

Press release**Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY****Dr. Thomas Zoufal**

10/01/2021

<http://idw-online.de/en/news776606>Research results, Scientific Publications
Chemistry, Environment / ecology, Materials sciences, Physics / astronomy, Traffic / transport
transregional, national**Einziger Blick auf ein einzelnes Katalysator-Nanopartikel bei der Arbeit**

Mit intensivem Röntgenlicht hat ein DESY-geführtes Forschungsteam ein einzelnes Katalysator-Nanopartikel bei der Arbeit beobachtet. Die Untersuchung zeigt erstmals, wie ein individuelles Nanopartikel unter Reaktionsbedingungen die chemische Zusammensetzung seiner Oberfläche ändert, wodurch es aktiver wird. Das Team um DESY-Forscher Andreas Stierle stellt seine Beobachtungen im Fachblatt „Science Advances“ vor. Die Untersuchung ist ein wichtiger Schritt zu einem besseren Verständnis realer Katalysatormaterialien.

Katalysatoren sind Materialien, die chemische Reaktionen begünstigen, ohne dabei selbst verbraucht zu werden. In zahlreichen industriellen Prozessen werden heute Katalysatoren eingesetzt, von der Düngemittelherstellung bis zur Plastikproduktion. Katalysatoren haben daher eine immense wirtschaftliche Bedeutung. Ein sehr bekanntes Beispiel ist der Abgaskatalysator im Auto. Dabei handelt es sich um Edelmetalle wie Platin, Rhodium und Palladium, die eine Umwandlung von sehr giftigem Kohlenmonoxid (CO) in Kohlendioxid (CO₂) sowie eine Reduzierung schädlicher Stickoxide (NO_x) ermöglichen.

„Trotz ihres breiten Einsatzes und ihrer großen Bedeutung, kennen wir viele wichtige Details der genauen Funktionsweise der verschiedenen Katalysatoren noch nicht“, berichtet Stierle, der das DESY NanoLab leitet. „Es ist daher ein langgehegtes Ziel, reale Katalysatormaterialien im Betrieb zu untersuchen.“ Das ist nicht so einfach, denn um die aktive Oberfläche möglichst groß zu gestalten, werden Katalysatormaterialien meist als winzige Nanopartikel eingesetzt, und die Änderungen, die ihre Aktivität beeinflussen, spielen sich auf ihrer Oberfläche ab.

Oberflächenspannung zeigt chemische Zusammensetzung

Das Team aus dem DESY NanoLab hat im Rahmen des EU-Projekts Nanoscience Foundries and Fine Analysis (NFFA), eine Technik entwickelt, mit der sich einzelne Nanopartikel markieren und dadurch in der Probe identifizieren lassen. „Für die Untersuchung haben wir im Labor Nanopartikel aus einer Platin-Rhodium-Mischung, einer sogenannten Legierung, auf einem Trägermaterial wachsen lassen und ein spezielles Partikel markiert“, berichtet Ko-Autor Thomas Keller aus dem DESY-NanoLab. „Das markierte Partikel hat einen Durchmesser von rund 100 Nanometern und ähnelt Partikeln, wie sie im Auto-Katalysator zum Einsatz kommen.“ Ein Nanometer ist ein millionstel Millimeter.

Mit dem Röntgenlicht der Europäischen Synchrotronstrahlungsquelle ESRF in Grenoble (Frankreich) konnte das Team nicht nur ein detailliertes Abbild des Nanopartikels erstellen, sondern auch die mechanische Spannung in seiner Oberfläche vermessen. „Die Oberflächenspannung ist ein Maß für ihre chemische Zusammensetzung aus Platin- und Rhodium-Atomen“, erläutert Ko-Autor Philipp Pleßow vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Seine Gruppe hat eine Theorie entwickelt, die den Zusammenhang zwischen Oberflächenspannung und chemischer Zusammensetzung für die jeweiligen Facetten des Nanopartikels beschreibt. Wie bei geschliffenen Edelsteinen werden die verschiedenen Oberflächen eines Nanopartikels als Facetten bezeichnet.

Nach dem Wachstum des Nanopartikel befinden sich vor allem Platinatome an der Oberfläche, weil dies energetisch günstiger ist. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler untersuchten Form und Oberflächenspannung des Partikels dann unter verschiedenen Bedingungen, darunter auch Betriebsbedingungen wie im Auto-Katalysator. Dazu heizten sie das Partikel auf rund 430 Grad Celsius auf und ließen Kohlenmonoxid- und Sauerstoffmoleküle an ihm vorbei strömen. „Unter diesen Reaktionsbedingungen werden Rhodium-Atome im Inneren des Partikels mobil und wandern an die Oberfläche, weil Rhodium stärker als Platin mit Sauerstoff wechselwirkt“, erläutert Pleßow. Auch das sagt die Theorie korrekt voraus.

