

# 5 Mineralsalze – Düngung – Boden

## 5.13 Durchblick Zusammenfassung und Übung

### Zu den Aufgaben

**A1** Beispiel-Lösung: Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Kalium

*Hinweis:* Die 17 für Pflanzen essenziellen Elemente sind im Schülerbuch-Kapitel 5.2 in der Randspalte genannt.

**A2** Um zu untersuchen, ob das Element Magnesium essenziell ist, werden Pflanzen der zu untersuchenden Art in Hydrokulturen gezogen. Für einen Teil der Pflanzen (Vergleichspflanzen) wird ein Vollmedium hergestellt, das alle bisher als essenziell ermittelten Elemente in einer für die Pflanze verwertbaren Form und im richtigen Verhältnis zueinander enthält. Für einen anderen Teil der Pflanzen (Testpflanzen) wird ein Kulturmedium eingesetzt, das mit dem der ersten Gruppe weitgehend übereinstimmt, allerdings fehlt das zu testende Element Magnesium. Wenn beide Pflanzengruppen in gleicher Weise wachsen, dann gehört das Magnesium nicht zu den essenziellen Elementen. Wenn aber die Testpflanzen Mangelerscheinungen zeigen, z. B. geringeres Wachstum oder unnatürlich gefärbte Blätter, kann man daraus schließen, dass Magnesium essenziell für diese Pflanzenart ist.

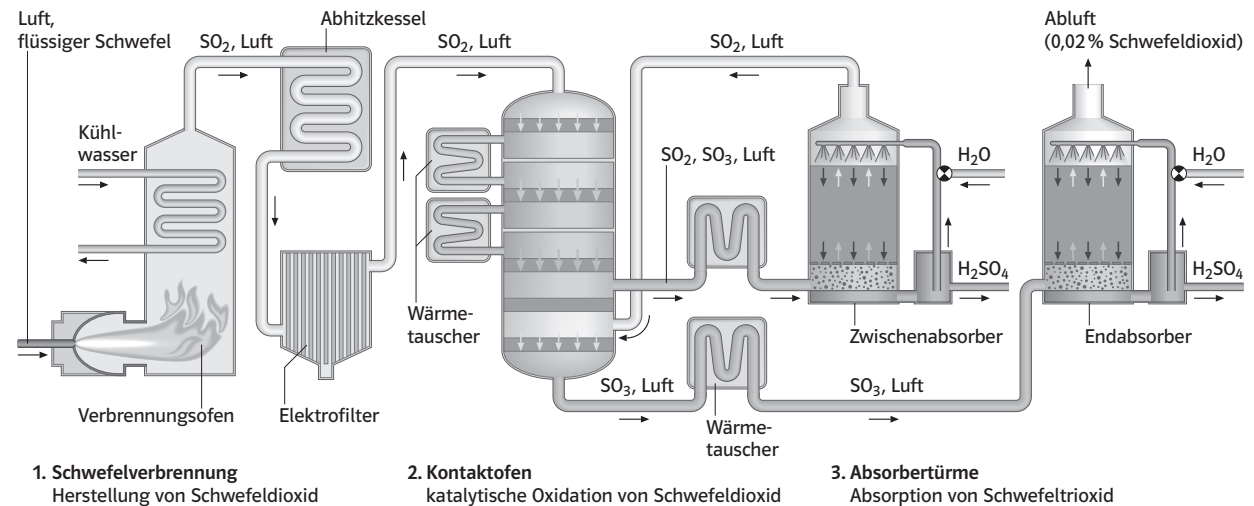
**A3** Zur Herstellung von Schwefelsäure gibt es zahlreiche Beschreibungen in der Literatur und im Internet. Die folgenden Quellen (Stand Juni 2014) bieten eine gute Darstellung:

<http://www.seilnacht.com/Lexikon/Doppelko.htm>

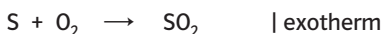
<http://www.chemgapedia.de> (Suchbegriff: „Kontaktverfahren zur Schwefelsäureherstellung“)

Die folgende Beschreibung des Kontaktverfahrens ist ein Auszug aus dem Schülerbuch „Elemente Chemie 2“ (Klett-Nr. 756830).

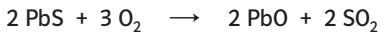
Schwefelsäure wird in drei Stufen nach dem *Kontaktverfahren* gewonnen. „Kontakt“ ist die ältere technische Bezeichnung für Katalysator.



