Was haben die Projektpartner im Einzelnen getan? Als Erstes mussten Bedingungen und Voraussetzungen für den Dauerbetrieb der 1-MW-Pilotanlage auf dem Gelände der TU Darmstadt gefunden werden. Nur bei stabilem Betrieb lassen sich aus den Messungen die notwendigen Rückschlüsse für die Skalierung ziehen. Die Pilotanlage wurde vor sechs Jahren mit Mitteln des Bundeswirtschaftsministeriums, der Europäischen Union und verschiedenen Industriepartnern gebaut. „Wir betreiben die 1 MW-Versuchsanlage heute über mehrere Wochen mit konstanter CO₂-Abscheidung“, sagt Jochen Hilz, der als Doktorand von Anfang an das Projekt betreut hat. „Die Reaktionsfähigkeit des Kalks nimmt mit zunehmender Zykluszahl ab, und daher sind mehrere Tage stationärer Betrieb nötig, um dessen Verhalten zu untersuchen. Jetzt kennen wir die Bedingungen für den stabilen Betrieb. Je mehr Messungen wir aus dem Dauerbetrieb haben, desto weniger Annahmen müssen wir treffen und desto besser sind die Modelle und Computersimulationen, die wir berechnen.“

Für SCARLET musste die 1-MW-Versuchsanlage nachgerüstet werden. „Wir haben zum Beispiel ein Silo für 30 Tonnen Brennstoff gebaut“, sagt Professor Eppe, der die Ideen zu dem Verfahren aus seiner beruflichen Aktivität bei einem Industrieunternehmen mitgebracht hat. „Wir brauchen ja Nachschub für den Dauerbetrieb. Wir mussten auch den Transfer der Partikel von einem Wirbelschichtreaktor zum anderen verbessern. Auch die Messtechnik musste angepasst werden. Wir wollten ja wissen, wie sich die Partikel in den Wirbelkammern bewegen, wie dicht sie in den einzelnen Bereichen verteilt sind und welche Geschwindigkeiten sie erreichen. Wir wollten auch das Gas auf den verschiedenen Ebenen analysieren“, so Professor Eppe weiter. „Nur so können wir nachvollziehen, wie schnell das CO₂ abgeschieden und wieder freigesetzt wird.“ Weil in der zweiten Wirbelkammer Temperaturen

von über 900 Grad Celsius herrschen, sind diese Messungen alles andere als trivial. „Im Grunde ist der Reaktorinhalt wie rotglühende Lava“, sagt Professor Eppe.

Es war nicht leicht zu messen, was beim Carbonate Looping in den Reaktoren tatsächlich geschieht. „Wir wussten, wie sich der Gesamtprozess verhält und dass die Abscheideeffizienz sehr gut ist“, erklärt Dr. Ströhle. „Über das Langzeitverhalten des Kalks unter realen Bedingungen wussten wir hingegen sehr wenig. Das sieht nach SCARLET jetzt anders aus.“ In Zusammenarbeit mit den Projektpartnern wurde dieses Wissen genutzt, um Modelle für größere Anlagen und für verschiedene Anlagentypen zu entwickeln. Das Verfahren kommt auch für Zement- und Stahlwerke sowie für Müllverbrennungsanlagen in Frage.

„Wir planen als nächstes eine Anlage, die das bei der Müllverbrennung anfallende CO₂ abscheidet.“

Wie geht es weiter? „Wir werden verschiedene Ansätze verfolgen“, sagt Professor Eppe. „Dazu gehört zum Beispiel die Planung einer Anlage, die das bei der Müllverbrennung anfallende CO₂ abscheidet.“ Das Projektteam

diskutiert auch Konzepte, mit denen das abgetrennte CO₂ weiterverwertet werden kann. Derzeit wird auf dem Weltmarkt nur sehr wenig für eine Tonne CO₂ gezahlt. Kraftwerksbetreiber, die das Verfahren nutzen würden, wären derzeit nicht in der Lage, das wiedergewonnen CO₂ kostendeckend oder gewinnbringend zu verkaufen. Es müsste gelagert oder weiterverarbeitet werden. „Wir denken darüber nach, das CO₂ direkt für die Produktion von Methanol zu verwenden“, sagt Professor Eppe. „Für Methanol werden höhere Preise auf dem Weltmarkt gezahlt als für CO₂.“ Er und sein Team haben das Verfahren auch derart weiterentwickelt, dass kein reiner Sauerstoff mehr für die Verbrennung im Regenerator benötigt und die Effizienz weiter gesteigert wird. Sie sind entschlossen, das Projekt zum Erfolg zu führen.

