

# Das Fahrrad – im Notfall hilft Chemie

Ein Beitrag von Dennis Dietz



© philipimage/iStock/Getty Images Plus

Fahrräder sind ein wichtiges Fortbewegungsmittel für die Schülerinnen und Schüler. Viele fahren mit dem Fahrrad zur Schule. Gerade in Großstädten sind sie dabei aktive Verkehrsteilnehmer, und das Unfallvermeidung und Schutzmaßnahmen im Straßenverkehr eine wichtige Rolle spielen. Erarbeiten Sie mit Ihrer Klasse interessante Aspekte, in denen die Chemie dazu beiträgt, um Fahrradfahrerinnen und Fahrradfahrer zu schützen, vor unangenehmen Situationen zu bewahren und sogar das Radfahren zu erleichtern. Hierfür stehen Ihnen eine Vielzahl von Aufgaben zur Verfügung, die Themenbereiche wie die chemische Reaktion, die Kunststoffe oder die Elektrochemie abdecken.

## Impressum

RAABE UNTERRICHTS-MATERIALIEN Chemie Sek. I/II

Das Werk, einschließlich seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Es ist gemäß § 60b UrhG hergestellt und ausschließlich zur Veranschaulichung des Unterrichts und der Lehre an Bildungseinrichtungen bestimmt. Die Dr. Josef Raabe Verlags-GmbH erteilt Ihnen für das Werk das einfache, nicht übertragbare Recht zur Nutzung für den persönlichen Gebrauch gemäß vorgenannter Zweckbestimmung. Unter Einhaltung der Nutzungsbedingungen sind Sie berechtigt, das Werk zum persönlichen Gebrauch gemäß vorgenannter Zweckbestimmung in Klassensatzstärke zu vervielfältigen. Jede darüber hinausgehende Vervielfältigung ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Hinweis zu §§ 60a, 60b UrhG: Das Werk oder Teile hiervon dürfen nicht ohne eine solche Einwilligung an Schulen oder in Unterrichts- und Lehrmitteln (§ 60b Abs. 2 UrhG) vervielfältigt, insbesondere kopiert oder eingescannt, verbreitet oder in ein Netzwerk eingestellt oder sonst öffentlich zugänglich gemacht oder wiedergegeben werden. Dies gilt auch für den Einsatz von Schulen und sonstigen Bildungseinrichtungen. Die Aufführung abgedruckter musikalischer Werke ist ggf. GEMA-messpflichtig.

Für jedes Material wurden Fremdrechte recherchiert und ggf. angefragt.

In unseren Beiträgen sind wir bemüht, die Experimente nötigen Substanzen mit den entsprechenden Gefahrenhinweisen zu kennzeichnen. Dies ist eine freiwillige Service. Dennoch ist jeder Experimentator selbst angehalten, sich vor der Durchführung der Experimente genauestens über das Gefährdungspotenzial der verwendeten Stoffe zu informieren, die nötigen Vorsichtsmaßnahmen zu ergreifen sowie alles persönlich sorgfältig zu tun. Es gelten die Vorschriften der Gefahrstoffverordnung sowie die Dienstvorschriften der Schulbehörde.

Dr. Josef Raabe Verlag GmbH  
Ein Unternehmen der Klever Gruppe  
Rotebühlstraße 77  
70178 Stuttgart  
Telefon +49 711 62900-0  
Fax +49 711 62900-60  
meinRAABE@raabe.de  
www.raabe.de

Redaktion: Bugra Bozan  
Satz: RÖTTNER MEDIA GmbH & Co. KG, Karlsruhe  
Bildnachweis Titel: © philipimage/iStock/Getty Images Plus  
Konzept: Dr. Josef Mayer

# Das Fahrrad – im Notfall hilft Chemie

Autor: Dennis Dietz

---

## Methodisch-didaktische Hinweise

---

M 1: Airbags für den Kopf	3
M 2: Was tun gegen platte Reifen?	8
M 3: Elektrofahrräder – wenn es schneller gehen muss	12
Lösungen	15
Literatur	24

