

RUBIN

WISSENSCHAFTSMAGAZIN

SONDERAUSGABE

Sonderausgabe

ANGEWANDTE PLASMA- FORSCHUNG

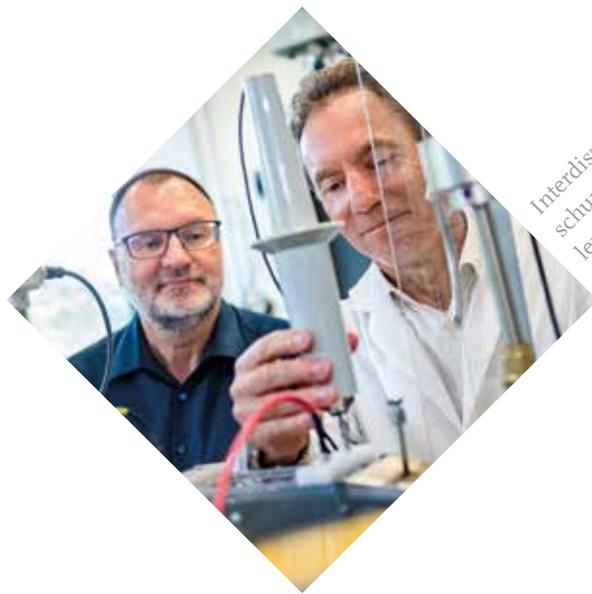
BIOKATALYSE UND
PLASMEN KOMBINIEREN

KLIMAKILLER IN ROHSTOFFE
UMWANDELN

DAS INNERE VON PLASMEN
LIVE ÜBERWACHEN

Nichtthermische Plasmen
VOM KLIMAKILLER ZUM
ROHSTOFF MIT HILFE
VON PLASMA-TECHNIK

Nichtthermisches Plasma könnte künftig gezielt zur Reinigung und Aufbereitung von Hüttengasen eingesetzt werden. (Foto: dg)



Interdisziplinäre Forschung: Martin Muhler (links) und Peter Awakowicz verbinden ihre Ergebnisse aus der Plasmachemie und Plasmatechnik. (Foto: dg)

Kalte Plasmen und plasmakatalytische Verfahren könnten sich eignen, um Hüttengase der Stahlindustrie zu reinigen und aufzubereiten.

Wasserstoff, Sauerstoff, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Methan – einen wahren und mitunter schadstoffreichen Gas-Cocktail setzt die Stahlindustrie stündlich frei. Doch wie lassen sich diese Hüttengase reinigen? Wie können sie in wertvolle Kraftstoffe umgesetzt werden? Hier setzt die Forschung von Prof. Dr. Peter Awakowicz vom Lehrstuhl für Allgemeine Elektrotechnik und Plasmatechnik und Prof. Dr. Martin Muhler vom Lehrstuhl für Technische Chemie an. Das interdisziplinäre Forschungsteam der Ruhr-Universität Bochum untersucht, wie man nichtthermisches Plasma gezielt zur Reinigung und Aufbereitung des Hüttengasgemisches einsetzen kann. Im vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Verbundprojekt Carbon2Chem, an dem die beiden Wissenschaftler seit 2016 beteiligt sind, erproben sie ihre innovative Plasmatechnik an Realgasen. „Die Kombination aus einem Grundlagenforschungsprojekt des Sonderforschungsbereiches 1316 und einem anwendungsorientierten BMBF-Projekt ist ein Traum, den wir beide schon immer hatten und uns jetzt erfüllen können“, so Awakowicz.

Im Teilprojekt L3 von Carbon2Chem, an dem die RUB-Wissenschaftler mitarbeiten, geht es konkret um die Vorreinigung, die Entfernung des Sauerstoffes aus dem Kokereigas. „Das klingt einfach, ist aber schwierig im Detail“, erklärt Chemiker Muhler. Es sei eine Kunst, den Sauerstoff aus den überwiegend wasserstoffhaltigen Kokereigasen zu entfernen. Klassische Methoden zur Abgasreinigung, wie die Druckwechseladsorption, würden nicht funktionieren, wenn zu viel Sauerstoff vorhanden sei. Die hohe chemische Reaktionsfähigkeit des Sauerstoffs würde unter Normaldruck gefährliche Gasreaktionen wie etwa eine Knallgasexplosion auslösen. Peter Awakowicz und Martin Muhler setzen daher auf Vorreinigung per Plasmatechnik mit kaltem Plasma. Wie funktioniert das? Was ist das Besondere an diesem nichtthermischen Plasma? Und wie wird es erzeugt?

