

**Sozialform:** Partnerarbeit**Methode:** Experiment

Diese Station enthält ein Experiment.

- Achte auf **Ordnung und Sauberkeit** am Arbeitsplatz.
- **Räume** die Station wieder **auf**, wenn du fertig bist und reinige alle Geräte.
- Trage eine **Schutzbrille**.
- Trage bei diesem Versuch **Schutzhandschuhe**.



### Informationen:

Die meisten historischen Denkmäler wurden vor langer Zeit errichtet und haben die ersten Jahrhunderte nach ihrer Erbauung recht passabel überstanden. In den letzten 50 Jahren jedoch bereitet ihnen der saure Regen regelrecht Kopfschmerzen: Viele Skulpturen und Büsten aus Sand- und Kalkstein haben durch die Einwirkung des sauren Niederschlages ihre Kontur verloren, was sich besonders stark an den detailreichen Köpfen der Plastiken zeigt.

Zwar war der Regen mit einem pH-Wert von 5,6 schon immer leicht sauer, da sich ein Teil des natürlich entstehenden Kohlenstoffdioxids im Regenwasser unter Bildung von Kohlensäure löst, jedoch hat sich der pH-Wert des Regens in den letzten Jahrzehnten weiterhin verringert. Besitzt Regen einen pH-Wert unter 5,6 gilt er als sauer. Dabei können Tiefstwerte von bis zu  $\text{pH} = 4,2$  erreicht werden. Durch die Verbrennung von fossilen Brennstoffen in Fabriken oder Verbrennungsmotoren werden vermehrt Schwefeldioxid und Schwefeltrioxid ausgestoßen, welche sich unter Bildung von schwefliger Säure und Schwefelsäure im Regenwasser lösen können. Ebenso können dabei Stickstoffoxide entstehen, die sich auch im Regen lösen und dessen pH-Wert herabsetzen. Auch andere Stoffe wie etwa flüchtige organische Substanzen oder Schwermetallstäube können durch den Regen ausgewaschen und in den Boden eingetragen werden.



## Aufgabe:

- a) Lies den Infotext „Saurer Regen“ und entwirf mit einer Partnerin oder einem Partner ein Experiment, mit dem du die Wirkung von saurem Regen auf Kalkgestein (sog. „Carbonatgestein“) untersuchen kannst. Gib für dein Experiment (1) Geräte und Chemikalien, (2) die Durchführung und (3) Beobachtungen an.
  - b) Werte dein Experiment aus und diskutiere, inwieweit diese in der Lage ist, die Wirkung von saurem Regen auf Denkmäler zu simulieren.
  - c) Erstellt eine Übersicht über weitere Auswirkungen von saurem Regen auf andere Teile der Umwelt.
- 

## Brauchst du Hilfe?

Zur Bearbeitung der Teilaufgabe a) steht eine Liste von Geräten und Chemikalien bereit, die ihr zur Planung eures Experimentes nutzen könnt.

Solltet ihr Probleme bei der Teilaufgabe b) haben, könnt ihr zunächst die Aufgabe 3 zu den Neutralisationsreaktionen der Spalte „Reaktionen von Säuren und Basen“ lösen.



## Hilfen für die Station A5: Saurer Regen

Liste der Geräte und Chemikalien zur Planung des Experimentes in Teilaufgabe a)

Geräte und Chemikalien:	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Schutzkleidung</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Universalindikatorpapier</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Reagenzglasständer</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• schweflige Säure</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Reagenzglas</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• salpetrige Säure</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Becherglas</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mineralwasser mit Sprudel</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Tropfpipette</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Wasser</li></ul>
	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kalkstein</li></ul>



## Musterlösung für die Station A5: Saurer Regen

### Teilaufgabe a)

Die Schüler\*innen erstellen eine saure Lösung, die dem sauren Regen in Zusammensetzung und pH-Wert nachempfunden ist.

(1) Geräte und Chemikalien:

• Schutzkleidung	• Universalindikatorpapier
• Reagenzglasständer	• schweflige Säure
• Reagenzglas	• salpetrige Säure
• Becherglas	• Mineralwasser mit Sprudel
• Tropfpipette	• Wasser

(2) Durchführung:

1. Zunächst wird in einem Becherglas eine saure Lösung erstellt, indem schweflige Säure, salpetrige Säure und Sprudelwasser mit Wasser verdünnt werden. Dabei wird mithilfe eines Universalindikatorpapiers bei der Verdünnung überprüft, wann die Lösung einen pH-Wert zwischen 4 und 5 erreicht hat. Dabei ist darauf zu achten, dass erst das Wasser und dann die Säure in das Becherglas gegeben werden.
2. Anschließend wird der Kalkstein in das Reagenzglas geben und mithilfe der Tropfpipette mit der sauren Lösung beträufelt.
3. Anschließend wird der Kalkstein mit Wasser neutral gewaschen und mit zwei Fingern Druck auf ihn ausgeübt. Dies kann mit einem unbehandelten Kalksteinstück als Referenzprobe durchgeführt werden.