---

VORANSICHT

## Kompetenzprofil

<b>Niveau</b>	vertiefend
<b>Fachlicher Bezug</b>	Elektrochemie, Kunststoffe
<b>Methode</b>	Einzelarbeit, Partnerarbeit, Klausuraufgaben
<b>Basiskonzepte</b>	Konzept der chemischen Reaktion, Struktur-Eigenschaft-Basiskonzept
<b>Erkenntnismethoden</b>	Größen unter Verwendung eines Modells berechnen
<b>Kommunikation</b>	ein Fließschema erstellen
<b>Bewertung/Reflexion</b>	Vor- und Nachteile von Elektrofahrzeugen diskutieren, Kriterien für die Verwendung eines Kunststoffes formulieren
<b>Inhalt in Stichworten</b>	Airbags, Kaltgasgenerator, pyrotechnischer Gasgenerator, Nitroimid-5, 5-Dinitotetrazol, Nitrocellulose, Redoxreaktion, Reifendichtungsmittel, Polyaddition, Kolophonium, Polyurethane, Lithium-Ionen-Akkus, Polymerisation, Pelelecs, E-Bikes

### Überblick:

Legende der Abkürzungen:

**AB** Arbeitsblatt    **TX** Text    **ÜA** Übungsaufgaben

Thema	Material	Methode
Airbags für den Kopf	M 1	AB, TX, ÜA
Was tun gegen platten Reifen?	M 2	AB, TX, ÜA
Elektronenräder – wann es schneller gehen muss	M 3	AB, TX, ÜA

# Das Fahrrad – im Notfall hilft Chemie

## Methodisch-didaktische Hinweise

Fahrräder sind ein wichtiges Fortbewegungsmittel für die Schülerinnen und Schüler. Viele fahren mit dem Fahrrad zur Schule. Gerade in Großstädten sind Schüler dabei aktive Verkehrsteilnehmer, sodass die Unfallvermeidung und Schutzmaßnahmen wie Airbags im Straßenverkehr eine wichtige Rolle spielen. Dazu stellen Airbags vielleicht eine interessante Alternative dar (**M 1**). Für Fahrradfahrer bzw. Fahrradfahrerinnen sind platte Fahrradreifen ein leidiges Thema. Wie in einem solchen Fall ein Chemie-Thema helfen kann, ist Thema des Materials **M 2**. Die Elektrobranche erfährt aktuell in Deutschland einen Boom. So können immer mehr Elektrofahrräder auf den Straßen beobachtet werden (**M 3**). Dieser Beitrag mit dem Thema „Das Fahrrad – im Notfall hilft Chemie“ eignet sich also für eine materialgestützte Lernaufgabe im Sinne des Unterrichtsansatzes Chemie im Kontext.

In der Lernaufgabe werden Kompetenzen aus allen vier Kompetenzbereichen gefördert. Die Anwendung des Konzepts der chemischen Reaktion (u. a. zur Formulierung der Redoxreaktion bei Airbags, **M 1**) sowie des Struktur-Eigenschaft-Basiskonzepts (u. a. für die Erklärung, weshalb 1,2-Ethanediol ein geeignetes Lösungsmittel für ein Reifendichtungsmittel ist, **M 2**) sind dem Kompetenzbereich Fachwissen zuzuordnen. Der Kompetenzbereich der Kommunikation wird dadurch berücksichtigt, dass im Material **M 1** ein Fließschema erstellt werden muss. Der Wechsel der Darstellungsebene – also der Wechsel von einem Fließtext zu einer Abbildung – ist eine typische Kompetenz aus diesem Kompetenzbereich. Der Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung wird dadurch gefördert, dass die Schülerinnen und Schüler durch die Anwendung mathematischer Modellrechnungen die notwendige Masse eines Treibstoffes berechnen, der für das Aufblasen eines funktionierenden Airbags benötigt wird. Auch der Kompetenzbereich der Bewertung wird berücksichtigt. Im Zusammenhang mit der zunehmenden Anzahl an Elektrofahrrädern sollen die Schülerinnen und Schüler Vor- und Nachteile dieser Technologie kritisch diskutieren (**M 3**). Außerdem sollen Kriterien für die Eignung eines Kunststoffes

als Füllmaterial eines Fahrradreifens formuliert werden, der durch die Füllung dadurch „unplattbar“ wird.

Mit den Arbeitsaufträgen kann flexibel umgegangen werden. So können einzelne Aufgaben herausgenommen und als Hausaufgabe erteilt werden. Einzelne Materialien inklusive derer Aufgaben eignen sich auch als Klausuraufgaben.

Als zeitlicher Rahmen für diese Aufgabe werden 135 Minuten empfohlen, wenn alle drei Materialien verwendet werden sollen. Diese Zeitempfung variiert mit der Stärke Ihrer Lerngruppe, die Sie besser einschätzen können.

