

Quantitative Nachverfolgung der photokatalytischen Wasserstoffdarstellung durch Sonnenlicht

Malte Petersen & Timm Wilke*

Einführung

Die Erzeugung von Wasserstoff mit Hilfe von Sonnenlicht gewinnt zunehmend an Bedeutung und ist ein zentraler Baustein für eine nachhaltige Energieversorgung. Eine Vielzahl an unterschiedlichen Experimenten wurde bereits von verschiedenen Didaktiken in diesem Themenfeld vorgestellt. Im Folgenden wird diese Sammlung um einen ersten Vorschlag eines Schalexperimentes erweitert, welches die Effizienz eines photokatalytischen Systems durch den Einsatz einer Polymermatrix verbessern soll. Dieser Ansatz wird im Sonderforschungsbereich CATALIGHT untersucht, welcher lichtgetriebene katalytische Moleküle in eine hierarchisch strukturierte Weichstoffmatrix einbettet, um die Sonnenstrahlung innerhalb einer chemischen Reaktion zur photokatalytischen Wasserspaltung zu nutzen. In früheren Arbeiten wurde bereits ein erster Vorschlag für den didaktischen Aufbau dieses Forschungsgebietes diskutiert (QR-Code) [1].

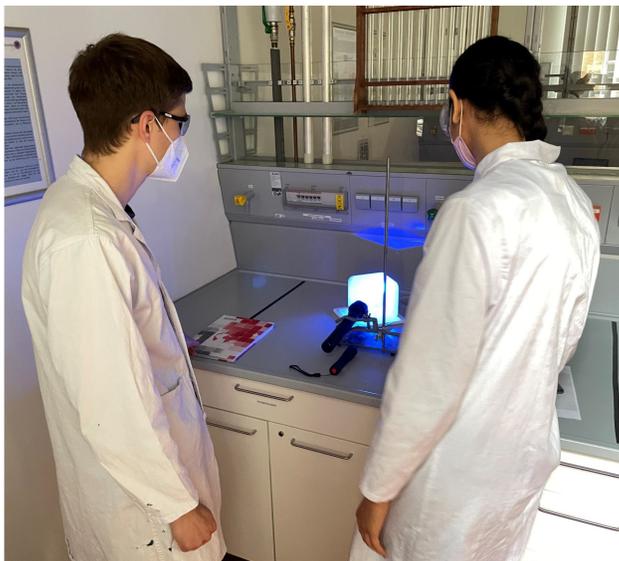


Abb. 1: Studierende bei der Durchführung eines Telexperimentes des Versuches.

Experiment und Ergebnisse

Das zu untersuchende System (Probe 1, Abb. 3) besteht aus Titandioxid (1 g/L, „TiO₂“), einer Polymermatrix aus Polydiallyldimethylammoniumchlorid (MWD = 100.000, 10 g/L, „PDADMAC“) und Polyacrylsäure (MWD = 2.000, 1 g/L, „PAA“), Eosin Y (0,692 g/L), Triethanolamin-Lösung (99%, 1:1 verdünnt mit dem Wasser, „TEOA“), Salzsäure (0,5 M) und dem Wasser. Dieses wird im Vergleich zu einer Messung ohne die Polymermatrix (Probe 2) und einer Referenzmessung (Referenz) ohne TiO₂ aufgenommen.

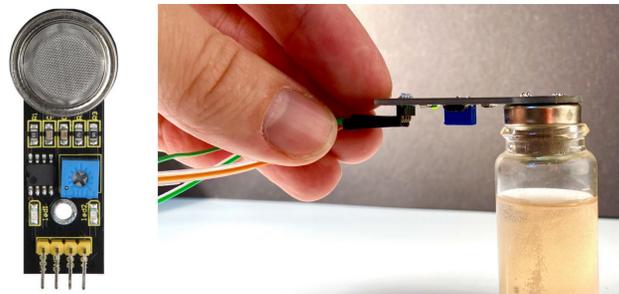


Abb. 2: Bild des Prototyps des Wasserstoffsensors für das LabPi-System.

