

# RUBIN

WISSENSCHAFTSMAGAZIN

SONDERAUSGABE

*Sonderausgabe*

## ANGEWANDTE PLASMA- FORSCHUNG

BIOKATALYSE UND  
PLASMEN KOMBINIEREN

KLIMAKILLER IN ROHSTOFFE  
UMWANDELN

DAS INNERE VON PLASMEN  
LIVE ÜBERWACHEN

*Unterwasserplasmen*

# CO<sub>2</sub>-RECYCLING MIT HILFE VON PLASMA UND ELEKTROLYSE

*Plasmen in Flüssigkeiten kommen längst bei der Wasserreinigung und Wundbehandlung zur Anwendung.*

*Nun sollen sie die Effizienz und Lebensdauer einer Elektrolysezelle verbessern, die zur CO<sub>2</sub>-Umwandlung eingesetzt wird.*

**G**leißend hell zündet das Plasma und durchreißt für wenige Milliardstelsekunden blitzartig das Wasser. Katharina Grosse vom Sonderforschungsbereich 1316 „Transiente Atmosphärendruckplasmen: vom Plasma zu Flüssigkeiten zu Festkörpern“ (RUB) gelangen spektakuläre Aufnahmen, die den Zündungsprozess von Plasma unter Wasser anschauen und zeitscharf verfolgen lassen. Die Wissenschaftlerin liefert die ersten Datensätze mit sehr hoher Zeitauflösung und unterstützt eine Hypothese zur Zündung dieser Plasmen: Im Nanosekundenbereich reicht die Zeit nicht aus, um eine Gasumgebung zu formen. Das Nanosekunden-Plasma zündet direkt in der Flüssigkeit. Die während der Zündung entstandenen Teilchen können effizient mit katalytischen Oberflächen wechselwirken.

Doch wie zündet das Plasma in diesen kurzen Zeitskalen? Was passiert danach? Welche Stoffe werden produziert? Und wie wird diese Zündung in der Flüssigkeit überhaupt erst möglich? In ihrer Doktorarbeit geht Physikerin Grosse ebendiesen Fragen nach. Dazu legt sie an eine haarfeine, in Wasser untergetauchte Elektrode für zehn Nanosekunden eine hohe Spannung an. Das so erzeugte starke elektrische Feld führt zur Zündung des Plasmas. Mittels schneller optischer Spektroskopie in Kombination mit einer Modellierung der Flüssigkeitsdynamik gelingt es der Bochumer Forscherin, Leistung, Druck und Temperatur in diesen Unterwasserplasmen vorherzusagen und somit den Zündungsprozess und die Plasmaentwicklung im Nanosekundenbereich aufzuklären. Ihre Beobachtung: Zum Zeitpunkt der Zündung existieren extreme Verhältnisse im Wasser. Kurzzeitig entstehen Drücke von vielen Tausend Bar, was dem Druck am tiefsten Punkt im Pazifik entspricht oder diesen sogar übersteigt, sowie Temperaturen von vielen tausend Grad ähnlich zur Oberflächentemperatur der Sonne. „In den Plasmen wird zudem für kurze Zeit eine Leistung von einigen 100 Kilowatt verbraucht, was der Anschlussleistung von mehreren Einfamilienhäusern entspricht“, erklärt Prof. Dr. Achim von Keudell, Grosses Doktorvater und Inhaber des Lehrstuhls für Experimentalphysik II.

Um zu diesen Messergebnissen zu gelangen, ist ein komplizierter Aufbau notwendig, den Katharina Grosse etwa ein Jahr lang entwickelte: „Die elektromagnetische Interferenz ist sehr stark und beeinträchtigt die gesamte Messelektronik. Wir haben einen großen Metallkäfig um die Plasmakammer bauen müssen, um diese Störquelle zu umgehen. Eine weitere Schwierigkeit bestand darin, die Gleichzeitigkeit von spektroskopischer Messung und Kameraaufnahme zu gewährleisten.“



