

RUBIN

WISSENSCHAFTSMAGAZIN

SONDERAUSGABE

Sonderausgabe

ANGEWANDTE PLASMA- FORSCHUNG

BIOKATALYSE UND
PLASMEN KOMBINIEREN

KLIMAKILLER IN ROHSTOFFE
UMWANDELN

DAS INNERE VON PLASMEN
LIVE ÜBERWACHEN

EINE KUGEL, DIE ELEKTRONEN ZUM SCHWINGEN BRINGT

Eine kugelfunde Sonde macht es möglich, die Elektronendichte in Plasmen ständig zu überwachen und so konstant zu halten.

Plasmen spielen in vielen industriellen Anwendungen eine zentrale Rolle. Die energetisch angeregten Gase lassen sich zum Beispiel nutzen, um Beschichtungen auf Oberflächen aufzubringen, etwa kratzfeste Schutzschichten auf Brillengläser aus Kunststoff, oder hochpräzise optische Filter auf Quarzglas. Das Plasma hat dabei die Aufgabe, die durch Verdampfung auf den Träger aufgebrachten Schichten mittels Ionenbeschuss gewissermaßen festzuklopfen.

Solche Prozesse müssen aber viele Bedingungen einhalten. Zum Beispiel müssen sie bei niedrigen Temperaturen ablaufen, damit die zu beschichtenden Oberflächen keinen Schaden nehmen. „In der modernen Produktion wird auch immer mehr Wert auf Exaktheit gelegt“, sagt Prof. Dr. Ralf Peter Brinkmann, Inhaber des Lehrstuhls Theoretische Elektrotechnik der RUB. Alle entstehenden Produkte müssen genau gleich sein, die Beschichtung darf keine Fehler aufweisen. Um diese Genauigkeit zu erreichen, ist es notwendig, das Plasma ständig zu überwachen. Besonders auf die Elektronendichte kommt es bei Beschichtungsprozessen an. Würde sie zu stark schwanken, würde dies die Beschaffenheit der fertigen Beschichtung negativ beeinflussen. „Idealerweise sollte die Elektronendichte ständig gemessen und bei Bedarf automatisch nachjustiert werden, sodass kein Mensch in den Prozess eingreifen muss“, erklärt Brinkmann.

Die Anforderungen an ein Messinstrument, das das leisten kann, sind vielfältig: Es sollte möglichst klein sein, zuverlässig, wartungsfrei, und es darf weder den Beschichtungsprozess stören noch selbst im Plasma beschädigt werden. Die Fachwelt spricht von „prozesskompatibler Plasmadiagnostik“.

Eine Idee wird schon seit langem verfolgt: Die Elektronen, die sich im Plasma frei bewegen, können durch das Anlegen einer kleinen äußeren Spannung in Schwingungen geraten. Trifft man die richtige Frequenz, entsteht eine Resonanz, erkennbar daran, dass das Plasma besonders viel Energie aufnimmt. Da die Resonanzfrequenz abhängig von der Elektronendichte ist, kann man diese im Prinzip dann berechnen.

Frühere Versuche, diese Idee in die Praxis umzusetzen, hatten aber mit Schwierigkeiten zu kämpfen. Eine japanische Arbeitsgruppe schlug zum Beispiel eine sehr einfache Konstruktion vor: Das Team nutzte ein Koaxialkabel, ähnlich einem analogen Antennenkabel, ließ den Innenleiter ein Stückchen herausstehen und führte das Ende des Kabels in das Plasma ein. Legte man nun eine Spannung an, konnte

man durchaus Resonanzen des Plasmas messen. Allerdings traten bei mehreren verschiedenen Frequenzen gleichwertige Resonanzen auf, praktisch ein ganzer Zoo. „Das Problem war: Welche sollte man für die Diagnostik nehmen?“, erläutert Ralf Peter Brinkmann.

Analysen der Bochumer Theoretiker gaben Antwort auf die Frage, woher die verschiedenen Resonanzen kamen: So einfach die Messapparatur auch konstruiert war, es entstanden an verschiedenen ihrer Teile unterschiedliche Schwingungen mit unterschiedlichen Resonanzfrequenzen. „Das kann man sich in etwa so vorstellen, wie wenn man ein altes Auto fährt“, veranschaulicht Ralf Peter Brinkmann. „Bei einer bestimmten Geschwindigkeit klappert der Auspuff, bei einer anderen der Außenspiegel.“

Um Abhilfe zu schaffen, entwarf das Team ein Konzept, das auf möglichst einfache Schwingungen zielt. Es galt: je symmetrischer, desto besser. „Die Kugelform ist die einfachste denkbare Konfiguration“, so Brinkmann. „Am liebsten wäre uns eine schwebende Murmel gewesen.“ Ganz so einfach ging es jedoch natürlich nicht. Strom benötigt immer einen Hin- und einen Rückleiter. So wurden zwei metallische Halbkugeln gewählt. Die Konstruktion ist dreh- und spiegelsymmetrisch, beide Elektroden sind gleich groß. „Auch hier findet man bei Messungen Resonanzen bei verschiedenen Frequenzen vor“, erklärt Ralf Peter Brinkmann. „Sie lassen sich aber eindeutig sortieren. Die stärkste Resonanz ist die Dipolresonanz; die anderen, schwächeren, stellen gewissermaßen die Obertöne zu diesem Grundton dar.“ In Anlehnung an das dabei eingesetzte mathematische Verfahren der Multipolanalyse kam es zum Namen Multipolresonanzsonde, kurz MRP.

Der Vorteil der Formel

Der besondere Reiz der MRP liegt darin, dass der Zusammenhang zwischen Plasmadichte und Resonanzfrequenz durch eine einfache mathematische Formel gegeben ist. Die Plasmadichte ist darin die einzige Unbekannte. Löst man die Gleichung danach auf, kann man sie aus den gemessenen Werten berechnen. „Somit ist es auch nicht nötig, die Messsonde vor dem Einsatz zu kalibrieren, also mit anders gewonnen Messwerten abzugleichen“, freut sich Ralf Peter Brinkmann.



Soweit die theoretische Grundidee. Zur praktischen Umsetzung taten sich die Theoretiker mit drei anderen Lehrstühlen der Fakultät zusammen. Der Lehrstuhl für Hochfrequenzsysteme von Prof. Dr. Ilona Rolfes unternahm eine hochfrequenzmäßige Optimierung des Gesamtsystems aus Sondenkopf und Halterung. So gelang es zum Beispiel, die Halterung für das Plasma praktisch unsichtbar zu machen. Der Lehrstuhl für Elektronische Schaltungstechnik von Prof. Dr. Thomas Musch entwarf eine Ansteuerelektronik auf Basis der Radartechnologie. Und schließlich überprüfte der Lehrstuhl für Allgemeine Elektrotechnik und Plasmatechnik von Prof. Dr. Peter Awakowicz die fertige Sonde in vielen Plasmaprozessen.

Ralf Peter Brinkmann leitet an der RUB den Lehrstuhl Theoretische Elektrotechnik.



Die Entwicklung von der MRP bis hin zur praktischen Einsetzbarkeit wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung in den Verbundprojekten Pluto und Pluto plus gefördert. Dabei ergab sich auch die Chance, die Sonde bei Industriepartnern zu testen. Und es zeigte sich: Wurde die Elektronendichte im Plasma durch ständige Überwachung mittels MRP und automatische Anpassung der Ansteuerung konstant gehalten, reduzierte das die Schwankungen der Prozessergebnisse maßgeblich.

Text: md, Fotos: dg

Die Sonde überwacht das Innere eines Plasmas, indem sie seine Schwingungen misst.



Moritz Oberberg konnte sich die Selbstständigkeit schon immer gut vorstellen. Inzwischen hat die Multipolresonanzsonde die Marktreife fast erreicht. (Foto: dg)

Im Gespräch

DAS INNERE VON PLASMEN LIVE ÜBERWACHEN

Eine neue Technik macht möglich, was Moritz Oberberg mit dem Blick ins Innere eines Frühstückseis während des Kochens vergleicht.



Geoffrey Mellar kümmert sich um die Technik, Maria Schnober hat die kaufmännische Leitung, Moritz Oberberg die Geschäftsführung (von links). (Foto: House of Plasma)

Mit seinen zwei Teamkollegen bereitet Dr. Moritz Oberberg die Gründung des Spin-offs „House of Plasma“ vor. Das Unternehmen bringt die Multipolresonanzsonde in verschiedenen Designs auf den Markt. Sie erlaubt es, industrielle Plasmen in Echtzeit zu überwachen und so dafür zu sorgen, dass sie zum Beispiel helfen, immer gleiche, fehlerfreie Beschichtungen auf Oberflächen aufzubringen.

Herr Dr. Oberberg, wenn Ihnen vor fünf Jahren jemand gesagt hätte, dass Sie heute ein Unternehmen gründen möchten, was hätten Sie dann gesagt?

Die Idee, mit der Messtechnik ein Spin-off zu gründen, ist gar nicht so neu. Bei meinem Vorgänger, der allerdings schon 2015 seine Promotion abgeschlossen hat, war das schon einmal ein Thema, aber da war das Ganze noch nicht ausgereift. Ich persönlich konnte mir schon immer gut vorstellen, selbstständig zu arbeiten. Der Zeitpunkt hängt natürlich auch von der Entwicklung ab und von der Resonanz. Aber den Gedanken an eine Selbstständigkeit hatte ich schon länger. Ich komme aus dem Bereich und bringe neben der Ausbildung auch die Kontakte mit.