**1. Stufe: Gewinnung von Schwefeldioxid.** Der wichtigste Ausgangsstoff für die Schwefelsäuresynthese ist Schwefel, der in *Schwefellagerstätten* abgebaut wird oder bei der Entschwefelung von Erdöl und Erdgas anfällt. Der Schwefel wird zunächst in einem Ofen geschmolzen, dann mit Luft zerstäubt und zu Schwefeldioxid verbrannt:



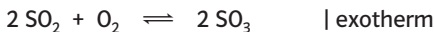
Schwefeldioxid fällt auch als Nebenprodukt bei der Gewinnung von Metallen beim Rösten (Erhitzen unter Luftzufuhr) von sulfidischen Erzen an. Hierbei werden u.a. Kupfer-, Zink- und Bleisulfide eingesetzt:



Damit das beim Rösten anfallende, sehr giftige Schwefeldioxid nicht in die Umwelt gelangt, sind den Metallhütten Schwefelsäureanlagen zur sinnvollen Verwendung des Schwefeldioxids angeschlossen. Der größte Teil der in Deutschland erzeugten Schwefelsäure wird jedoch durch Verbrennung von Schwefel gewonnen.

Die Verbrennung von Schwefel ist stark exotherm. Nach der Verbrennung wird deshalb das Gemisch von Schwefeldioxid und Luft gekühlt. Anschließend erfolgt ein gründlicher Reinigungsprozess (elektrostatische Filtration), um Fremdstoffe zu entfernen, die mit dem Katalysator reagieren und ihn dadurch unwirksam machen können (Katalysatorgifte). Das getrocknete Schwefeldioxid-Luft-Gemisch wird dann in einen *Kontaktofen* geleitet, in dem der entscheidende Verfahrensschritt erfolgt.

**2. Stufe: Katalytische Oxidation von Schwefeldioxid.** Die Oxidation von Schwefeldioxid zu Schwefeltrioxid ist eine exotherme Gleichgewichtsreaktion:



Für eine hohe Schwefeltrioxidausbeute müsste man niedrige Temperaturen ( $< 400^\circ\text{C}$ ) einhalten. Damit würde jedoch die Reaktionsgeschwindigkeit zu niedrig. Mithilfe eines Katalysators lässt sich die Reaktionsgeschwindigkeit erhöhen.

Im *Kontaktofen* läuft die Reaktion bei ca.  $450^\circ\text{C}$  ab. Als Katalysator verwendet man Vanadium(V)-oxid ( $\text{V}_2\text{O}_5$ ). Unter diesen Bedingungen verläuft die Oxidation hinreichend schnell, allerdings nicht vollständig.

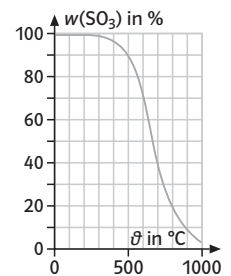
Da die Reaktion exotherm ist, heizt sich das Reaktionsgemisch auf, was ohne Kühlung zu einer unerwünschten Gleichgewichtsverschiebung zugunsten der Ausgangsstoffe führen würde. Die Oxidation von Schwefeldioxid wird deshalb stufenweise durchgeführt. Das Gasgemisch aus Schwefeldioxid und Luft wird bei  $450^\circ\text{C}$  auf die erste Kontaktschicht geleitet. Das durch die exotherme Reaktion aufgeheizte Gasgemisch wird nach Verlassen der Kontaktschicht durch einen Wärmetauscher geleitet und wieder auf  $450^\circ\text{C}$  abgekühlt. Vor dem Durchgang durch die letzte Kontaktschicht werden die Gase in einen Zwischenabsorber geleitet, wo das bis dahin entstandene Schwefeltrioxid aus dem Gemisch entfernt wird. Anschließend werden die Restgase wieder auf die Reaktionstemperatur gebracht und in den Kontaktofen zurückgeführt.

In Anlagen mit diesem *Doppelkontaktverfahren* werden ca. 99,7% des eingesetzten Schwefeldioxids zu Schwefeltrioxid umgesetzt. Durch diese hohe Ausbeute wird die Umweltbelastung durch nicht umgesetztes Schwefeldioxid niedrig gehalten.

**3. Stufe: Absorption von Schwefeltrioxid.** In den *Absorbertürmen* wird das Schwefeltrioxid in konzentrierte Schwefelsäure eingeleitet, da es von der Schwefelsäure unter Bildung von Dischwefelsäure ( $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7$ ) besser aufgenommen wird als von Wasser:



Durch ständige Wasserzufuhr reagiert die Dischwefelsäure wieder zu Schwefelsäure. Der Massenanteil der Schwefelsäure wird so auf  $w = 98\%$  gehalten:



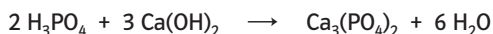
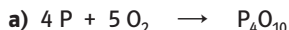
Temperaturabhängigkeit des Gleichgewichts  
 $2 \text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2 \text{SO}_3$

**A4**

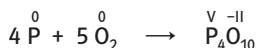
- Stickstofffixierende Bakterien erzeugen aus Stickstoffmolekülen Ammoniumionen.
- Ammoniakbildende Bakterien zersetzen organisches Material, dabei entstehen Ammoniumionen.
- Nitrifizierende Bakterien oxidieren Ammoniumionen zu Nitrationen.
- Denitrifizierende Bakterien reduzieren Nitrationen zu Stickstoffmolekülen.

