

# Zeolithe und Molekularsiebe in Chemie und Alltag

gefördert durch



Deutsche Bundesstiftung Umwelt

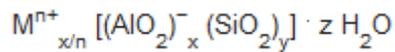
[www.dbu.de](http://www.dbu.de)

## Inhalt

1. Fachlicher Hintergrund .....	1
2. Voraussetzungen der Lerngruppe .....	1
3. Integration in laufenden Unterricht .....	2
3.1. Anknüpfungspunkte an bildungsplanrelevante Themen.....	2
3.2. Vorschlag zur Gestaltung des Unterrichts .....	2
4. Die Materialien .....	3
4.1. Allgemeines.....	3
4.2. Einblick in die Materialien.....	4

## 1. Fachlicher Hintergrund

Zeolithe sind Alumosilikate, die sowohl natürlich in der Natur vorkommen als auch künstlich hergestellt werden können. Sie setzen sich aus dreidimensionalen Netzwerken zusammen, die auf Teilchenebene aus  $\text{SiO}_4^-$  und  $\text{AlO}_4^-$  Tetraedern bestehen. Diese Tetraeder sind über Sauerstoffbrücken miteinander verbunden, sodass die submikroskopische Struktur der Zeolithe von Kanälen und Poren durchzogen wird. Die allgemeine Zusammensetzung der Zeolithe kann durch folgende Summenformel dargestellt werden:



Die Poren und Kanäle innerhalb der Zeolithstruktur sind so stark ausgeprägt, dass die innere Oberfläche von Zeolithen  $600 - 700 \text{ m}^2/\text{g}$  beträgt. Der strukturelle Aufbau der Zeolithe führt dazu, dass Zeolithe ein starkes Adsorptionsvermögen für Gase, Dämpfe sowie gelöste und flüssige Stoffe haben. Allgemein bezeichnet man Stoffe mit einem starken Adsorptionsvermögen als Molekularsiebe. Bei künstlich hergestellten Zeolithen kann der Porendurchmesser genau bestimmt werden, was die Herstellung anwendungsselektiver Molekularsiebe ermöglicht. Die Porengröße wird maßgeblich durch das Verhältnis der  $\text{SiO}_4^-$  und  $\text{AlO}_4^-$  Tetraeder bestimmt (Abb. 1). In den Poren eines Zeolithen sind Kationen zum Ladungsausgleich eingelagert. Das Ladungsungleichgewicht wird durch die negativ geladenen  $\text{AlO}_4^-$  Tetraeder verursacht. In der allgemeinen Summenformel der Zeolithe steht „ $\text{M}^{n+}$ “ für diese eingelagerten Kationen. Im wässrigen Milieu können die eingelagerten Kationen gegen gelöste Kationen mit einer äquivalenten Ladung ausgetauscht werden. Allgemein nennt man Stoffe, die einen solchen Ionenaustausch vollziehen können Ionenaustauscher. Man unterscheidet zwischen Kationen- und Anionenaustauschern, je nachdem ob Kationen oder Anionen ausgetauscht werden können. Zeolithe sind allerdings immer Kationenaustauscher. Die in Zeolithen eingelagerten Kationen sind zumeist Alkali-, Eralkali- oder Wasserstoff-Ionen.

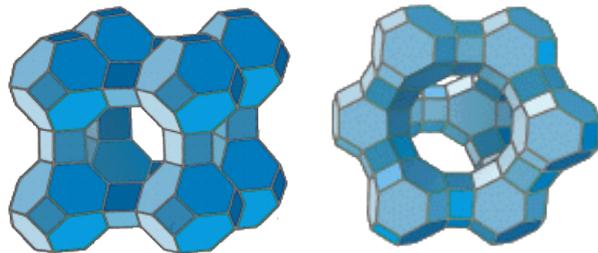


Abbildung 1: die Struktur von Zeolith A (links) und Zeolith X (rechts). Eine Pore bei Zeolith A wird von acht  $\text{SiO}_4^-$  bzw.  $\text{AlO}_4^-$  Tetraedern umschlossen, während dieses bei Zeolith von je 12 Tetraedern umrandet wird. Dementsprechend ist die Porengröße bei Zeolith X größer.

## 2. Voraussetzungen der Lerngruppe

Damit die Lernenden dieses Unterrichtsmodul erfolgreich absolvieren können, sind gewisse Vorkenntnisse unabdingbar. Diese sollen im Folgenden aufgeführt werden.

Die Schülerinnen und Schüler müssen ...

- ... ein Verständnis über Ionen und Ionenbindungen haben.
- ... wissen worin sich Anionen und Kationen unterscheiden.
- ... wissen, was ein Katalysator ist.
- ... mit der Säure-Base-Theorie nach Brönstedt vertraut sein.