(3) Beobachtung:

- nach Zugabe der Säure kann eine leichte Gasentwicklung beobachtet werden
- nach längerer Säurebehandlung ist der Kalkstein porös geworden

### Teilaufgabe b)

Die im Versuch beobachtete Gasentwicklung ist auf die Reaktion des Kalksteines mit den Wasserstoffionen der sauren Lösung zurückzuführen. Bei dieser Reaktion entsteht Wasser und Kohlenstoffdioxid, welches in Form kleiner Gasblasen an die Oberfläche steigt. Mit zunehmender Reaktionsdauer nimmt die Intensität der Gasentwicklung ab, da die Wasserstoffionen abreagieren. Nach der Säurebehandlung kann der Kalkstein leicht zwischen zwei Fingern zerdrückt werden, da die Reaktion des Kalksteins mit der sauren Lösung das Entstehen eines porösen Kalksteinsystems zur Folge hatte.

Die Reaktionsgleichung lautet: 
$$\text{CaCO}_3 + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O} + \text{Ca}^{2+}$$

Schüler\*innen dieses Bearbeitungsniveaus sollten feststellen, dass mithilfe des Experimentes nachvollzogen werden kann, dass Säuren mit Kalkstein unter Bildung von Kohlenstoffdioxid reagieren und diesen zersetzen. So kann die Wirkung des sauren Regens zwar qualitativ, nicht



aber quantitativ nachvollzogen werden. Zum einen variiert der pH-Wert regional und erreicht vornehmlich in Ballungs- und Industriezentren einen pH-Wert von 4,2. Zum anderen werden die Reaktionsbedingungen zwischen dem sauren Niederschlag und dem Gestein im Experiment nicht realitätsgetreu abgebildet. Während das Carbonatgestein im Versuch ständig von einer großen Menge Säure umgeben ist, kommt das Gestein von Denkmälern in der Regel nur kurz mit dem Niederschlag in Kontakt. Dies kompensiert auch das „Nachregnen“ von saurem Niederschlag auf das Gestein nicht. In diesem Kontext kann weiterhin angebracht werden, dass die Kontaktoberfläche im Experiment vergleichsweise groß ist und die gesamte Oberfläche des Kalksteins von der sauren Lösung angegriffen werden kann. Dies entspricht ebenso nicht der Realität, da viele Denkmäler glatte Oberflächen aufweisen. Schließlich kann angeführt werden, dass nicht alle Denkmäler restlos als Kalkstein bestehen und sich die Säurebeständigkeit des Materials auch durch Einlagerung von Fremdatomen stark unterscheiden kann.

Weitere Interpretationsgrenzen des Versuches sind je nach Entwurf des Experimentes denkbar.

### Teilaufgabe c)

Bei der Bearbeitung dieser Aufgabe sind verschiedene Darstellungsformen denkbar. Beispielsweise könnten die Schüler\*innen in einer vereinfacht dargestellten Umwelt verschiedene Eintragswege beschriften und die Folgen für die jeweiligen Teile der Umwelt ergänzen. Im einfachsten Fall erstellen die Schüler\*innen eine Mindmap und zeigen anhand dieser weitere durch sauren Regen hervorgerufene Schäden auf.

Neben der bereits thematisierten Verwitterung von Denkmälern aus Kalkstein, ist ebenso der Eintrag von giftigen, flüchtigen organischen Substanzen (sog. VOCs) für die belebte Umwelt problematisch. Diese toxischen Substanzen werden durch den Niederschlag ausgewaschen und sind nicht per se für alle Organismen schädlich, können aber durch den Wegfall wichtiger Glieder der Nahrungsketten ein Ökosystem nachhaltig schädigen. Ebenfalls können (Metall-) Stäube ausgewaschen und in die Umwelt eingetragen werden.

Nicht nur Substanzen, die durch den sauren Regen transportiert werden führen zu Umweltschäden. Der niedrige pH-Wert des Regens selbst sorgt ebenfalls für Schädigung oder gar Absterben von empfindlichen Pflanzen. So kann beispielsweise in Gebieten mit besonders saurem Regen ein flächendeckendes Fichtensterben beobachtet werden. Auch Lebewesen in Gewässern leiden unter saurem Regen, da durch den Niederschlag der pH-Wert von Gewässern herabgesetzt wird, worauf die Lebewesen außerordentlich empfindlich reagieren. Weiterhin werden durch einen niedrigen pH-Wert (Schwer-) Metallionen aus dem Boden gelöst, was ebenfalls zu Artensterben führen kann.

Der Wegfall einer Art in einem Ökosystem wirkt sich immer auf das gesamte Ökosystem aus, sodass nicht nur die direkten Folgen des sauren Regens betrachtet werden sollten.