Alle Proben werden für eine Dauer von 40 Minuten mit einer blauen LED ($\lambda = 450 \text{ nm}$) bestrahlt. Für die quantitative Nachverfolgung der Wasserstoffdarstellung wurde ein Prototyp eines Wasserstoffsensors innerhalb der kostengünstigen Messtation LabPi entwickelt (Abb. 2) [1,2]. Dieser ist von der Größe passgenau für ein herkömmliches Glasvial und bietet somit eine leicht in der Schule umzusetzende Möglichkeit für eine Nachverfolgung.

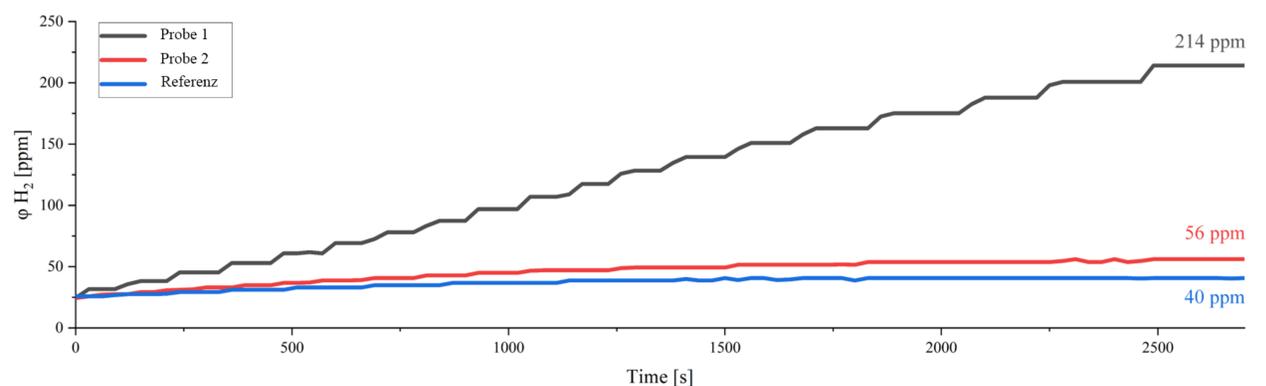


Abb. 3: Vergleich der Wasserstoffmessung durch den LabPi-Sensors. Probe 1: TiO₂, TEOA, Eosin Y und Polymermatrix. Probe 2: Ohne die Polymermatrix. Referenz: Ohne TiO₂.

Wissenschaftlicher Hintergrund

Das hier vorgestellte photokatalytisch aktive System besteht aus drei wesentlichen Komponenten. Hierbei sind die Nanopartikel des Katalysators TiO₂ (KAT) alleine in der Lage, bei Bestrahlung mit UV-Licht eine photokatalytische Wasserstoffentwicklung durchzuführen, wobei sie gleichzeitig als Lichtsammler und Katalysator dienen [3]. Um die benötigte Lichtenergie in den sichtbaren Bereich zu verlagern und damit die Nutzung des Sonnenspektrums zu erweitern, wird TiO₂ durch den Einsatz eines geeigneten Photosensibilisators Eosin Y (PS) mit den notwendigen Elektronen versorgt. So ermöglicht das angeregte PS den Transfer von Elektronen vom Opferelektronendonator TEOA, der die für die Reduktion von Protonen zu molekularem Wasserstoff benötigten Elektronen liefert, auf das KAT, das seinerseits Protonen zu molekularem Wasserstoff reduzieren kann (Abb. 4). Unterstützt wird dieses System durch den Einsatz einer Polymermatrix. Dabei wurde eine Kombination aus handelsüblichen Polymeren, die polyampholytische Komplexe bilden, verwendet, um die einzigartigen stabilisierenden Eigenschaften eines maßgeschneiderten Pfropfcopolymers aus der Literatur nachzuahmen.