- ... wissen, was Indikatoren ausmacht.
- ... wissen, was Moleküle, Atome, Ionen, Lösungen, und Stoffgemische sind.
- ... eine Kondensation sowie säurekatalysierte Veresterungen, Alkylierungen und Dehydrierungen als Reaktionstypen kennen.

### 3. Integration in laufenden Unterricht

#### 3.1. Anknüpfungspunkte an bildungsplanrelevante Themen

Die Thematisierung des Nachhaltigkeitsaspektes mit Blick auf die wesentlichen globalen und regionalen Herausforderungen unserer Zeit wird immer wichtiger – auch im Chemie- und NW-Unterricht. Mit einer Einbettung dieses komplexen Themengebietes in die Zeolith- und Molekularsieb-Thematik können neben einer Behandlung des Nachhaltigkeitsaspektes noch weitere bildungsplanrelevante Inhalte angeschnitten werden:

In einigen Bildungs- und Rahmenplänen wird die Thematisierung der Festkörpersäuren explizit gefordert. Durch dieses Modul können die unterschiedlichen Anwendungsbereiche der Zeolithe und Molekularsiebe vielfältig und schüleraktiv behandelt werden. In diesem Modul können außerdem mit den Kondensations-, Veresterungs- und Dehydrierungsreaktionen viele bildungsplanrelevante Reaktionen durchgeführt werden. Der Erfolg der synthetischen Arbeitsschritte wird anschließend durch eine geeignete Nachweisreaktion (Rojahn-Test) oder eine analytische Dünnschichtchromatographie nachgewiesen.

#### 3.2. Vorschlag zur Gestaltung des Unterrichts

Dieses Angebot umfasst insgesamt 11 Experimente. Die Durchführung aller Versuche würde mehr als einen Schultag in Anspruch nehmen. Aus diesem Grund sollen in diesem Abschnitt Anregungen gegeben werden, wie die Materialien und Experimente zu einer vollständigen Unterrichtseinheit miteinander kombiniert werden können. Die Vorschläge, die in diesem Abschnitt getätigt werden, sind keinesfalls bindend und können selbstverständlich umgewandelt werden.

Gestaltungsvorschlag: Zeolithe als hochselektive Katalysatoren

*Vorbereitung auf den experimentellen Teil:* Vorbereitend zum experimentellen Teil soll den Schülerinnen und Schülern die gesellschaftliche Relevanz der Thematik aufgezeigt werden. Hierfür werden die Schülerinnen und Schüler mit den Nachteilen von flüssigen, hochkonzentrierten Säuren konfrontiert, die bei säurekatalysierten Produktionsprozessen häufig Anwendung finden. Dazu stehen Arbeitsblätter bereit (vgl. beispielhaft 4.2.).

*Experimenteller Teil im Schülerlabor:* Im praktischen Teil lernen die Schülerinnen und Schüler zunächst Ionenaustauscher im allgemeinen kennen und führen anschließend unterschiedliche Synthesen durch, in denen Zeolithe anstelle von hochkonzentrierten Säuren eingesetzt werden (vgl. beispielhaft 4.2.).

*Reflexion des experimentellen Teils:* Nach dem experimentellen Teil soll das Gelernte abschließend gefestigt werden. Entsprechende Arbeitsblätter werden zur Verfügung gestellt.

## 4. Die Materialien

### 4.1. Allgemeines

Dieses Angebot umfasst 11 Experimente, die Zeolithe, Ionenaustauscher und Molekularsiebe in ihren jeweiligen Anwendungsbereichen thematisieren:

- Versuch 1: Eigenschaften von Ionenaustauschern
- Versuch 2: Reinigung von Abwässern
- Versuch 3a: Die Maillard-Reaktion
- Versuch 3b: Trennung von Aminosäuren
- Versuch 4a: Synthese eines Duftstoffes
- Versuch 4b: Anwendung von Fruchtsäureestern - Nachweis in Bonbons
- Versuch 5a: Synthese eines Farbstoffes
- Versuch 5b: Anwendung von Fluorescein - Identifizierung von Hornhautverletzungen
- Versuch 6a: Selektive Dehydratisierung von tert.-Butanol
- Versuch 7: Trocknung von Ethanol
- Versuch 8: Eigenschaften von Molekularsieben

Diese Experimente können sowohl in den Schülerlaboren in Bremen und Saarbrücken als auch – bei entsprechender Ausstattung – in der Schule durchgeführt werden. Neben den Experimenten und deren Versuchsvorschriften enthält das Angebot auch kopierfertige Arbeitsblätter für die Vor- und Nachbereitung der praktischen Experimentierphase.