Noch ist die Firma nicht gegründet. Was füllt zurzeit Ihre Arbeitstage?

Ich bin ja nicht alleine, wir teilen zu dritt alle anstehenden Aufgaben. Zurzeit planen wir Industrietests mit einer Firma für unsere neuesten Entwicklungen – dafür steht eine Auslandsreise an. Da gibt es viele bürokratische Hürden zu nehmen. Messeequipment außer Landes zu bringen ist gar nicht so einfach. Ansonsten bin ich mit der Weiterentwicklung unserer Produkte und dem Schreiben von Projektanträgen beschäftigt. Wobei ich unterstreichen will, dass die RUB mit dem Worldfactory Start-up Center uns extrem gut unterstützt. Da sind enorm gute Leute, die helfen bei allem. Zurzeit geht es zum Beispiel darum, Patente zu übernehmen, die die RUB hält. Es muss für die Firmengründung noch ein Gesellschaftervertrag ausgearbeitet werden, die Finanzierungsplanung läuft, die Investorensuche auch. Bevor wir etwas verkaufen können, müssen wir ja einkaufen können, dafür brauchen wir Kapital, ebenso dann für Marketing, Räumlichkeiten, Ausstattung und so weiter.

Im aktuellen Förderprojekt an der Uni laufen weiter Tests im Labor und bei Industriepartnern, coronabedingt unter erschwerten Bedingungen, und die Technik wird laufend weiterentwickelt. Das läuft alles parallel.

Was werden potenzielle Kunden von Ihnen erwarten können?

Zur potenziellen Kundschaft könnte zum Beispiel ein Unternehmen gehören, das Brillengläser beschichtet. Wir würden mit ihm klären, was die Erwartungen sind und ob unsere Technik für die Firma einen Mehrwert bietet. Ist sie einsetzbar? Wenn ja, dann kann unsere Hardware in Verbindung mit der passenden Software Einblicke liefern, die vorher nicht da waren.

Wir vergleichen das immer mit einem Frühstücksei: Das mag ich gern, wenn das Eigelb noch weich ist, das Eiweiß aber hart. Während des Kochens kann ich mich aber nur auf meine Erfahrung verlassen, nicht wirklich messen, was im Ei vorgeht. Höchstens eine periphere Messung der Temperatur an der Schale wäre möglich, aber eben nicht im Ei. Wir liefern nun aber die Daten direkt aus dem Ei.

Auf Wunsch bieten wir begleitend auch mehr an. Wir können die Regelungstechnik entwickeln, die Beschichtungseigenschaften des Brillenglases weiter verbessern, auch Forschungs- und Entwicklungsprojekte begleiten.

Hebt Sie der Blick ins Ei von anderen Anbietern ab?

Ja. Anbieter für die Überwachung peripherer Größen, die nur indirekte Rückschlüsse auf Vorgänge im Plasma erlauben, oder für zu langsame Messtechnik gibt es einige. Aber wir bieten die Messtechnik für innere Parameter, die eine Live-Überwachung ermöglicht. Die Überwachung der Parameter in Echtzeit ist unser Alleinstellungsmerkmal. Bisher konnte man weniger wichtige Daten schnell messen, die wichtigen aber eben nicht schnell. Das geht jetzt zusammen.

Wenn Sie fünf Jahre in die Zukunft blicken, was wünschen Sie sich zu sehen?

Die Firma wird gegründet sein, wir werden Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter eingestellt haben. In der DACH-Region kennt man „House of Plasma“ als Anbieter für Plasmadiagnostik und überlegt, mit uns zusammenzuarbeiten. USA und Südostasien kommen langsam dazu – da gibt es viele interessante Firmen. Wir wollen der Anbieter schlechthin für Plasmadiagnostik werden.

i ERSTER PLATZ UND SONDERPREIS

Das Team von House of Plasma hat im Senkrechstarter-Wettbewerb den ersten Platz belegt und darüber hinaus einen Sonderpreis für die beste Hochschulausgründung gewonnen. Die Preisverleihung fand am 17. Juni 2021 statt. Der Wettbewerb wird von der Wirtschaftsentwicklung Bochum veranstaltet. Die Gewinner erhalten professionelle Beratung und Preisgelder für ihr Start-up.

md

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), Hofsteeter 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

DRUCK: Lensing Druck GmbH & Co. KG, Feldbachacker 16, 44149 Dortmund, Tel.: 0231/80592000, 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/abo. Das Abonnement kann per E-Mail an rubin@rub.de/rubin/abo. Das Abonnement kann per Mail auch bei Research Department „Plasmas with Complex Interactions“ (Dr. Marina Prenzel, rd-plasma@rub.de),

ISSN: 0942-6639

Nachdruck bei Quellenangabe und Zusenden von Belegexemplaren