In diesem Zusammenhang nutzen zahlreiche Berichte die Fähigkeit von Poly(acrylsäure) ("PAA") und Poly(diallyldimethylammoniumchlorid) ("PDADMAC") (Abb. 5), in Lösung pH- und Ionenstärke-abhängige Komplexe zu bilden [4]. Mit dieser Polyelektrolytkombination wird darauf abgezielt, eine geeignete Weichstoffmatrix zur Durchführung photokatalytischer Untersuchungen zu entwickeln.

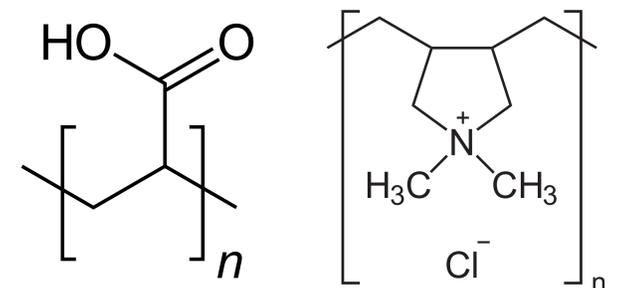


Abb. 5: Strukturformeln von PAA (links) und PDADMAC (rechts).

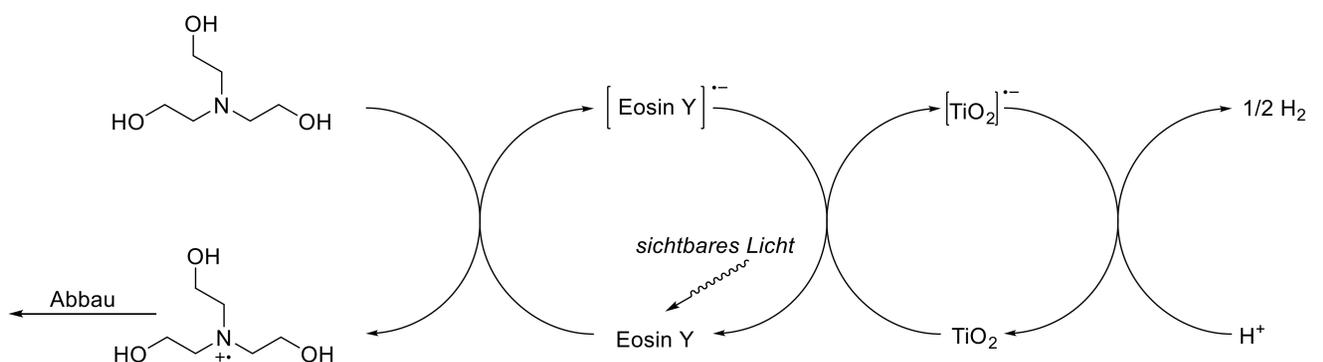


Abb. 4: Reaktionsschema für die durch sichtbares Licht induzierte Wasserstoffentwicklungskatalyse unter Verwendung von TEOA als Opferelektronendonator, Eosin Y als Photosensibilisator und TiO₂ als Katalysator.

Literatur

[1] M. Petersen, P. Worliczek, J. B. Max, A. Nabiyan, M. Wejner, J. Eichhorn, C. Streb, F. H. Schacher, T. Wilke, WJCE 2021, 9, 190. [2] Wejner, M., Wilke, T. (2022). LabPi: A Digital Measuring Station for STEM Education 4.0. J. Chem. Educ. [3] Bakbolat, B., et al. (2020). Recent Developments of TiO₂-Based Photocatalysis in the Hydrogen Evolution and Photodegradation: A Review. Nanomaterials (Basel, Switzerland) 10/9. [4] Alonso, T., et al. (2013). Study of the multilayer assembly and complex formation of poly(diallyldimethylammonium chloride) (PDADMAC) and poly(acrylic acid) (PAA) as a function of pH. Soft Matter 9/6, 1920–1928.



Malte Petersen
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Friedrich Schiller Universität Jena
Didaktik der Chemie
August-Bebel-Str. 2, D-07743 Jena
m.petersen@uni-jena.de

Alle Autoren danken der Deutsche Forschungsgemeinschaft (Transregio TRR234 CATALIGHT, Projekt Ö1).



FRIEDRICH-SCHILLER-UNIVERSITÄT JENA