**A5** Eine Kuh produziert 50 bis 100 kg Stickstoffverbindungen im Jahr. Davon entweichen 20 bis 40 kg in Gasform. Übrig bleiben mindestens 30 kg, höchstens 60 kg. Bei 50 Kühen bedeutet dies, dass pro Jahr zwischen 1 500 kg und 3 000 kg Stickstoffverbindungen auf die Felder ausgebracht werden.

**A6**



b) Die Reaktion von Phosphor mit Sauerstoff ist eine Redoxreaktion:



Die Oxidationszahl des Phosphoratoms wird erhöht (Oxidation). Die Oxidationszahl des Sauerstoffatoms wird erniedrigt (Reduktion).

Bei den anderen beiden Reaktionen bleiben die Oxidationszahlen unverändert, sie sind also keine Redoxreaktionen.

**A7** Phytoplankton, die Grundlage für das Leben im Meer, benötigt für seine Existenz nicht nur Kohlenstoffdioxid und Wasser. Lebensnotwendig sind Mineralsalze, die z.B. durch Flüsse ins Meer befördert werden. Algenwachstum findet aber nicht nur in den küstennahen Schelfmeeren statt sondern auch im weiten Ozean, und zwar dort, wo durch Meeresströmungen Wasser mit Mineralstoffen aus der Tiefe aufsteigt oder wo sie mit Wüstenstaub durch Stürme weiträumig verteilt werden.

**A8**

Verhältnisformel	Name
KHSO <sub>4</sub>	Kaliumhydrogensulfat
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Kaliumsulfat
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Ammoniumnitrat
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Calciumnitrat
AgNO <sub>3</sub>	Silbernitrat
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	Calciumphosphat
Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	Calciumdihydrogenphosphat
CaHPO <sub>4</sub>	Calciumhydrogenphosphat

**A9** Zunächst wird der Dünger in destilliertem Wasser gelöst und filtriert. Zu einer Probe der Düngerlösung gibt man wenige Tropfen einer Silbernitratlösung. Es entsteht schwer lösliches Silberchlorid, welches als weißer Niederschlag zu erkennen ist. Zu einer zweiten Probe der Düngerlösung gibt man zuerst verd. Salzsäure und dann wenige Tropfen einer Bariumchloridlösung. Bariumionen bilden mit Sulfationen schwer lösliches Bariumsulfat. Dieses ist ebenfalls als weißer Niederschlag zu erkennen.

*Hinweis:* Beim Chloridnachweis muss die Probelösung eigentlich zuerst mit Salpetersäure angesäuert werden. Dadurch vermeidet man Störungen durch ausgefälltes Silbercarbonat oder Silberphosphat. (Man kann auch nach Zugabe der Silbernitratlösung und Bildung eines Niederschlags ausprobieren, ob sich durch Zugabe von Salpetersäure der Niederschlag wieder löst.)

**A10** Durch die übermäßige Zufuhr von Mineralsalzen kommt es zu einem verstärkten Algenwachstum. Dadurch kann weniger Licht in tiefere Wasserschichten gelangen, wodurch die Fotosynthese in geringerem Maße abläuft. Durch das verstärkte Algenwachstum kommt es auch zu einer größeren Menge an abgestorbener Biomasse. Diese sinkt auf den Grund des Gewässers und wird von Mikroorganismen unter Sauerstoffverbrauch abgebaut. Wenn es nicht zu einer Durchmischung des Wasserkörpers kommt, ist der Sauerstoff in tieferen Schichten irgendwann aufgezehrt. Anaerob arbeitende Mikroorganismen übernehmen nun den weiteren Abbau. Dabei entstehen giftige Produkte wie Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) und Schwefelwasserstoff ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Reichern diese sich an, kann das zum Tod der meisten Lebewesen der Zehrschicht führen. Der See „kippt um“.

**A11** Durch bakterielle Tätigkeit können Nitritionen aus Nitrationen entstehen. Von diesen gehen zwei mögliche Schadwirkungen aus:

- Veränderung des Hämoglobins und verringerte Transportfähigkeit für Sauerstoff,
- krebserregende Wirkung durch Bildung von Nitrosaminen.