

Wie funktioniert ein Drei-Wege-Katalysator?

AUFGABEN

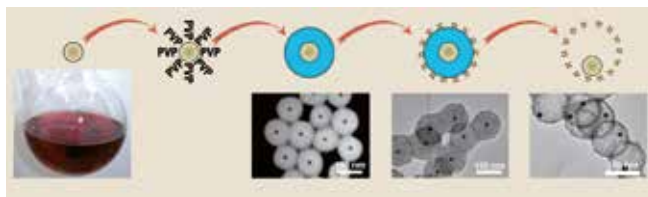
- ❶ Was bewirkt ein Drei-Wege-Katalysator? (A1 und Internet)
- ❷ Warum arbeiten Wissenschaftler an einer Verbesserung der Katalysatortechnik? Begründen Sie Ihre Antwort schriftlich. (A1)
- ❸ Benennen und beschreiben Sie die wichtigsten Schritte bei der Herstellung eines sinterstabilen Katalysators? (A2 und A3)

A1: ENTGIFTER FÜR ABGASE - DER DREI-WEGE-KATALYSATOR

Der Drei-Wege-Katalysator für Benzinautos heißt so, weil er drei gefährliche Abgasbestandteile, die während der Verbrennung entstehen, in harmlose Gase umwandelt. Geeignete Katalysatoren sind beispielsweise Platin, Rhodium und Palladium. Auf einem Reaktionsweg oxidiert der „Kat“ das giftige Kohlenmonoxid (CO) mit Sauerstoff (O₂) zum ungiftigen Kohlendioxid (CO₂). Der zweite Weg ist die Oxidation giftiger Kohlenwasserstoff-Verbindungen zu Kohlendioxid und Wasser. Auf dem dritten Weg reduziert er schädliche Stickoxide (NO_x) zu ungefährlichem N₂. Wie viele technische Katalysatoren leidet der Drei-Wege-Katalysator zum Beispiel an der hohen Betriebstemperatur, die bis auf 800 °C steigen kann. Auf dem heißen Trägermaterial beginnen die Nanopartikel des Katalysators dann zu wandern. Bei diesem „Sintern“ lagern sie sich oft zu größeren Klumpen zusammen. Das kann ihre gesamte Oberfläche und damit ihre Aktivität empfindlich reduzieren.

Forscher wollen deshalb einen Katalysator entwickeln, der sinterstabil ist. Dazu „sperren“ sie ihre Katalysatorpartikel in molekulare Käfige, die so klein sind, dass die Partikel ihnen nicht entkommen und zusammen sintern können. Diese Käfige besitzen aber Poren, die groß genug sind, damit die an der Oxidationsreaktion beteiligten Moleküle hindurch schlüpfen können. Das bereits fertige Modellsystem besteht aus Goldpartikeln. Seine Aktivität testen die Forscher mit der Oxidation von Kohlenmonoxid zu Kohlendioxid. Erprobt ist die Technik mittlerweile an Goldteilchen mit 15 Nanometern Durchmesser.

A2: NANOPARTIKEL MIT GOLDKUGEL



Das Verfahren funktioniert so: Zuerst bedeckt man die Goldpartikel mit einer Schicht aus Polyvinylpyrrolidon. Diese Polymermoleküle, kurz PVP genannt, verhindern, dass sich die Goldteilchen am Gefäßboden absetzen oder aneinander haften. Im nächsten Schritt setzen die Wissenschaftler der Lösung eine Silikatverbindung zu. Nun wirken die langen PVP-Moleküle wie Anker, in denen sich Siliziumdioxid (SiO₂) aus der Lösung verfängt.

Die Forscher lassen diesen Stöber-Prozess, benannt nach dem Physiker Werner Stöber, eine Weile laufen. Dabei wächst um das Goldpartikel ein Mantel aus Siliziumdioxid. Seine Schichtdicke können die Wissenschaftler zwischen 100 und 400 Nanometern einstellen, indem sie entsprechend lange warten. Danach werden die Partikel in eine sehr dünne Hülle aus Zirkoniumoxidkristallen eingepackt und auf 900 °C erhitzt, um sie zu stabilisieren. Und dann kommt der Trick: Die nur 15 bis 20 Nanometer dünne Zirkoniumoxidhülle hat kleine Poren mit circa fünf Nanometern Durchmesser. Durch diese lassen die Forscher eine Natriumhydroxidlösung eindringen, die das Siliziumdioxid auflöst. Übrig bleibt eine hohle Zirkoniumoxid-Nanokugel mit einem losen Goldpartikel – von den Forschern „Nanorassel“ genannt.

A3: NANORASSELN FÜR DAS AUTO

Tests zeigen, dass diese Nanorasseln über 800 °C aushalten und zudem auch mechanisch sehr stabil sind. Als Katalysatoren oxidieren sie Kohlenmonoxid zuverlässig zu Kohlendioxid, ohne durch Sintern an Aktivität zu verlieren. Allerdings sind die 15-Nanometer-Goldpartikel kein sehr guter Katalysator. Technisch interessant werden erst kleinere Partikel mit nur wenigen Nanometern Durchmesser. Zudem sind andere Materialien wie zum Beispiel Platin aktiver. Deshalb arbeiten Forscher derzeit an einem System mit kleineren Platinpartikeln. Vielleicht haben unsere Autos bald Nanorasseln im Auspuff.

(Grafik: „Herstellungsschritte eines sinterstabilen Katalysators“ / R. Wengenmayr und M. Paul)