Die Autorin ist Wissenschaftsjournalistin und promovierte Biologin.

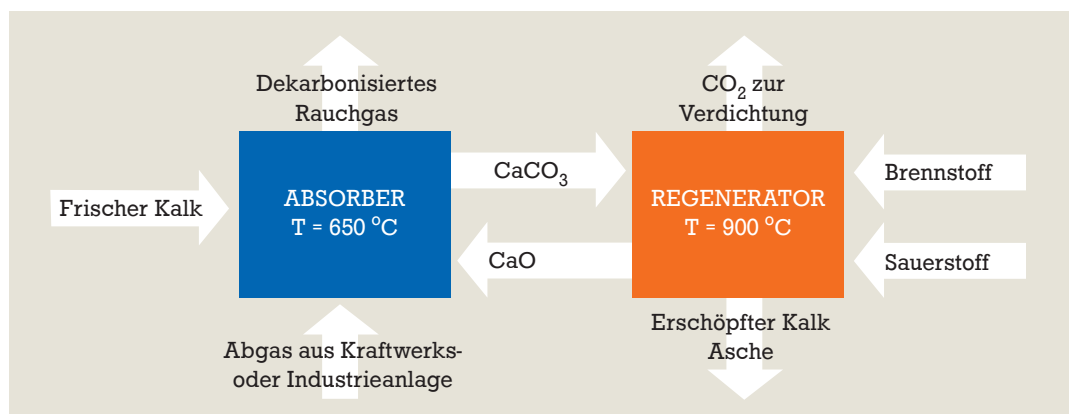


Abbildung: Prof. Dr.-Ing. Bernd Eppe; Grafik: U. Albrecht

Stempeln mit D

Materialwissenschaftler der TU Darmstadt prägen Nanomuster in Metalle. Die Technik könnte metallischen Oberflächen einen beständigen Lotuseffekt verleihen.

— Von Uta Neubauer

Ein Spekulationsbäcker und Paul Braun, Doktorand im Fachgebiet Physikalische Metallkunde an der TU Darmstadt, haben eines gemeinsam: Beide prägen Muster – der eine in Keksteig, der andere in Metall. Doch während auf dem Weihnachtsgebäck Tiere, Figuren und Windmühlen klar zu erkennen sind, sind Brauns Motive so klein, dass man sie mit bloßem Auge nicht sieht. Sie werden mit einem winzigen Stempel aus Diamant, fein wie eine Stecknadelspitze, ins Metall gedrückt. „Diamant eignet sich dafür perfekt“, erklärt Braun, „denn das Material ist extrem hart und verschleißt kaum.“

Zum Prägen wird der Diamantstempel in ein spezielles Gerät, einen Nanoindenter, gespannt. Eigentlich benutzen die Darmstädter Materialforscher diese Apparatur für einen anderen Zweck, und zwar zum Prüfen der Härte, des Bruchverhaltens und anderer Eigenschaften von Werkstoffen. Diese Untersuchung beruht auf einer Diamantspitze, die in den zu untersuchenden Werkstoff gedrückt wird, wobei das Gerät eine Kraft vorgibt und die Eindringtiefe misst. In Kombination mit einem Rasterelektronenmikroskop lässt sich zudem beobachten, bei welcher Kraft zum Beispiel eine dünne Schicht bricht oder reißt. „Die Diamantspitze dringt dabei weniger als 100 Nanometer tief in die Probe ein, sodass sich mit dem Nanoindenter hauchdünne Schichten analysieren lassen“, erklärt Brauns Doktorvater Karsten Durst, Professor für Physikalische Metallkunde an der TU Darmstadt. Seit Jahren entwickelt er die Methode zur Materialprüfung weiter und wendet sie auf neue Fragestellungen an. Nun will er sie auch für das Nanoprägen von Metallen nutzen. Bei Polymeren wird die Technik, die Fachleute auch als Nanoimprinting bezeichnen, bereits angewandt, etwa um Kunststoffchips mit feinen Kanälen und anderen Strukturen herzustellen. Auch das Prägen von Metallen ist im Prinzip nichts neues, funktioniert aber bislang nur in deutlich größeren Dimensionen, etwa in der Münzherstellung. „Wir stehen beim Nanoprägen von metallischen Oberflächen erst ganz am Anfang und beschäftigen uns noch mit den Grundlagen der Technik“, sagt Durst.

