

November 2020

Abwasserreinigung mittels Sonnenlicht – Ozon als Reaktionspartner

Am Leibniz-Institut für Katalyse in Rostock deckten Chemiker:innen den molekularen Mechanismus eines Fotokatalysators auf, der mit Hilfe von Sonnenlicht organische Verunreinigungen im Abwasser vollständig abbaut. Weltweit gelangen z.B. immer mehr Rückstände von Arzneien, wie Entzündungshemmern, Antibiotika oder Verhütungsmitteln, in die Aufbereitungssysteme, wo sie sich nur schwer entfernen lassen. Labore arbeiten verstärkt an fotokatalytischen Lösungen, doch das Wissen über die Wirkprinzipien ist lückenhaft. Forschende um Angelika Brückner und Jabor Rabeah am LIKAT haben deshalb Fotokatalysatoren gewissermaßen live bei der Arbeit beobachtet und Grundlagen ihrer Funktionsweise aufgeklärt.

Dies eröffnet der Entwicklung von Fotokatalysatoren für die Abwasserbehandlung neue Wege, wie Prof. Dr. Brückner, Bereichsleiterin am LIKAT, sagt. Kollegen aus China waren an sie mit der Bitte um Kooperation herangetreten. In bevölkerungsreichen Regionen Asiens sind organische Verunreinigungen, etwa durch stabile Abbauprodukte von Medikamenten, ein dringliches Problem.

Die chinesischen Kolleg:innen hatten neue Katalysatoren entwickelt und brauchten die Expertise des LIKAT für spezielle Untersuchungen, um ihre Katalysatoren optimal präparieren zu können. Brückner und ihr Team sind Spezialisten auf dem Gebiet der sogenannten In-situ-Spektroskopie. Damit können sie die Funktion eines Katalysators während der chemischen Reaktion (in situ) verfolgen und seine molekulare Wirkweise dokumentieren.

Carbonitrid statt Titanoxid

Gängige Fotokatalysatoren, wie Titandioxid, mit dem z. B. selbstreinigende Fensterscheiben beschichtet werden, um Schmutzpartikel zu zersetzen, arbeiten am effektivsten mit energiereicher UV-Strahlung. Allerdings beträgt der UV-Anteil im Sonnenlicht nur 5 bis 8 Prozent. Die chinesischen Chemiker:innen nutzen deshalb eine neue Generation von Fotokatalysatoren: Carbonitrid, das im sichtbarem Licht aktiviert wird. Es entsteht durch thermische Behandlung von Melamin, das auch als Ausgangsstoff für farbenfrohes Geschirr aus Duroplast dient.

Die Kolleg:innen in China konnten ihren Katalysator erfolgreich testen, und zwar mit verschiedenen Substanzen, die beim Abbau von Medikamenten entstehen und ins Abwasser gelangen. Der pulverförmige Fotokatalysator wird dabei im Wasser verrührt und verrichtet als Schwebeteilchen seine Arbeit. Als Oxidationsmittel testeten die Kollegen Sauerstoff und Ozon. „Ozon erwies sich als außergewöhnlich effektiv“, erläutert Prof. Brückner. „Doch seine Aktivität schwankte, und das schien abhängig von den Präparationsbedingungen des Katalysators zu sein.“



Abb. 1: Heterogene Katalysatoren werden oft in Pulverform eingesetzt. Nach der Reaktion kann dieses dann zu Boden sinken, was die Abtrennung des Katalysators stark vereinfacht.

Warum das so ist und welches die optimalen Bedingungen für das Präparieren des Katalysators darstellten, sollte Jiadong Xiao, ein junger Chemiker von der Universität Peking, am LIKAT in seiner Dissertation erkunden. Diese Forschungen liefen unter der Ägide von Dr. Jabor Rabeah, Themenleiter am LIKAT und Betreuer des Doktoranden.

Radikale einfangen und identifizieren

Die Messungen ergaben, dass für die eigentliche Abbaureaktion eine Spezies von Radikalen verantwortlich ist. Angelika Brückner: „Das sind äußerst reaktionsfreudige Moleküle, die die Schadstoffe im Wasser sofort angreifen und abbauen. Und das Zusammenspiel von Sonnenlicht, Fotokatalysator und Ozon befördert diese Bildung von Radikalen.“ Tatsächlich waren die Radikale so kurzlebig, dass es zunächst selbst mit der modernen Analysetechnik am LIKAT nicht gelang, sie zu identifizieren.

Für solche Fälle nutzen die Chemiker einen Trick, den sie Spin-Trap nennen: Die Radikale werden mit einem neutralen Molekül eingefangen, das dadurch selbst zum Radikal wird, allerdings zu einem, das kaum reaktiv ist und deshalb lange genug „lebt“, um analysiert zu werden. So war es möglich, die hocheffektiven Teilchen als Hydroxyl-Radikale zu identifizieren, Moleküle, die aus einem Wasserstoff- und einem Sauerstoff-Atom bestehen. Die hohe Wirksamkeit der Kombination Fotokatalysator – Sonnenlicht – Ozon bei der Abwasserreinigung ließ sich durch die extrem rasche Bildung enorm vieler reaktionsfreudiger Radikale erklären.

Ergebnis der Forschungsarbeiten ist „ein neues mechanistisches Konzept“ für diese Art von Reaktionen, wie Angelika Brückner sagt. Die Forscher:innen gehen davon aus, dass die Methode mit diesem Hintergrundwissen bald ihren Weg in die Praxis findet.

Originalveröffentlichung:

J. Xiao, Y. Xie, J. Rabeah, A. Brückner, H. Cao, *Acc. Chem. Res.* **2020**, *53*, 1024-1033.

doi.org/10.1021/acs.accounts.9b00624

Wissenschaftliche Ansprechpartnerin:

Prof. Dr. Angelika Brückner (Angelika.Brueckner@catalysis.de)