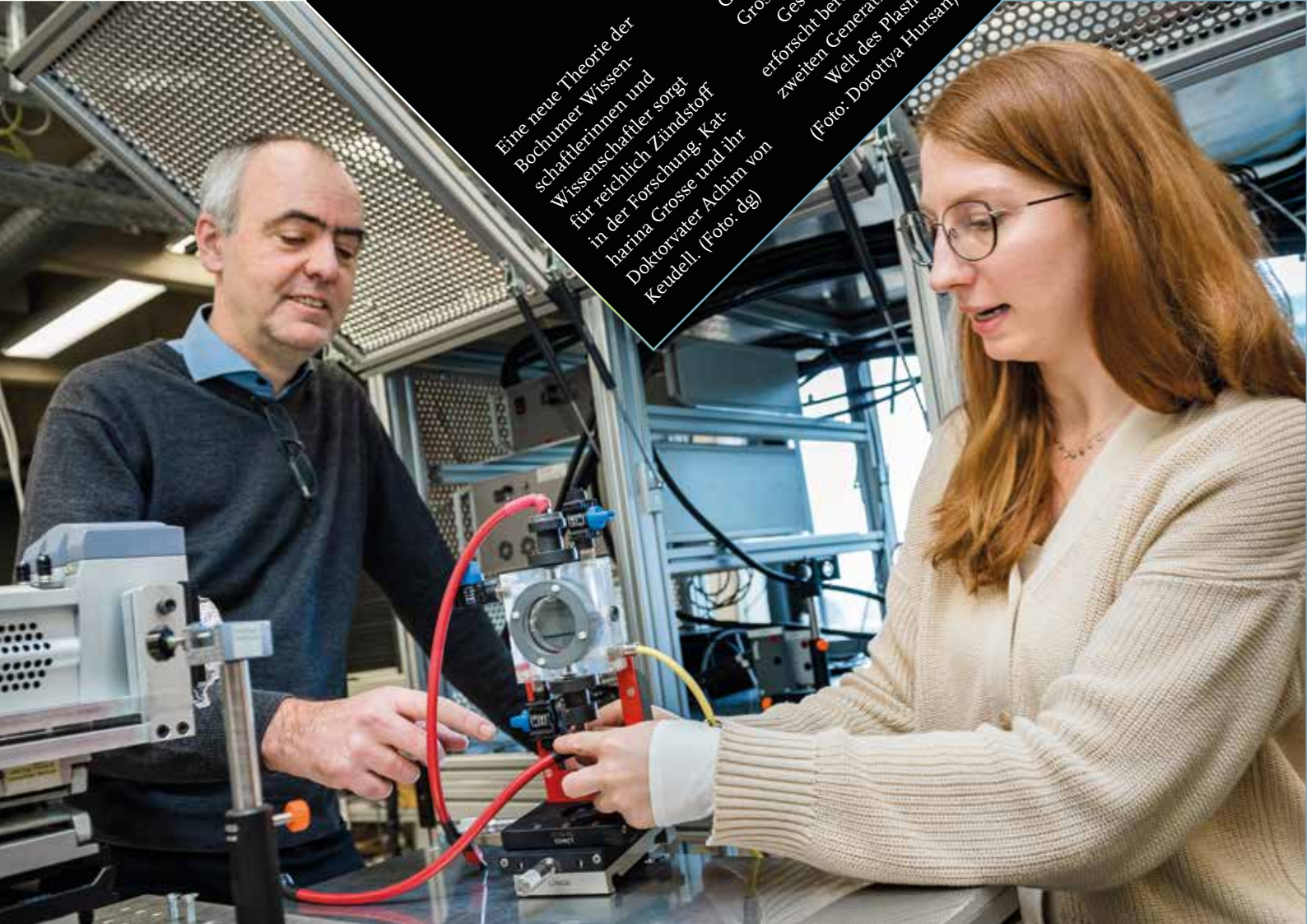
Physikerin Katharina Grosse vom Lehrstuhl für Experimentalphysik II gelangen spektakuläre Aufnahmen und Messungen von Unterwasserplasmen. (Fotos: dg)