VORANSICHT

## M 1 Airbags für den Kopf

Zwischen 2017 und 2019 starben monatlich zwischen 200 und 350 Menschen in Deutschland bei Verkehrsunfällen. Die meisten Verletzten im Straßenverkehr sitzen in Pkws. Die zweitmeisten Verletzten sind bereits Fahrradfahrer, gefolgt von Motorradfahrern und Fußgängern. Diese wenigen Zahlen zeigen, dass Sicherheitsmaßnahmen für den Straßenverkehr dringend erforderlich sind. Für die Unfallprävention sind sicherlich eine gute Ausbildung und eine angemessene Kontrolle der Verkehrsteilnehmer/innen wichtig. Unfälle werden sich jedoch auch in Zukunft nicht vermeiden lassen. Daher sollten Schutzmaßnahmen getroffen werden, um das Leben angemessen zu schützen.

Der erste Hersteller für Fahrradzubehör bietet nun einen speziellen Airbag für den Schutz des Kopfbereichs an. Ein Sensor registriert dabei permanente Bewegungsabläufe des Radfahrers bzw. der Fahrradfahrerin. Kommt es zu einer unnatürlichen ruckartigen Bewegung – wie bei einem Unfall –, dann bläst sich der Airbag innerhalb von 0,1 Millisekunden auf und schützt den Kopf und das Gesicht. Dazu wird der Airbag während des Fahrradfahrens um den Kragen gelegt. Wenn er sich aufpustet, dann legt er sich durch seine Form automatisch um den Kopf des Fahrradfahrers/der Fahrradfahrerin. Laut Herstellerangaben hat eine Studie der Stanford University ergeben, dass dieser Kopfschutz achtmal sicherer als ein normaler Fahrradhelm ist. Im Unterschied zu einem normalen Fahrradhelm muss der Akku, der den Sensor des Airbags betreibt, regelmäßig aufgeladen werden. Ein Airbag setzt innerhalb einer sehr kurzen Zeitspanne große Mengen an Gas frei, um funktionsfähig zu sein. Aus Sicht des Chemikers bzw. der Chemikerin stellt sich nun die Frage, wie ein solcher Airbag nun eigentlich funktioniert.

Bei Airbags unterscheidet man zwischen sogenannten Kaltgasgeneratoren und pyrotechnischen Gasgeneratoren. Der Fahrradairbag ist ein Kaltgasgenerator. In einem Kaltgasgenerator ist ein reines Gas (in der Regel ein Edelgas) unter Hochdruck (in der Regel 500–1200 bar) gespeichert. Wenn der Airbag durch den Sensor ausgelöst wird, dann wird eine Membran zerstört, sodass sich das Gasgemisch schlagartig ausdehnen kann. Für Berechnungen bezüglich des Volumens von Gasen kann das ideale Gasgesetz verwendet werden.

Dieses lautet:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

p: Druck, V: Volumen, n: Stoffmenge, R: allgemeine Gaskonstante (8,314 J/(mol · K)),  
T: Temperatur

Die Gleichung zeigt, dass das Volumen eines Gases proportional zu seiner Stoffmenge und zur Temperatur ist. Das bedeutet also: Je mehr Gas vorhanden und je wärmer es ist, desto mehr Volumen nimmt ein Gas ein. In Bezug auf den Druck liegt ein antiproportionaler Zusammenhang vor. Je höher der Druck ist, desto kleiner ist das Volumen des Gases. Wenn die Schutzmembran im Airbag nun schlagartig zerstört wird, dann ist das Gas nicht mehr unter hohem Druck gespeichert, sondern es gilt der umgebende (kleinere) Luftdruck. Das Gas dehnt sich also schlagartig aus und expandiert.

Laut Herstellerangaben verwendet der Fahrradairbag das Edelgas Helium. Das ideale Gasgesetz geht bei seiner Herleitung davon aus, dass die einzelnen Gasteilchen nicht miteinander wechselwirken und kein Eigenvolumen besitzen. Diese Annahmen sind näherungsweise für die Edelgase erfüllt. Dennoch wird das ideale Gasgesetz auch häufig für andere Gase verwendet. Hierbei muss beachtet werden, dass dann nur fehlerbehaftete Näherungsrechnungen möglich sind.

In Pkws werden dagegen in der Regel pyrotechnische Gasgeneratoren verwendet. Diese enthalten eine Anzündeinheit mit einem Festtreibstoff. Während eines Unfalls nimmt der Sensor ein dafür typisches Signal wahr und sendet einen elektrischen Strom in die Anzündeinheit. Hierbei wird eine Kettenreaktion ausgelöst, bei der am Ende der Festtreibstoff gezündet wird. Wird der Festtreibstoff gezündet, dann setzt er durch seine Verbrennung schlagartig große Mengen an Gas frei. Das Gas passiert dabei zunächst noch einen groben Metallfilter, um größere Partikel zurückzuhalten, die den Airbag beschädigen könnten. In den früheren Airbagsystemen mit pyrotechnischen Gasgeneratoren wurden Natriumazid oder Nitrocellulose verwendet (Abbildungen M 1.1 und M 1.2).