Der erste Schritt ist die Entwicklung von entsprechend harten und fein strukturierten Stempeln. Doktorand Braun hat schon mehrere herge-

stellt, indem er die Diamantspitzen eines Nanoindenters umfunktioniert hat. Er ist dafür ins tschechische Brno zum Mikroskophersteller Tescan gereist, der eine

spezielle Ionenstrahltechnik entwickelt hat. Üblicherweise werden damit Proben für die Elektronenmikroskopie präpariert. Braun hingegen hat mit dem fokussierten Ionenstrahl die Diamantspitze gekappt, aus dem verbliebenen Diamanten eine Säule herausgeschnitten und in deren Oberseite das gewünschte Muster gefräst. Nach dem Polieren war der Stempel fertig.

Die nächste Frage lautet: Wie muss ein Metall beschaffen sein, damit es sich gut prägen lässt? Jeder Spekulationsbäcker weiß, dass die Konsistenz des Teiges entscheidend ist für das Gelingen der Kekse. Das gilt im übertragenen Sinn auch fürs Nanoprägen: Die Mikrostruktur des Metalls muss stimmen, damit es gut in die Form „fließt“. Die Darmstädter Forscher wollen bis zu 50-Nanometer-feine Strukturen prägen – das ist etwa 1500-mal dünner als ein menschliches Haar. Der Haken: Ein Metall oder eine Legierung besteht aus vielen kleinen, eng gepackten kristallinen Körnern, die meist zwischen 100 und 1000 Nanometern messen. Das aber bedeutet, dass sich übliche Metalle aufgrund ihrer Korngröße nicht in die Stempelform drücken lassen. Durst und seine Kollegen beschäftigen sich daher mit der Herstellung von Metallen mit kleineren Körnern, die optimal in die Hohlräume des Stempels fließen.

Diese nanokristallinen Metalle lassen sich zum Beispiel durch eine galvanische Abscheidung unter Zusatz von speziellen Hilfsstoffen herstellen oder durch die sogenannte hochgradige plastische Verformung. Von letzterer Technik gibt es mehrere Varianten, darunter die Hochdrucktorsion, die Dursts Team verwendet: Ein Stück Metall wird gepresst, wobei sich der druckausübende Körper dreht und eine Scherverformung bewirkt. Das Metall wird dabei in sich verknüpft und dadurch feinkörniger.

Mit nanokristallinen Werkstoffen und ihrer verformungsbedingten Strukturänderung beschäftigt sich in Dursts Gruppe Dr. Enrico Bruder: Mit dem Rasterelektronenmikroskop macht er sichtbar, wie die kristallinen Körner während der Verformung kleiner werden und sich umorientieren. Diese Strukturänderung ist nicht nur für den Prägeprozess interessant. Sie führt auch zu neuen Eigenschaften: „Nanokristalline Metalle sind meist fester und trotzdem weniger gut verformbar. Sie brechen oder reißen nicht so schnell, wenn man sie biegt oder anderweitig umformt“, unterstreicht Durst. Beste Voraussetzungen also fürs Nanoprägen.

Auch wenn Durst und Braun betonen, dass sie von der industriellen Umsetzung noch weit entfernt sind, so haben sie doch schon einige

Informationen

Fachgebiet Physikalische Metallkunde
Prof. Dr.-Ing. Karsten Durst
Telefon: 06151/16-20551
k.durst@phm.tu-darmstadt.de
<http://bit.ly/2mchYzt>

Diamant

Konzentrierte Materialwissenschaftler:
Dr. Enrico Bruder, Doktorand Paul Braun
und Prof. Dr. Karsten Durst (von links).