Kalte Plasmen oder auch nichtthermische Plasmen sind Plasmen, in denen die Temperaturen von Ionen, Elektronen und Neutralteilchen variieren. „Die Temperatur der Elektronen ist in diesen Plasmen hoch, die Temperatur der anderen Gasteilchen vergleichsweise gering“, erläutert Awakowicz. Da sich die Plasmen im thermischen Nichtgleichgewicht befinden, werden sie auch häufig als Nichtgleichgewichtsplasmen bezeichnet. Ihr Vorteil mit Blick auf die Verfahren zur Gasreinigung: Das gezündete, kalte Plasma kann zur Gasbehandlung verwendet werden, ohne dass es zu einem nennenswerten Temperaturanstieg des Gases führt.

Die Herstellung von kaltem Plasma ist jedoch nicht einfach. „Die Schwierigkeit besteht darin, dem Gas gerade so viel Energie zukommen zu lassen, dass zwar die winzigen Elektronen beschleunigt und somit heiß werden, die Temperatur der großen, schweren Neutralteilchen und Ionen sich aber kaum ändert“, erklärt Awakowicz. Dem Forschungsteam vom Lehrstuhl für Allgemeine Elektrotechnik und Plasmatechnik ist es gelungen, ebendiesen Zustand von nichtthermischem Plasma im eigens dafür gebauten Plasmareaktor herzustellen: Die Elektronen werden einige Zehntausend Grad Celsius heiß, ohne dass sich die Gastemperatur des gesamten Plasmas auf kaum mehr als die Raumtemperatur erhöht.

„Um diesen Zustand zu erreichen war aufwendige Plasmadiagnostik notwendig. Immer wieder mussten wir die einzelnen Parameter, wie etwa Geometrie und Materialien der Elektroden, die Spannungsamplitude und -frequenz, aber auch die eingetragene Leistung neu justieren. Anschließend mussten die fundamentalen Plasmaparameter wie die Elektronendichte, die Verteilungsfunktion der freien Elektronen, aber auch die Gastemperatur bestimmt werden, um alles zu optimieren“, beschreibt Awakowicz die Herausforderungen.

Während das Team um Elektrotechniker Awakowicz an den Parametern zur Herstellung des kalten Plasmas feilte, analysierten die Chemikerinnen und Chemiker um Muhler ▶

DIE VISION VON DER PLASMAKATALYSE

Das Forschungsteam sieht seine nächsten Forschungsaktivitäten im Bereich der Plasmakatalyse und damit einem Verfahren, das kaltes Plasma mit geeigneten Katalysatoren in Verbindung bringt. Welche Wechselwirkungen zwischen kaltem Plasma und Katalysatoren sind möglich? Wie kombiniert man sie effizient, um etwa die Deaktivierung von Katalysatoren zu verhindern oder auch die Vergiftung von Katalysatoren zu reduzieren? Erste Experimente zu sogenannten dielektrisch behinderten Plasmaentladungen, also Entladungen, die beispielsweise durch eine Aluminiumoxidplatte behindert werden, erscheinen vielversprechend. Die Beobachtungen zeigen, dass die Oberfläche eines Katalysators, wie zum Beispiel Platin, bei den niedrigen Temperaturen

des kalten Plasmas verändert und chemisch aktiviert werden kann. Möglicherweise, so die Vision von Peter Awakowicz und Martin Muhler, ist das nichtthermische Plasma in der Lage, den Katalysator aktiv zu halten, und im Ernstfall einer Vergiftung des Katalysators durch Schadstoffe im Gasraum, diese Gifte zu entfernen. So haben die Forscher bereits herausgefunden, dass durch die Verwendung des Katalysators Manganoxid der Schadstoff Kohlenmonoxid nahezu vermieden werden kann. Bis das alles optimal gelingt, gibt es noch viel auszutüfteln, nämlich welche Elektrodenform sich empfiehlt, welche Entladungskanäle sich anbieten oder auch welche Oberflächenstruktur und -dichte der Katalysator aufweisen sollte.