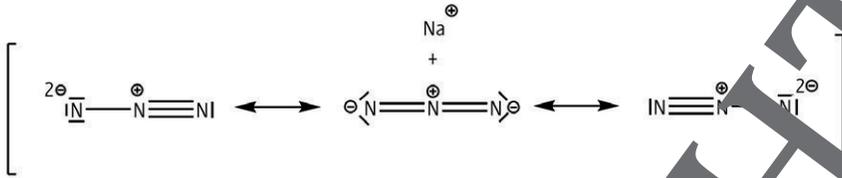


Abbildung M 1.1: Natriumazid in dissoziierter Form – früher verwendet in pyrotechnischen Gasgeneratoren

Wenn Natriumazid erhitzt wird, zersetzt es sich ab einer Temperatur von 300 °C in Natrium und Stickstoff. Der entstehende Stickstoff bläst den Airbag auf. Das entstehende Natrium wird durch Zusätze in das harmlosere Natriumoxid überführt. Als Zusatz wird dafür Kaliumnitrat genutzt. Weitere Zusätze sind Eisen(III)-oxid und Siliciumdioxid. Das Eisenoxid hat die Funktion, die Verbrennungstemperatur zu senken, damit das Gasgemisch nicht zu heiß in den Airbag gelangt. Das Siliciumdioxid dient als Schlackefänger, an dem die entstehenden Feststoffreste haften können. Eine idealisierte Reaktionsgleichung lautet damit:

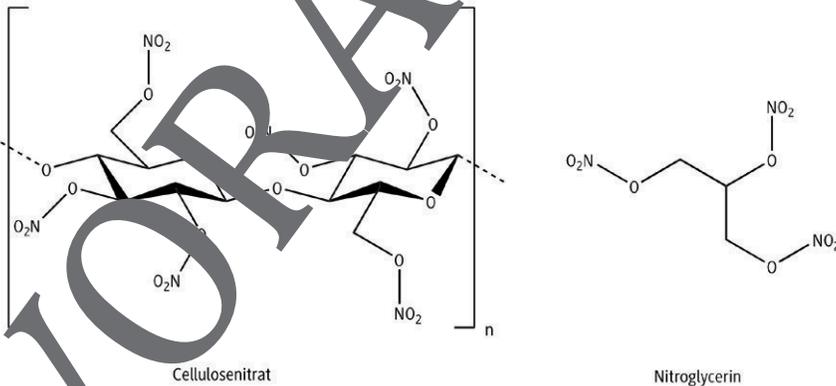
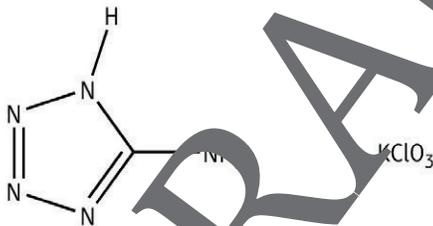


Abbildung M 1.2: Weitere Edukte in einem pyrotechnischen Gasgenerator

Eine weitere klassische Treibstoffmischung besteht aus Cellulosenitrat und Nitroglycerin. Bereits 1875 stellte Alfred Nobel die sogenannte Sprenggelatine her – ein Gemisch aus Nitroglycerin und Cellulosenitrat (Schießbaumwolle). Cellulosenitrat verbrennt nach seiner Entzündung auch in Abwesenheit von Sauerstoff unter Bildung von Kohlenstoffdioxid, Kohlenstoffmonoxid, Wasserdampf und Stickstoff. Dabei bildet es keinen Rauch. Auch das Nitroglycerin bildet im Zuge der Sprengung Gase. Es werden Kohlenstoffdioxid, Wasserdampf, Stickstoff und Stickstoffmonoxid gebildet. Prinzipiell ist Nitroglycerin als Sprengstoff sehr empfindlich gegenüber mechanischen Stößen. Durch die Erfindung der Sprenggelatine wurde Nitroglycerin erst praktisch handhabbar. Durch weitere Zusätze wie Campher kann es sogar so stabilisiert werden, dass es nicht mehr durch Erhitzen zur Explosion gebracht werden kann.