An dem Versuchsaufbau tüftelte Doktorandin Katharina Grosse ein ganzes Jahr lang. (Foto: dg)

Chemiker Philipp Grosse ist Katharina Grosse Bruder. Das Geschwisterpaar erforscht bereits in der zweiten Generation die Welt des Plasmas. (Foto: Dorothea Hursan)

Eine neue Theorie der Bochumer Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sorgt für reichlich Zündstoff in der Forschung. Katharina Grosse und ihr Doktorvater Achim von Keudell. (Foto: dg)



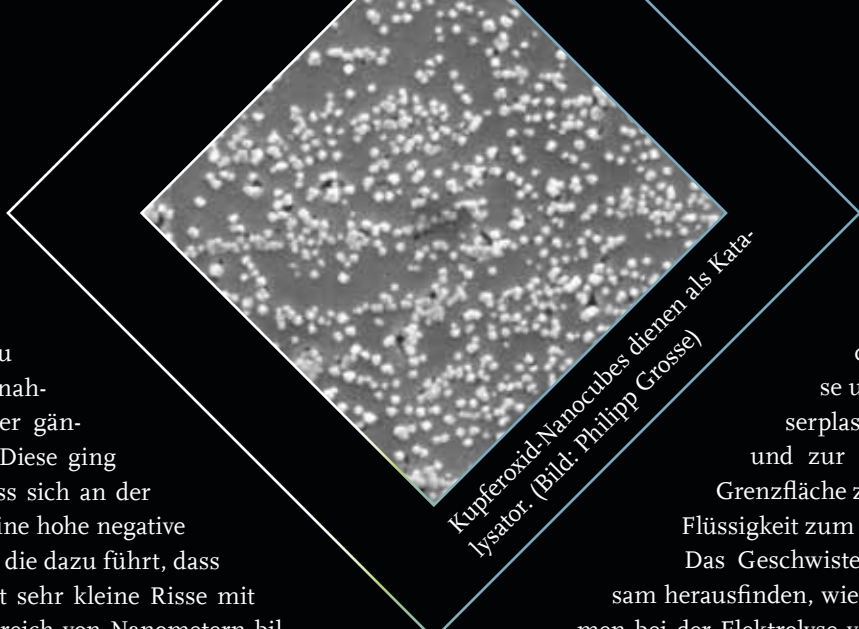
Das Tüfteln hat sich gelohnt. Die Plasmaentwicklung lässt sich sehr genau beobachten. Die Aufnahmen stellen die bisher gängige Theorie infrage. Diese ging bislang davon aus, dass sich an der Spitze der Elektrode eine hohe negative Druckdifferenz bildet, die dazu führt, dass sich in der Flüssigkeit sehr kleine Risse mit Ausdehnungen im Bereich von Nanometern bilden, in denen sich dann das Plasma ausbreiten kann.

„Man nahm an, dass eine Elektronenlawine sich in den Rissen unter Wasser bildet und damit die Zündung des Plasmas möglich macht“, so von Keudell. Die Aufnahmen des Bochumer Forschungsteams legen jedoch nahe, dass das Plasma „lokal innerhalb der Flüssigkeit gezündet wird“, erklärt Katharina Grosse.

Bei ihrem Erklärungsansatz bedient sich die Physikerin am quantenmechanischen Tunneleffekt. Er beschreibt die Tatsache, dass Teilchen eine Energiebarriere überqueren können, die sie nach den Gesetzen der klassischen Physik eigentlich nicht überqueren können dürften, weil sie dafür selbst zu wenig Energie besitzen. „Schaut man sich die Aufnahmen der Plasmazündung an, so deutet alles darauf hin, dass einzelne Elektronen durch die Energiebarriere der Wassermoleküle zu der Elektrode hin tunneln und dort das Plasma lokal zünden, und zwar genau dort, wo das elektrische Feld am höchsten ist“, sagt Katharina Grosse. Eine Theorie, für die viel spricht und die in der Fachwelt für große Diskussionen sorgt. Weiterführende Experimente mit negativen Pulsen sollen Grosses Tunnel-Theorie stützen.

So faszinierend der Zündungsprozess unter Wasser ist, so vielversprechend sind auch die Ergebnisse der chemischen Reaktion für die Praxis. Die Emissionsspektren zeigen, dass die Wassermoleküle bei Nanosekunden-Pulsen keine Gelegenheit mehr haben, den Druck des Plasmas auszugleichen. Durch die Plasmazündung werden sie in ihre Bestandteile zerlegt, nämlich in atomaren Wasserstoff und Sauerstoff. Letzterer reagiert gern mit Oberflächen. Und hier genau liegt das große Potenzial, erklärt Physikerin Grosse. „Der frei gewordene Sauerstoff kann möglicherweise katalytische Oberflächen in elektrochemischen Zellen re-oxidieren, sodass sie regeneriert werden und ihre katalytische Aktivität wieder voll entfalten können“, sagt die Forscherin.

Wie genau soll das gelingen? Lassen sich Plasma und Elektrolyse kombinieren? Auf diese Fragen sucht RUB-Doktorand und Chemiker Philipp Grosse am Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft in Berlin Antworten. „Elektrochemische Zellen“, erklärt er, „helfen unter anderem dabei, Kohlendioxid zu reduzieren, zu recyceln und in nützliche Chemikalien umzuwandeln. Dazu ist ein Katalysator notwendig. Während des elektrochemischen Prozesses nutzen sich die katalytischen Oberflächen allerdings ab und verlieren



Kupferoxid-Nanocubes dienen als Katalysator. (Bild: Philipp Grosse)

ihre katalytischen Fähigkeiten.“ Hier könnten die von Katharina Grosse untersuchten Unterwasserplasmen Abhilfe schaffen und zur Stoffwandlung an der Grenzfläche zwischen Elektrode und Flüssigkeit zum Einsatz kommen.

Das Geschwisterpaar möchte gemeinsam herausfinden, wie man Unterwasserplasmen bei der Elektrolyse von chemischen Stoffen einsetzen kann. Wie können die Plasmen die Elektrolyse durch Veränderungen der Flüssigkeit und der Elektrodenoberfläche unterstützen? Wie interagiert Plasma mit der elektrochemischen Zelle? Dazu baut Katharina Grosse ihre Versuchsanlage in Berlin auf, wo Bruder Philipp seit zwei Jahren forscht. Statt Wasser wählen sie Elektrolyte, und eine katalytische Oberfläche wird direkt in die Plasmakammer mit eingebaut. Als Katalysator entscheiden die Grosses sich für Kupferoxid in Form von sogenannten Nanocubes. Das sind Nanometer große Kupferoxid-Würfel, die als Katalysator zur CO<sub>2</sub>-Reduktion eingesetzt werden. Für einige Mikrosekunden legen sie dann an die Elektrode eine hohe Spannung an. Ein Plasma zündet.

Die zu beobachtenden Veränderungen an den Kupferwürfeln lassen vermuten, dass der durch die Plasmazündung produzierte Sauerstoff das Kupferoxid aktiviert. Die ersten Messungen legen nahe, dass das extreme Plasma tatsächlich in der Lage ist, die Kupferwürfel zu re-oxidieren und damit die katalytische Oberfläche zu regenerieren. Ist der Katalysator wieder einsatzbereit, sollte auch die elektrochemische Zelle funktionieren und damit der CO<sub>2</sub>-Verwertungsprozess. CO<sub>2</sub> könnte auf diese Weise in industriellen Anlagen kontinuierlich in andere Produkte umgewandelt werden; der Kreislauf wäre somit geschlossen. Auch bei der Gewinnung von grünem Wasserstoff durch Wasserspaltung könnte die Methode künftig zum Einsatz kommen.

In Bochum und Berlin träumt man bereits von einer unendlich lang laufenden elektrochemischen Zelle, in der sich elektrochemische Prozesse und Plasmazündungen abwechseln. Doch bis dahin liegt noch ein komplizierter Weg vor den Grosses. Die größte Herausforderung liegt aktuell darin, den physikalischen mit dem chemischen Aufbau zu verbinden, sodass Plasmazündung und Elektrolyse gleichzeitig stattfinden können. Sollte das gelingen wäre es ein „Meilenstein, eine Technologie mit viel Potenzial“, so von Keudell. Die chemische Industrie hat sehr großes Interesse an solch einem Plasmaverfahren, weiß der Sprecher des Sonderforschungsbereiches. „Dort setzt man große Hoffnungen in die Elektrifizierung der chemischen Industrie.“ Die Vorteile der Plasmatechnik: Sie nimmt wenig Raum ein und die elektrische Energie kann auf Knopfdruck die Umwandlung von chemischen Stoffen unterstützen.

# REDAKTIONSSCHLUSS



Eine leuchtende Tasse – dank Plasmen kein Problem. Auf dieses Objekt stieß das SFB-Team durch Zufall und integrierte es kurzerhand in seine Experimente für Schülerinnen und Schüler. Im Untersetzer der Tasse befindet sich eine Spule, an die Wechselspannung angelegt ist. So wird ein elektrisches Feld induziert, das die freien Elektronen in der Gasschicht zwischen den Glaswänden beschleunigt. Sie stoßen mit Gasatomen zusammen, die dadurch angeregt und ionisiert werden. Positive und negative Ladungen der Gasteilchen werden kurzzeitig getrennt. Bei der Abregung der Gasatome wird ein Lichtteilchen frei – die Tasse scheint zu leuchten.

## IMPRESSUM

**HERAUSGEBER:** Sonderforschungsbereich 1316 „Transiente Atmosphärendruckplasmen – vom Plasma zu Flüssigkeiten zu Festkörpern“ und Sonderforschungsbereich/Transregio 87 „Gepulste Hochleistungsplasmen zur Synthese nanostrukturierter Funktionsschichten“ in Verbindung mit dem Dezernat Hochschulkommunikation der Ruhr-Universität Bochum (Hubert Hundt, v.i.S.d.P.)

**REDAKTIONSANSCHRIFT:** Dezernat Hochschulkommunikation, Redaktion RUBIN, Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum, Tel.: 0234/32-25228, Fax: 0234/32-14136, rubin@rub.de, news.rub.de/rubin

**REDAKTION:** Dr. Julia Weiler (Iwe, Redaktionsleitung), Meike Drießen (md), Lisa Bischoff (lb)

**INHALTLICHE KOORDINATION:** Dr. Marina Prenzel, Dr. Marc Böke, Prof. Dr. Achim von Keudell, Prof. Dr. Peter Awakowicz

**FOTOGRAFIE:** Damian Gorczany (dg), Hofstetter Str. 86, 44809 Bochum, Tel.: 0176/29706008, damiangorczany@yahoo.de

**FOTOGRAFIE COVER, UMSCHLAG INNEN UND INHALTSVERZEICHNIS:** Damian Gorczany

**GRAFIK, ILLUSTRATION, LAYOUT UND SATZ:** Agentur der RUB, [www.rub.de/agentur](http://www.rub.de/agentur)

**DRUCK:** Lensing Druck GmbH & Co. KG, Feldbachacker 16, 44149 Dortmund, Tel.: 0231/80592000, [info@lensingdruck.de](mailto:info@lensingdruck.de)

**AUFLAGE:** 4.500

**BEZUG:** Die reguläre Ausgabe von Rubin erscheint zweimal jährlich und ist erhältlich im Dezernat Hochschulkommunikation der Ruhr-Universität Bochum. Das Heft kann kostenlos abonniert werden unter [news.rub.de/rubin/labo](mailto:news.rub.de/rubin/labo). Das Abonnement kann per E-Mail an [news.rub.de/rubin/labo](mailto:news.rub.de/rubin/labo) oder telefonisch beim Research Department „Plasmas with Complex Interactions“ (Dr. Marina Prenzel, [rd-plasma@rub.de](mailto:rd-plasma@rub.de)).

**ISSN:** 0942-6639

Nachdruck bei Quellenangabe und Zusenden von Belegexemplaren