„In der Folge ändern sich Oberflächenspannung und Form des Partikels“, berichtet Ko-Autor Ivan Vartanians von DESY, dessen Team die Form- und Oberflächenspannungsmessungen in räumliche Bilder umgewandelt hat. „Es findet eine facettenabhängige Rhodiumanreicherung statt, und es bilden sich mehr Ecken und Kanten.“ Die chemische Zusammensetzung der Oberfläche, Form und Größe der Partikel haben erheblichen Einfluss auf ihre Funktion und Effizienz. Wie dies genau zusammenhängt, und auf welche Weise sich die Struktur und Zusammensetzung der Nanopartikel beeinflussen lässt, beginnen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler allerdings erst zu verstehen. Im Röntgenlicht lassen sich noch Spannungsänderungen von 0,1 Promille erkennen, das entspricht in dieser Untersuchung einer Genauigkeit von etwa 0,0003 Nanometern (0,3 Pikometern).

Schritt zur Analyse realer Katalysatormaterialien

„Wir können hier erstmals die Details der Strukturänderungen von solchen Katalysator-Nanopartikeln im Betrieb verfolgen“, betont Stierle, der Leitender Wissenschaftler bei DESY und Professor für Nanowissenschaften an der Universität Hamburg ist. „Das ist ein großer Fortschritt und hilft uns beim Verständnis einer ganzen Klasse von Reaktionen, bei denen Legierungsnanopartikel eingesetzt werden.“ In dem neuen, von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Sonderforschungsbereich 1441 mit dem Titel „Verfolgung der aktiven Zentren in heterogenen Katalysatoren für die Emissionskontrolle (TrackAct)“ wollen Forscherinnen und Forscher von KIT und DESY dies nun systematisch erkunden.

„Unsere Untersuchung ist ein wichtiger Schritt zur Analyse realer Katalysatormaterialien“, betont Stierle. Bislang züchten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler für solche Untersuchungen Modellsysteme im Labor. „Wir sind bei dieser Untersuchung an die Grenze des Machbaren vorgestoßen. Mit dem bei DESY geplanten Röntgenmikroskop PETRA IV werden wir einzelne, zehnmal kleinere Partikel in realen Katalysatoren unter Reaktionsbedingungen anschauen können.“

DESY zählt zu den weltweit führenden Teilchenbeschleuniger-Zentren und erforscht die Struktur und Funktion von Materie – vom Wechselspiel kleinster Elementarteilchen, dem Verhalten neuartiger Nanowerkstoffe und lebenswichtiger Biomoleküle bis hin zu den großen Rätseln des Universums. Die Teilchenbeschleuniger und die Nachweisinstrumente, die DESY an seinen Standorten in Hamburg und Zeuthen entwickelt und baut, sind einzigartige Werkzeuge für die Forschung: Sie erzeugen das stärkste Röntgenlicht der Welt, bringen Teilchen auf Rekordenergien und öffnen neue Fenster ins Universum. DESY ist Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft, der größten Wissenschaftsorganisation Deutschlands, und wird zu 90 Prozent vom Bundesministerium für Bildung und Forschung und zu 10 Prozent von den Ländern Hamburg und Brandenburg finanziert.

contact for scientific information:

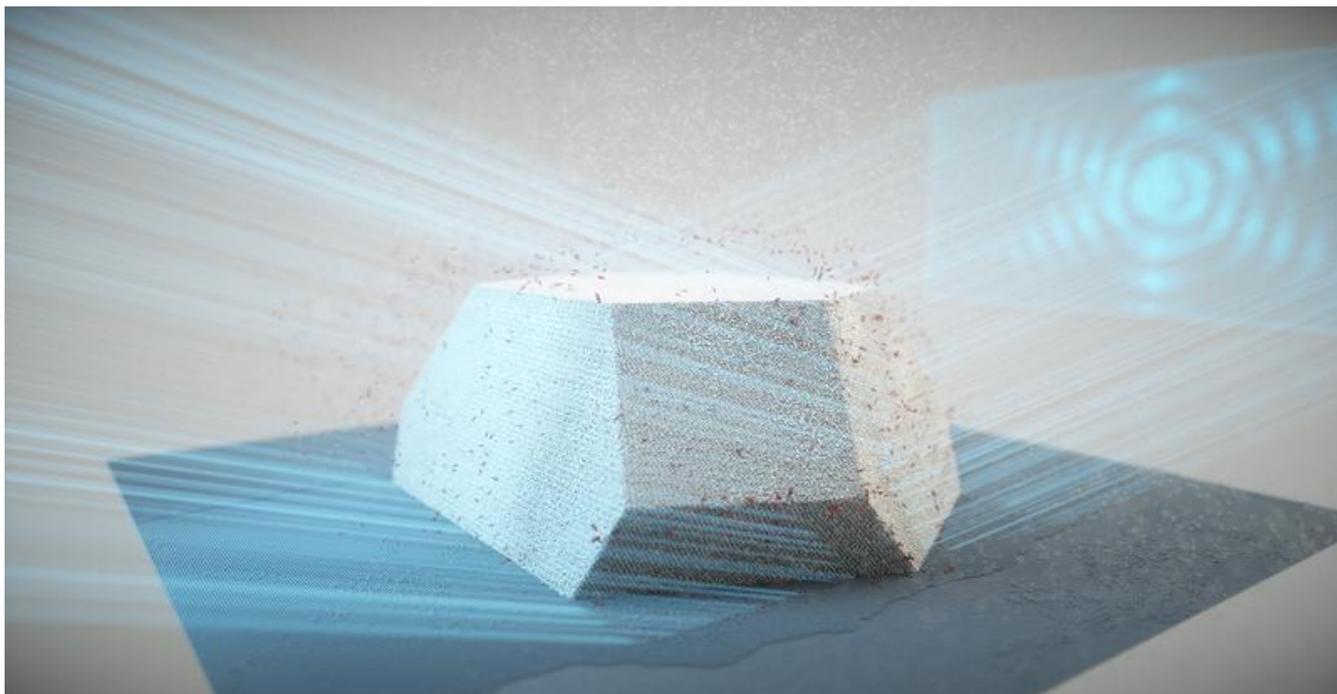
Prof. Andreas Stierle
DESY NanoLab, Centre for X-ray and Nano Science, DESY
+49 40 8998-92005
andreas.stierle@desy.de