Ein großer Nachteil der beiden genannten frühen Treibstoffmischungen ist, dass zu viele giftige Gase wie Stickoxide und Kohlenstoffmonoxid sowie weitere giftige Feststoffe gebildet werden. So ist das Natriumazid bereits als Edukt toxisch. Daher werden in modernen Treibstoffmischungen andere Edukte verwendet. Eine moderne Variante stellt die Kombination von 5-Aminotetrazol und Kaliumchlorat dar (Abbildung M 1.3).



5-Aminotetrazol

Kaliumchlorat

Abbildung M 1.3: Edukte für einen modernen pyrotechnischen Gasgenerator

Durch das Erhitzen zerfällt zunächst das Kaliumchlorat. Dabei werden Kaliumchlorid, Kaliumperchlorat ( $\text{KClO}_4$ ) und Sauerstoff gebildet. Der gebildete Sauerstoff reagiert anschließend mit dem 5-Aminotetrazol. Die Reaktionsprodukte dieser Verbrennung sind Stickstoff, Kohlenstoffmonoxid, Wasserdampf und Stickstoffoxide (wie beispielsweise Stickstoffdioxid). Im Gegensatz zum Natriumazid werden weniger umwelttoxische Reaktionsprodukte gebildet.

## Aufgaben

1. **Stellen** Sie die Funktionsweise eines Fahrradairbags in einem Fließschema dar.
2. **Berechnen** Sie, um welchen Faktor sich ein Gas in einem Kaltgasgenerator bei Raumtemperatur ausdehnt, wenn es vor der Auslösung des Airbags bei 100 bar gespeichert war.
3. **Erläutern** Sie, weshalb das ideale Gasgesetz für Gase wie Stickstoff und Sauerstoff nur in erster Näherung genaue Volumenberechnungen ermöglicht.
4. **Formulieren** Sie eine Reaktionsgleichung für das Zünden von Natriumazid in einem pyrotechnischen Gasgenerator (unter der Annahme, dass keine weiteren Zusätze vorhanden sind).
5. **Berechnen** Sie, welche Masse an Natriumazid in einem Airbag unter Standardbedingungen gezündet werden muss, um einen 60-l-Airbag zu füllen.
6. **Zeigen** Sie in der Strukturformel von Cellulosenitrat, woran man erkennt, dass es sich um Cellulose als Grundeinheit handelt.
7. **Formulieren** Sie die Reaktionsgleichungen für das Zünden einer Treibstoffmischung aus 5-Aminotetrazol und Kaliumchlorat. Begründen Sie mithilfe des Donator-Akzeptor-Konzepts den Reaktionstyp.

## **Dieses Werk ist Bestandteil der RAABE Materialien**

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Es ist gemäß §60b UrhWissG hergestellt und ausschließlich zur Veranschaulichung des Unterrichts und der Lehre an Bildungseinrichtungen bestimmt. Die Dr. Josef Raabe Verlags-GmbH erteilt Ihnen für das Werk das einfache, nicht-übertragbare Recht zur Nutzung für den persönlichen Gebrauch gemäß vorgenannter Zweckbestimmung. Unter Einhaltung der Nutzungsbedingungen sind Sie berechtigt, das Werk zum persönlichen Gebrauch gemäß vorgenannter Zweckbestimmung herunterzuladen, zu speichern und in Kopiersatzform zu drucken. Jede darüber hinausgehende Nutzung sowie die Nutzung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlags. Hinweis zu §§ 60a, 60b UrhG: Das Werk oder Teile hiervon dürfen nicht ohne eine solche Einwilligung an Schulen oder in Unterrichts- und Lehrmedien (§ 60b Abs. 3 UrhG) vervielfältigt, insbesondere kopiert oder eingescannt, verbreitet oder in ein Netzwerk eingestellt oder sonst öffentlich zugänglich gemacht oder wiedergegeben werden. Dies gilt auch für Contracts von Schulen und sonstigen Bildungseinrichtungen. Die Aufführung abgedruckter musikalischer Werke ist ggf. GEMA-meldepflichtig. Darüber hinaus sind Sie nicht berechtigt, Copyrightvermerke, Markenzeichen und/oder Eigentumsangaben des Werks zu verändern.

## Der RAABE Webshop: Schnell, übersichtlich, sicher!



### Wir bieten Ihnen:



Schnelle und intuitive Produktsuche



Übersichtliches Kundenkonto



Komfortable Nutzung über  
Computer, Tablet und Smartphone



Höhere Sicherheit durch  
SSL-Verschlüsselung

**Mehr unter: [www.raabe.de](http://www.raabe.de)**