„ EIN SPEKTAKULÄRES PROJEKT,
WEIL DIE DIMENSIONEN SO RIESIG
SIND. “

Peter Awakowicz und Martin Muhler

die durch die Plasmaentladung angestoßenen chemischen Reaktionen. Es zeigte sich, dass das kalte Plasma so reaktiv ist, dass es den im Kokereigas enthaltenen Sauerstoff zur Reaktion mit Wasserstoff animiert, sodass Wasser entsteht. Das Gasgemisch ist vom Sauerstoff befreit, und steht somit für weitere Reinigungsprozesse bereit.

Was Awakowicz und Muhler im Labor der RUB grundlegend erforscht haben, wird im BMBF-Projekt Carbon2Chem auf konkrete Gasgemische der Stahlindustrie angewendet. In der ersten Projektphase von 2016 bis 2020 haben die Forscher bereits den Machbarkeitsnachweis erbracht: Die entwickelte Plasmatechnik lässt sich auf diese spezifischen Hüttengase anwenden. In der zweiten Förderphase von 2020 bis 2024 sollen nun die technischen Verfahren weiter validiert und für die Industrieanwendung ab 2025 hochskaliert werden.

Die Experimente dazu finden auf einer Fläche von 3.700 Quadratmetern im Technikum in Duisburg statt. Das Technikum wurde 2018 angrenzend an das Gelände von Thyssenkrupp Steel Europe errichtet und ermöglicht, dass die Versuche von Carbon2Chem unter industriellen Rahmenbe-

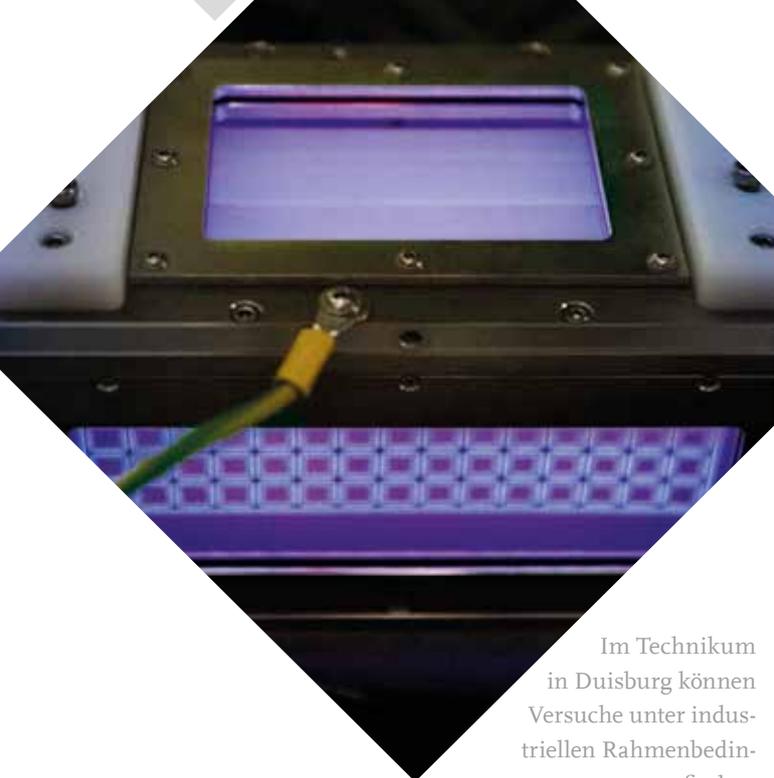
dingungen durchgeführt werden können. „Die realen Abgase werden auf das Technikum-Gelände geleitet und stehen uns dort zur Verfügung“, berichtet Muhler. „Wir müssen jetzt zeigen, dass unsere Plasmaanlage mit den realen Gasen arbeiten kann. Natürlich in einem viel größeren Maßstab. Der Reaktor soll die mehr als fünfzigfache Menge an Gas reinigen können“, beschreibt er die Herausforderung. An der RUB haben die Forscher bisher im Labor mit kleinen Gasströmen von zehn Litern pro Minute gearbeitet; am Technikum geht es um Ströme mit einem deutlich größeren Volumen von 500 Litern pro Minute und mehr. „Ein spektakuläres Projekt, weil die Dimensionen so riesig sind“, finden Awakowicz und Muhler.