Anwendungen im Kopf: Man könnte Metalloberflächen zum Beispiel so strukturieren wie das Blatt der Lotospflanze, an der Wassertropfen abperlen und jeglichen Schmutz mitnehmen. Auch winzige Reservoirs für Schmiermittel ließen sich in metallische Bauteile prägen. Das Schöne am Nanoprägen sei, findet Durst, dass man es in einen kontinuierlichen Fertigungsprozess integrieren könnte: „Wird Metall gewalzt oder ausgestanzt, könnte man die Oberfläche gleichzeitig prägen und so eine bestimmte Funktionalität einführen.“ Mit dem Prägeprozess ließen sich feinere Strukturen erzeugen als mit Lasertechniken, hebt Durst hervor. Als Werkzeuge seien statt einzelner Stempel auch Felder mit mehreren Stempeln sowie entsprechende Walzen vorstellbar. All das haben Spekulationsbäcker übrigens auch schon erfunden. Und es funktioniert bestens.

Die Autorin ist Wissenschaftsjournalistin und promovierte Chemikerin.

Neues Forschungsgerät bewilligt

Im Rahmen der Ausschreibung „Neue Geräte für die Forschung“ bewilligte die Deutsche Forschungsgemeinschaft im Dezember 2016 zwölf von insgesamt 79 Anträgen. Ein Zuschlag ging an das Fachgebiet Physikalische Metallkunde der TU Darmstadt: Professor Dr. Karsten Durst und sein Team können mit der dreijährigen Projektförderung die Entwicklung eines Nanoindenters zur Hochtemperatur-Prüfung von Werkstoffen voran treiben. Mit der Geräteentwicklung wollen die Forscher Turbinenwerkstoffe und andere Materialien untersuchen, die extrem hohen Temperaturen widerstehen müssen. Angestrebt werden Messungen im Bereich > 1000 Grad Celsius. Drei Nanoindenter, die bei Temperaturen bis zu 500 Grad Celsius messen, gibt es an der TU Darmstadt bereits. Immer mehr Werkstoffe sind nanostrukturiert oder nanobeschichtet. Für die realitätsnahe Prüfung dieser Materialien sind neue Geräte wie der jetzt bewilligte Nanoindenter erforderlich, aber nicht von der Stange erhältlich. Ein Problem ist, dass die Diamantspitze, die für die Messung in die zu prüfende Oberfläche gedrückt wird, bei den extremen Temperaturen an der Luft verbrennt. Die Untersuchung erfordert daher eine Vakuumkammer. Auch Alternativen zu Diamant werden getestet. Die extrem feine Positionierung der Spitze, die Messungen auf der Nanoskala erst möglich macht, bedeutet im Hochtemperaturbereich ebenfalls eine Herausforderung. „Die Anschaffung des Hochtemperatur-Nanoindenters ist ein Entwicklungsprojekt“, sagt Durst. Aktuell werden dazu die ersten Konzepte entworfen.



Abbildung: Katrin Binner

Veröffentlichungen:

K Durst, V Maier: Dynamic nanoindentation testing for studying thermally activated processes from single to nanocrystalline metals. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cossms.2015.02.001>

V. Maier, C. Schunk, M. Göken, K. Durst (2015): Microstructure-dependent deformation behaviour of bcc-metals-indentation size effect and strain rate sensitivity. https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=de&user=4rXhX_EAAAAJ&sortby=pubdate&citation_for_view=4rXhX_EAAAAJ:zA6iFVUQeVQC

H. ur Rehman, K. Durst, S. Neumeier, AB. Parsa, A. Kostka, G. Eggeler, M. Göken (2015): Nanoindentation studies of the mechanical properties of the μ phase in a creep deformed Re containing nickel-based superalloy. https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=de&user=4rXhX_EAAAAJ&sortby=pubdate&citation_for_view=4rXhX_EAAAAJ:pyW8ca7W8N0C

Puzzleteile für kosmische Rätsel

Sie untersuchen äußerst exotische Atomkerne, um die Entstehung schwerer Elemente besser zu verstehen. Nun haben Forscher der TU Darmstadt eine Erklärung für die kurzzeitige Existenz des so genannten Tetraneutrons und Indizien, die helfen könnten, ein wichtiges Rätsel der Neutronensterne zu lösen.

— Von Christian Meier

Robert Roth studierte Physik, weil ihn Astronomie begeisterte, die größten Dinge also: Sterne, Galaxien, das Universum. Nun erforscht der Professor am Institut für Kernphysik der TU Darmstadt sehr viel Kleineres: Atomkerne und ihre Bausteine. Besonders interessieren ihn äußerst exotische Kerne, über die sein Team zusammen mit Forschern aus Russland und den USA nun zwei Arbeiten publiziert hat.

