

## Solare Wasserreinigung

Wenn wir in unseren Häusern den Wasserhahn aufdrehen, haben wir jederzeit Zugang zu frischem und sauberem Wasser, das wir ohne Bedenken trinken können. Das ist keine Selbstverständlichkeit und das ist auch nicht überall auf der Welt so. Damit aus dem Wasser, das wir verschmutzen, wieder ein Lebensmittel wird, sind allerdings vielfältige und aufwändige Reinigungsprozesse erforderlich.

Verschmutztes Wasser gelangt in der Regel in Kläranlagen, wo es mechanisch, manchmal auch chemisch vorgereinigt wird. In der nächsten Stufe sind Mikroorganismen, z. B. Bakterien, an der Arbeit. Sie leben von den Schadstoffen und bauen sie dabei ab. Aber nicht alles, was an flüssigen Abfällen bei uns oder in der Industrie entsteht, ist für Bakterien verdaulich. Wenn Bakterienkulturen sterben, muss die gesamte Kläranlage vorübergehend stillgelegt werden.

Verschiedene Methoden werden eingesetzt, um die Belastung von Abwässern zu verringern: Bindemittel (z. B. Aktivkohle) sind in der Lage, Giftstoffe aufzunehmen. Man verbraucht dabei aber weitere Chemikalien und baut letztlich die Schadstoffe auch nicht ab. In diesem Experiment werdet ihr ein neues Verfahren kennen lernen, mit dem Schadstoffe durch Einsatz von Sonnenenergie zerstört werden können.

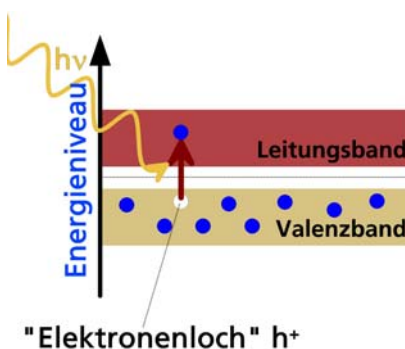
Seit Millionen von Jahren nutzen Pflanzen die Energie der Sonne für chemische Prozesse. Die meiste Biomasse der Erde beruht auf der Photosynthese. Auch der Mensch setzt schon seit dem Altertum z. B. bei Bleichverfahren die Sonnenenergie für chemische Prozesse ein. In der Industrie spielte Photochemie trotz der kostenlosen und unerschöpflichen Verfügbarkeit der Energiequelle bisher aber nur eine geringe Rolle. Dies wird sich jedoch wahrscheinlich bald ändern.

Zur Reinigung von Abwässern werden zurzeit hauptsächlich zwei Typen von Photoreaktionen angewendet:

### Halbleiter-Photokatalyse

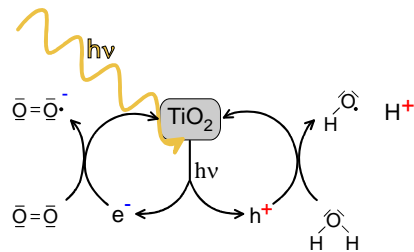
Hier reagiert ein Stoff unter Zugabe eines Katalysators. Ein Katalysator ist eine Substanz, die eine chemische Reaktion ermöglicht oder beschleunigt, selbst aber unverändert bleibt. Titandioxid (TiO<sub>2</sub>) kann als Katalysator eingesetzt werden. Es ist eine ungefährliche und nicht umweltschädigende Verbindung. Man benutzt sie z.B. in weißer Wandfarbe oder Zahnpasta. Als E171 ist sie sogar für Lebensmittel zugelassen. Titandioxid ist ein Halbleiter, der in unserem Versuch Energie aus dem Licht (hν) aufnimmt.

Dabei springen Elektronen auf ein höheres Energieniveau. Weil dieser Vorgang einen ganz bestimmten Energiebetrag voraussetzt, funktioniert er nur mit UV-Licht. Die dabei freigewordenen Elektronen (e<sup>-</sup>) und die entstandenen „Elektronenlöcher“ (h<sup>+</sup>) wirken bei der anschließenden chemischen Reaktion als Oxidations- bzw. Reduktionsmittel.



Schematische Darstellung des Bändermodells eines Halbleiters und die Anregung durch Lichtenergie (hν)

So entstehen hoch aktive Hydroxylradikale (HO•), die nahezu alle Verbindungen zersetzen können. (Die Sauerstoffradikale reagieren weiter mit Wasser zu Wasserstoffperoxid.)