In vier Jahren steht die kommerzielle Implementierung der Gasreinigungsanlage an. „Der letzte Schritt, die Hochskalierung von zehnfach auf hundertfach wird eine Kraftanstrengung“, ahnt Awakowicz. Und fügt hinzu: „Dann müssen wir Forscher irgendwann den Staffelstab an die Industrie abgeben.“



Im Labor stellen die Plasmatechniker im extra dafür konstruierten Reaktor kaltes Plasma her. Dazu legen sie eine hohe elektrische Wechselspannung an eine oder mehrere dünne, parallele, plattenförmige Elektroden im Gasraum an. Jede dieser aus Aluminiumoxid bestehenden Elektroden ist auf beiden Seiten mit einem metallischen Gitter aus Nickel-Leiterbahnen beschichtet. (Foto: dg)

Legt man die Wechselspannung an, zündet ein Plasma, das sich dann entlang der Gitterlinien auf den Elektrodenoberflächen ausbreitet. (Foto: dg)



Im Technikum in Duisburg können Versuche unter industriellen Rahmenbedingungen stattfinden. (Foto: thyssenkrupp Steel Europe)

i CARBON2CHEM

Rund 17 Millionen Tonnen CO₂ setzt die Stahlerzeugung am Standort Duisburg im Jahr frei. Im BMBF-geförderten Verbundprojekt Carbon2Chem, an dem auch die Ruhr-Universität Bochum beteiligt ist, erforscht ein Team seit 2016, wie die in der Stahlerzeugung anfallenden Hüttengase mithilfe von erneuerbaren Energien in chemische Grundstoffe umgewandelt werden können. Ziel ist es, den Anlagenverbund aus Stahl-, Chemie- und Energieindustrie zu optimieren, langfristig CO₂-Emissionen zu reduzieren und so die Klimaschutzziele der Bundesregierung zu erreichen.

Carbon2Chem setzt sich aus sieben thematisch aufgeteilten Leitprojekten zusammen. Die Teilprojekte L1 bis L6 beschäftigen sich mit den Modulen Wasserstoff, Methanol, Höhere Alkohole, Polymere, Oxymethylen-ether sowie der Gasreinigung. Ausgehend von der Grundlagenforschung führt die angewandte Forschung in enger Zusammenarbeit mit der Industrie die Ergebnisse in Marktreife. Die RUB-Forscher Awakowicz und Muhler arbeiten, zusammen mit dem RUB-Physiker Achim von Keudell, mit der Firma Linde, der Firma thyssenkrupp, dem Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion, dem Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik und der Firma Clariant im Projekt L3 (Gasreinigung) zusammen. Das Verbundprojekt wird von der thyssenkrupp AG, dem Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion und dem Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik gesteuert. Insgesamt sind im Carbon2Chem-Projekt 18 Projektpartner aus Wissenschaft und Wirtschaft beteiligt: Clariant Produkte, Covestro Deutschland, Evonik Industries, Evonik Resource Efficiency, Fraunhofer Gesellschaft, Linde, Max-Planck-Gesellschaft, Nouryon Industrial Chemicals, Remondis, Rheinkalk, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Ruhr-Universität Bochum, Siemens, Siemens Gas and Power, Thyssen Vermögensverwaltung, thyssenkrupp.

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung förderte das Projekt mit mehr als 60 Millionen Euro in der ersten Phase. In der zweiten Förderperiode stehen bis 2024 insgesamt 75 Millionen Euro zur Verfügung. Für die kommerzielle Realisierung sind mehr als eine Milliarde Euro vorgesehen.



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 Atmosphärenendruckplasmen – 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)

INHALTICHE 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

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