Extrem groß und extrem klein: Für Roth kein Widerspruch, vielmehr bedinge sich das Wissen über beides gegenseitig, meint der Forscher. Denn Sterne sind die Brutstätten der Atomkerne und damit der Elemente und umgekehrt beeinflussen die Eigenschaften der Atomkerne das Leben der Sterne.

Es gibt noch viel zu lernen. „Wir wissen nicht, wie das Gold entstand, das viele Menschen am Ringfinger tragen“, sagt der theoretische Physiker. Zwar ist bekannt, dass Atomkerne im Innern von Sternen durch die so genannte Kernfusion entstehen, bei der Protonen und Neutronen verschmelzen. Doch schwerere Elemente als Eisen, etwa Blei oder Gold, können so nicht gebildet werden.

Nur kosmische Katastrophen, Supernovaexplosionen oder Kollisionen von so genannten Neutronensternen erzeugen die notwendigen Bedingungen. „Dabei werden sehr viele Neutronen frei“, sagt Roth. Diese sind wie ein Rohstoff für neue Atomkerne. Denn die entstehenden Kerne müssen binnen Bruchteilen von Millisekunden immer neue Neutronen einfangen. Wenn dies zu langsam geschieht, zerfallen instabile Zwischenprodukte, bevor sie zu stabilen Atomkernen, wie etwa Blei oder Gold, anwachsen können. „Wir müssen wissen, wie unter solch extremen Bedingungen Neutronen mit anderen Neutronen wechselwirken“, sagt der Physiker.

Sein Darmstädter Team geht neue Wege. Es simuliert zum Beispiel mit dem Lichtenberg-Hochleistungsrechner an der TU Darmstadt höchst exotische Kerne, das „Tetraneutron“ etwa, das aus nur vier Neutronen besteht. Weil Neutronen sich nur sehr schwach anziehen, sollte so ein Gebilde gleich wieder auseinanderfallen. Jüngst zeigten Experimente Hinweise auf kurzzeitige Existenz des Tetraneutrons.

„Unsere Rechnungen liefern eine mögliche Erklärung dafür“, sagt Roth. Die Forscher haben dafür erstmals in den ohnehin komplexen quantentheoretischen Methoden auch noch den Zerfall des Tetraneutrons berücksichtigt. So fanden die Forscher, dass eine so genannte Resonanz die vier Neutronen für

eine unvorstellbar kurze Zeit (ein Milliardstel Milliardstel einer Zehntausendstel Sekunde) zusammenhält. „Das Tetraneutron kann also existieren“, resümiert Roth. Im Rahmen des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Sonderforschungsbereichs 1245 laufen diese Untersuchungen weiter. Dazu gehören auch neue Experimente in Japan, durchgeführt von der experimentellen Gruppe um Professor Thomas Aumann, die das Tetraneutron zweifelsfrei nachweisen sollen.

Unterdessen untersucht Roths Team noch exotischere Atomkerne, die neben Neutronen und Protonen auch so genannte Hyperonen enthalten, weshalb man sie Hyperkerne nennt. Hyperonen enthalten ein so genanntes Strange-Quark, das Protonen oder Neutronen fehlt. „Wir haben Indizien gefunden, die zur Lösung des so genannten Hyperon-Rätsels beitragen“, sagt Roth. In Neutronensternen, die mehr als doppelt soviel Masse haben können wie die Sonne, müssten sich eigentlich Hyperonen bilden. Doch dann könnten so schwere Neutronensterne nicht existieren. Tun sie aber.

Es kann gut sein, dass Robert Roth und sein Team ein Rätsel über diese Himmelskörper lösen, indem sie deren winzigste Bausteine besser verstehen.

Der Autor ist Wissenschaftsjournalist und promovierter Physiker.

Publikationen: Shirokov, A.M. et al: Physical Review Letters, 117, 182502 (2016). Wirth, R., Roth, R.: Physical Review Letters, 117, 182501 (2016).



Physik-Professor Robert Roth

Abbildung: Katrin Binner

Informationen

**Institut für Kernphysik –
Theoriezentrum**

Prof. Dr. Robert Roth
Telefon: 06151/16-21540
robert.roth@physik.tu-
darmstadt.de
<http://bit.ly/2IL14i>