Original publication:

Single Alloy Nanoparticle X-Ray Imaging during a Catalytic Reaction; Young Yong Kim, Thomas F. Keller, Tiago J. Goncalves, Manuel Abuin, Henning Runge, Luca Gelisio, Jerome Carnis, Vedran Vonk, Philipp N. Plessow, Ivan A. Vartanyants, Andreas Stierle; „Science Advances“, 2021; <https://dx.doi.org/10.1126/sciadv.abho757>

URL for press release:

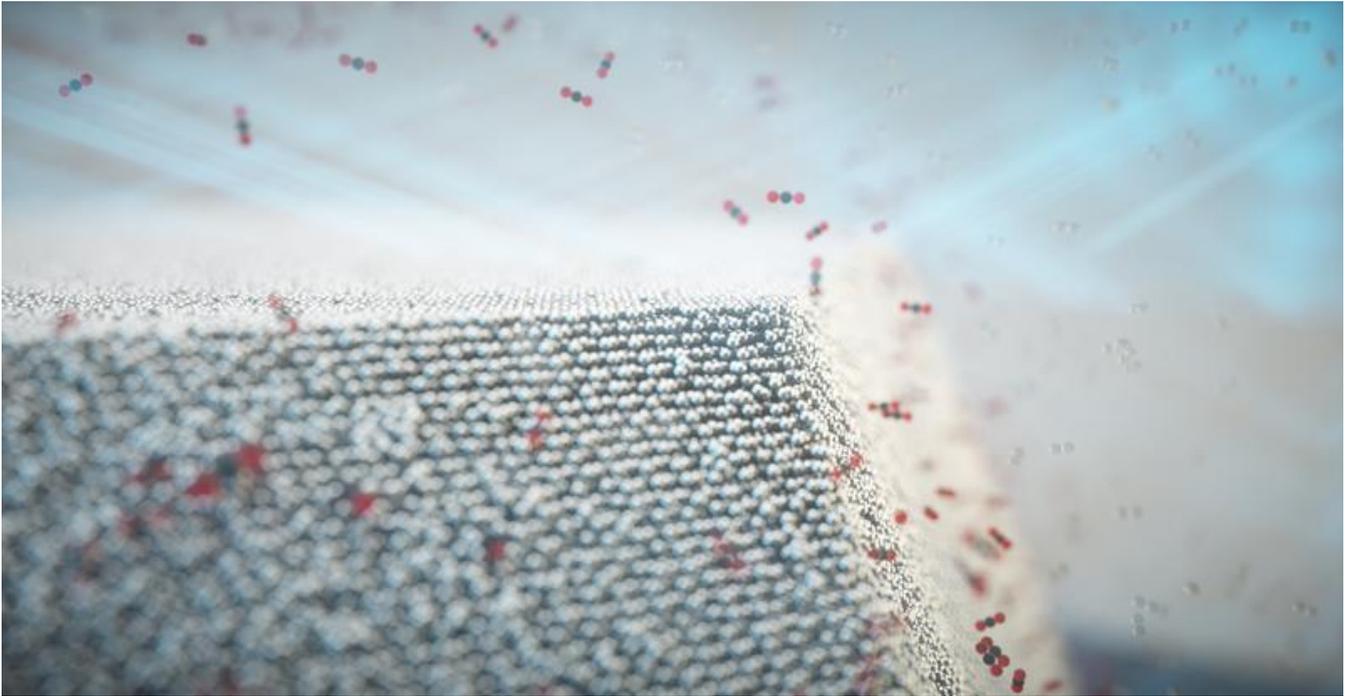
https://www.desy.de/aktuelles/news_suche/index_ger.html?openDirectAnchor=2160&two;_columns=1 -
Pressemitteilung mit Bild- und Videomaterial im Web



Die Röntgenuntersuchung lieferte nicht nur ein komplettes Abbild eines einzelnen Katalysator-Nanopartikels, sondern zeigt auch Veränderungen in der chemischen Zusammensetzung seiner Oberfläche während des Betriebs.

Science Communication Lab

© DESY



An der Oberfläche des Nanopartikels oxidiert Kohlenmonoxid zu Kohlendioxid.
Science Communication Lab
© DESY