Photokatalytische Reaktion mit Titandioxid

### Die Photo-Fenton-Reaktion

Als Katalysator werden Eisen(II) oder Eisen(III) Verbindungen eingesetzt, außerdem muss Wasserstoffperoxid zugesetzt werden. Diese Reaktion läuft auch bei Bestrahlung mit Licht im sichtbaren Spektralbereich ab.

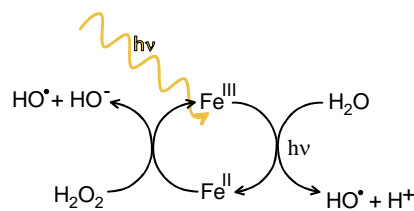


Photo-Fenton-Reaktion

### Unser Experiment

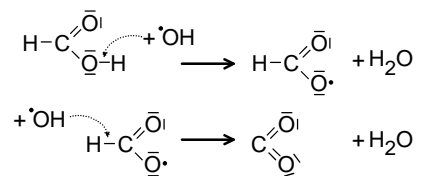
Durch Zugabe von Ameisensäure als Modellschadstoff werden 25l Wasser verunreinigt, die nun in der Anlage gereinigt werden sollen. Wir verfolgen den Abbau der Säure sowie die Temperatur kontinuierlich (im Abständen von einer Minute) mit einem pH-Meter.

Die gemessenen Temperatur- und pH-Daten sammeln wir in einer Tabelle und tragen sie in einem Koordinatensystem gegen die Zeit auf. So dokumentieren wir einerseits, wie die Säure zersetzt wird, andererseits, wie sich die Temperatur verändert.

- > Wie teilt ihr die Achsen ein?
- > Welchen Kurvenverlauf erwartet ihr? Je nach Witterungsbedingungen werden wir den Versuch unter freiem Himmel als Photokatalyse mit Sonnenlicht oder in der Halle mit künstlichem UV-Licht durchführen.

### Abbau der Modellschadstoff:

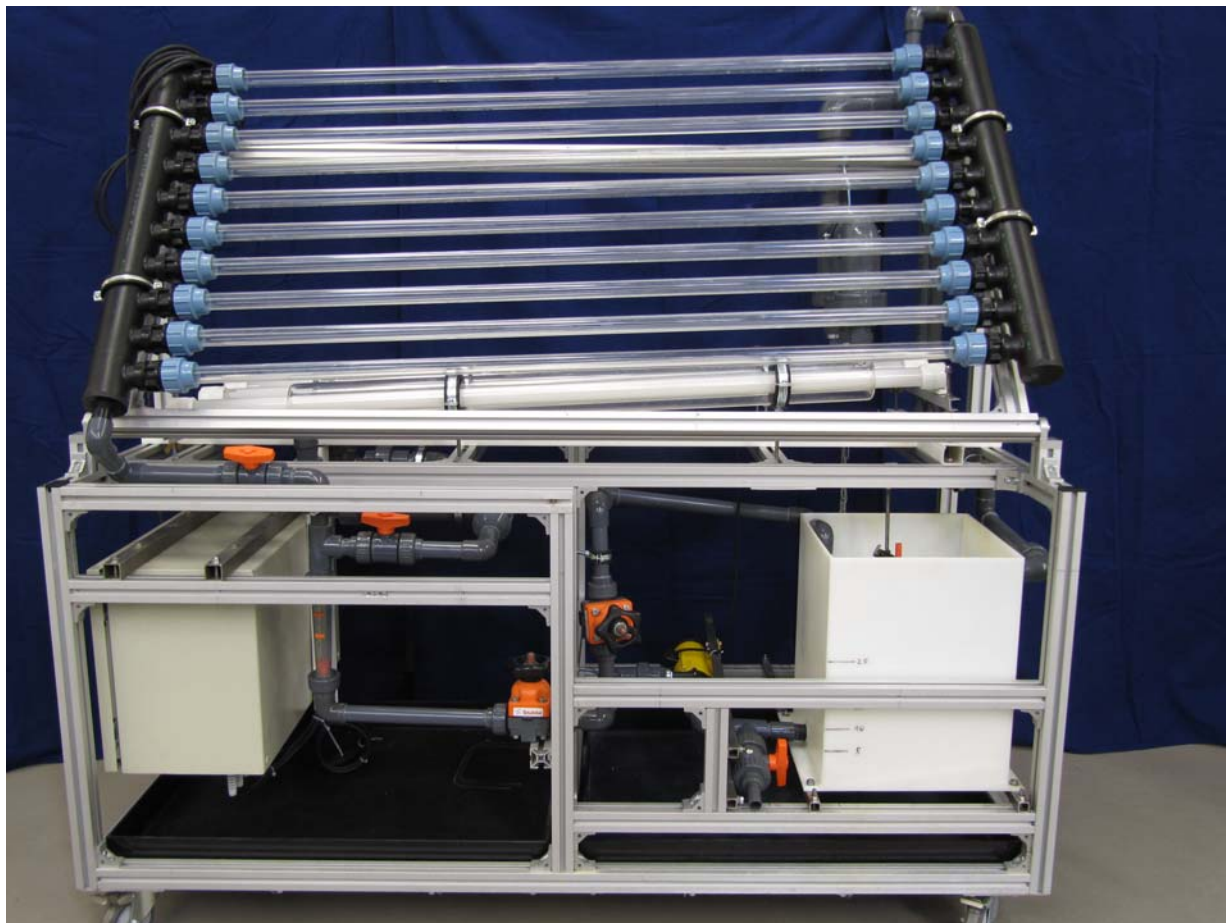
Die folgenden beiden Reaktionsschritte zeigen den Abbau der Ameisensäure.



Wie Ihr seht, bleiben als Abbauprodukte die unschädlichen Stoffe Wasser und Kohlendioxid übrig.

Zur Kontrolle können wir ein zweites Experiment durchführen, bei dem wir eine klare und eine dunkle Glasflasche mit unserem Modellschadstoff und dem Katalysator füllen, belichten und die gleichen Messungen durchführen.

- > Was erwartet ihr, wenn die Reaktion tatsächlich nur mit Licht funktioniert?
- > Wie wirkt sich wohl eine mögliche Erwärmung auf die Reaktion aus?



Die Apparatur zur Solaren Wasserreinigung im DLR\_School\_Lab Köln vereinigt zwei Reaktoren: Die zehn schräg gestellten Röhren werden bei Bestrahlung durch Sonnenlicht verwendet. Darunter liegen (fast) horizontal und nur teilweise zu erkennen die drei Röhren des Reaktors für künstliches UV-Licht. Unten erkennt man (von links nach rechts): Schaltschrank, Absperrhähne und Regelventile (orange) die Pumpe (gelb) und rechts das Vorratsgefäß für die Reaktionsmasse.

## Literatur

J. Blanco, S. Malato, Solar Detoxification, Natural Sciences, World Solar Programme, UNESCO, 1996-2005 (<http://www.unesco.org/science/wsp>), 2000.

J. Falbe, M. Regitz, Römpp Lexikon Chemie, Thieme, Stuttgart, 10. Aufl., 1996. - Schlagworte: Photochemie, Photokatalyse

J. Mattay, Von der Laborsynthese zur Solarchemie: Ein Beispiel für nachhaltige Chemie, Chemie in unserer Zeit 2002, 36, 98-106.

H. Kisch, W. Lindner, Synthesen durch Halbleiter-Photokatalyse, Chemie in unserer Zeit 2001, 35, 250-257.

## Webseiten

<http://www2.dlr.de/ET> - Die Solarforschung des DLR

<http://www.psa.es/webeng/index.html> - Die Plataforma Solar de Almeria

<http://www.ag-solar.de/> - Die Arbeitsgemeinschaft Solar des Landes NRW

<http://www.solarpaces.org/> - Homepage des Solar PACES Implementing

## Das DLR im Überblick

Das DLR ist das nationale Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Seine umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Luftfahrt, Raumfahrt, Verkehr und Energie sind in nationale und internationale Kooperationen eingebunden. Über die eigene Forschung hinaus ist das DLR als Raumfahrt-Agentur im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten sowie für die internationale Interessenswahrnehmung zuständig. Das DLR fungiert als Dachorganisation für den national größten Projektträger.

In den dreizehn Standorten Köln (Sitz des Vorstandes), Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Göttingen, Hamburg, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR circa 6.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris und Washington D.C.



**Deutsches Zentrum  
DLR für Luft- und Raumfahrt e.V.**  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

### DLR\_School\_Lab Köln

Linder Höhe  
51147 Köln  
Leitung: Dr. Richard Bräucker  
Telefon 02203 601-3093  
Telefax 02203 601-13093  
E-Mail: [schoollab-koeln@dlr.de](mailto:schoollab-koeln@dlr.de)  
[www.schoollab.DLR.de/koeln](http://www.schoollab.DLR.de/koeln)