Im folgenden Abschnitt werden beispielhaft ein Arbeitsblatt sowie eine Versuchsvorschrift dargestellt. Bei Interesse ist eine Handreichung zur Thematik verfügbar. Diese enthält neben allen kopierfertigen Materialien auch umfangreiche Hintergrundinformationen und weitere Vorschläge zur Einbindung der Experimente in den laufenden Unterricht.

## 4.2. Einblick in die Materialien

Name:	<b>Schwefelsäure verletzt sechs Arbeiter</b>	Datum:
-------	--	--------

**Bei Wartungsarbeiten ist in der vergangenen Woche in einem Betrieb im Industriepark konzentrierte Schwefelsäure ausgetreten. Sechs Mitarbeiter wurden verletzt. Nach außen drang nichts.**

Mit Hautreizungen im Gesicht und am Hals sind gestern sechs Arbeiter davongekommen. Um 8:25 Uhr war konzentrierte Schwefelsäure ausgetreten. "Das Sicherheitskonzept hat gegriffen. Alle sind sofort in die Dusche", bilanziert L. Müller, der Umweltleiter des Betriebes.

Zuvor hatten die Arbeiter sogar den Austritt der ätzenden Flüssigkeit noch stoppen können. "Es ist nichts in die Umwelt gelangt und der Vorfall war lokal begrenzt."

Die Schwefelsäure-Anlage einer Kapazität von 240 000 Tonnen war zum Zeitpunkt des Austritts für Wartungs- und Modernisierungsarbeiten stillgelegt. Diese finde alle paar Jahre statt. Die etwa einmonatige Betriebspause war kurz vor dem Abschluss. "Jetzt ist dummerweise auch das noch passiert", sagt Müller. Trotzdem solle die Anlage in den kommenden Tagen wieder hochgefahren werden. "Sie hat keinen Schaden genommen."

Bei Schwefelsäure handelt es sich um die meist produzierte Chemikalie der Welt. Sie dient als Grundlage für viele Produkte\*.



In industriellen Prozessen wird häufig konzentrierte Schwefelsäure als Katalysator eingesetzt.

### Aufgaben:

1. Erkläre, was bei dem beschriebenen Unfall passiert ist
2. Stelle Vermutungen an, was hätte passieren können, wenn die Arbeiter den austritt der ätzenden Flüssigkeit nicht verhindert hätten.
3. Recherchiere, bei welchen industriellen Prozessen konzentrierte Schwefelsäure eingesetzt wird.

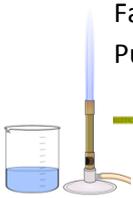
\* **Hintergrundinformation:** Konzentrierte Schwefelsäure wird vor allem bei Säure-katalysierten Produktionsprozessen benötigt. Diese Form der katalysierten Synthesen ist in der chemischen Industrie –die wichtigste Form der Katalyse. Säurekatalysierte Reaktionen mit flüssigen Säuren führen allerdings zu mehreren Nachteilen. Zum einen werden zumeist konzentrierte Säuren als Katalysatoren eingesetzt. Konzentrierte Säuren stellen für die Menschen, die mit diesen arbeiten müssen, eine potenzielle Gefahr durch Verätzung. Ein weiteres, erhebliches Problem ist die Entsorgung der verwendeten Säuren. Die entstehenden, großen Mengen an Mineralsäuren stellen eine ernstzunehmende Umweltbelastung dar.

Versuch 1: Eigenschaften von Ionenaustauschern



Aufgabe: Entwickle ein Experiment, mit dessen Hilfe du entscheiden kannst, ob ein Ionenaustauscher Anionen oder Kationen ersetzt. Vervollständige außerdem die nachstehende Versuchsbeschreibung.

Für den Versuch stehen dir drei kleine Bechergläser, ein Büchnertrichter, eine Nutsche, eine Saugflasche, zwei Trichter, ein Glasstab, Filterpapier, der kationische Farbstoff Methylenblau (1%ige Lösung), zwei farblose Pulver-Ionenaustauscher und dest. Wasser zur Verfügung.



Sicherheit:  
Trage eine Schutzbrille!



**Anionische und kationische Farbstoffe**

Kationische Farbstoffe zeichnen sich dadurch aus, dass sie in wässriger Lösung eine positive Ladung aufweisen. Beim Färben von Fasern koppeln diese an saure Gruppierungen.

Anionische Farbstoffe zeichnen sich dadurch aus, dass sie in wässriger Lösung eine negative Ladung aufweisen. Beim Färben von Fasern koppeln diese an basische Gruppierungen.

Materialien:

---

---

---

---

---

---



Versuchsaufbau/Skizze: