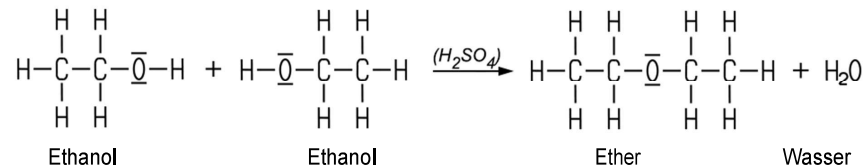
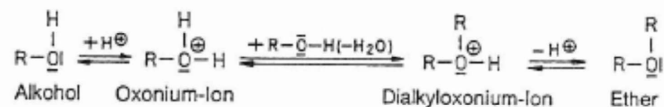


Bei der Ethersynthese vereinigen sich zwei Ethanolmoleküle miteinander zu einem Ethermolekül. Dabei wird ein Wasser-Molekül (H_2O) abgespalten. Die konzentrierte

Schwefelsäure (H_2SO_4) nimmt letztendlich nicht an der Reaktion teil, sondern hat lediglich katalytische Funktion. Sie liegt also auch nach der Reaktion wieder als Schwefelsäure vor, ist allerdings durch die entstandenen H_2O -Moleküle nicht mehr ganz so konzentriert. Insgesamt ergibt sich folgende Reaktionsgleichung:



Im Einzelnen betrachtet läuft die Reaktion in mehreren Teilschritten ab: Das Alkohol-Molekül nimmt von der Säure zunächst ein Proton auf. Dadurch entsteht ein sogenanntes Oxonium-Ion. Unter Wasserabspaltung wird ein zweites Alkoholmolekül substituiert. Anschließend wird wieder ein Proton abgespalten. - Im folgenden Schema werden die Reaktionsschritte für einen *allgemeinen* Alkohol angegeben. Deshalb ist die Methylgruppe (CH_3) durch einen Allgemeinen Rest R ersetzt. H^+ steht für das katalytisch wirkende Proton, das von der Schwefelsäure abgegeben wird. Das frei werdende Wasser wird durch das ($-\text{H}_2\text{O}$) über dem mittleren Reaktionspfeil symbolisiert.



5. Ein anderer Weg zum Verständnis der Reaktion

Wer die letzten Zeilen gelesen hat, wird spüren, dass es nicht unbedingt pädagogisch sinnvoll (und von den fachlichen Voraussetzungen aus auch gar nicht möglich) ist, einer 9. Klasse diese Art von Verständnis abzuverlangen. Muss man deswegen von jeder Erklärung absehen? Müssen die Schülerinnen und Schüler es einfach als gegeben hinnehmen, dass Ether entsteht, wenn Alkohol und Schwefelsäure miteinander gemischt werden, quasi als eine Art von unverständlicher Zauberei?

Im Unterricht wurde stattdessen versucht, aus der Kenntnis der Qualität der beteiligten Stoffe zu einem Verständnis der Reaktion zu kommen? Dieser Weg soll hier eng angeknüpft an den konkreten Unterricht skizziert werden:

In einem anderen Zusammenhang hatten wir uns davor mit Verschwelungen

beschäftigt: Wenn Organische Stoffe wie z.B. Holz unter Luftabschluss erhitzt werden, so entstehen daraus brennbare Gase, kohleartige Rückstände und Flüssigkeiten, in denen mehrere Stoffe, unter anderem auch Wasser, enthalten sind - auch wenn der Ausgangsstoff vorher völlig trocken war.

Durch Vorversuche unmittelbar vor der Etherreaktion lernten wir später die Schwefelsäure kennen: Wie viele andere Säuren, so hat diese ein starkes Bestreben, sich mit Wasser zu verdünnen, so dass es bereits bei der Mischung mit Wasser zu einer heftigen Reaktion kommen kann. Eine alte Chemiker-Regel lautet: „Erst das Wasser dann die Säure, sonst geschieht das Ungeheure“. Lässt man konzentrierte Schwefelsäure an der Luft stehen, so kann sie daraus Feuchtigkeit an sich binden, mit der sie sich langsam selbst verdünnt.

Dieses Verdünnungsbestreben kann sich aber noch radikaler äußern: Wenn man konzentrierte Schwefelsäure in ein zu einem Drittel mit Zucker gefülltes Becherglas gibt, so löst sich der Zucker darin auf. Langsam erhitzt sich die Masse selbst, bis sie schließlich immer brauner und dunkler wird. Dann bilden sich Blasen, übelriechende Gase strömen aus, eine schwarze aufgeblähte Säule schiebt sich bis über den Rand des Becherglases nach oben und erstarrt schließlich. Was ist geschehen? Die Schwefelsäure hat mit dem Zucker praktisch das gleiche gemacht, als wenn man ihn durch von außen

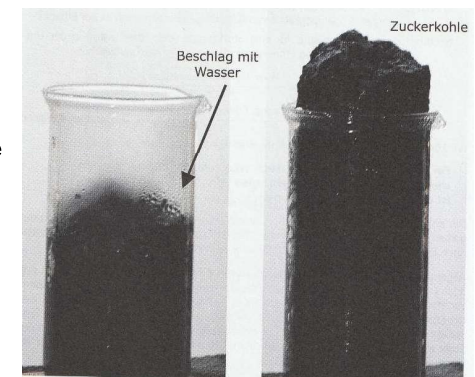


Abb. 2 – Wirkung von Schwefelsäure auf Zucker

zugeführte Hitze verschwelt hätte. Der ursprüngliche Zucker enthielt kein Wasser, hatte aber eine starke Verwandtschaft mit dem Wasser, die sich z.B. durch seine sehr gute Wasserlöslichkeit zeigt. Jetzt sind bei der Zerstörung des Zuckers Gase und Kohlenstoff entstanden, aber auch etwas Wasser, mit dem sich die Schwefelsäure verdünnt hat. Ähnliche Reaktionen kann man zeigen, wenn man Schwefelsäure auf Holz, Baumwolle, Papier gibt. Fazit: Die konzentrierte Schwefelsäure kann organische Stoffe so zerstören, dass dabei etwas Wasser für die eigene Verdünnung entsteht. Den Stoffen, die dann zurückbleiben, fehlt die Wasserverwandtschaft weitgehend. Sie haben stattdessen eine starke Kohleverwandtschaft.

Auf diesem Hintergrund kann jetzt auch die Ethersynthese verständlicher werden. Wie der Zucker, so ist auch der Ethylalkohol sehr gut wasserlöslich („hydrophil“). Die starke Verwandtschaft zum Wasser kommt auch darin zum Ausdruck, dass Wasser und Alkohol trotz der unterschiedlichen Siedepunkte durch Destillation nie vollständig voneinander zu trennen sind. Die konzentrierte Schwefelsäure wirkt nun auf den Alkohol ähnlich ein wie auf andere organische Stoffe: Sie löst eine chemische Verwandlung aus, bei der Wasser freigesetzt wird, mit dem sie sich verdünnen kann. Dafür bleibt ein Stoff zurück, dem die Wasserverwandtschaft

weitgehend fehlt: eben der Ether. Er ist kaum wasserlöslich, lässt sich dagegen leicht mit fett- und ölartigen Stoffen mischen („lipophil“).

6. Zwischenbilanz

Durch die beschriebenen Experimente und die an den Beobachtungen anknüpfenden Überlegungen konnte deutlich gemacht werden, dass die konzentrierte Schwefelsäure den Alkohol so verändert, dass sie daraus Wasser bilden kann und mit dem Ether ein dem Wasser weniger naher Stoff zurückbleibt. Die Schwefelsäure selbst wird bei dieser Reaktion nicht chemisch verändert. Dies entspricht dem, was im 4. Abschnitt auch gesagt wurde: Durch die katalytische Einwirkung von konzentrierter Schwefelsäure auf Ethanol entstehen Ether und Wasser.

Obwohl das gebildete Wasser im Experiment nicht direkt sinnlich in Erscheinung tritt (man müsste dazu die im Rundkolben zurückbleibende Flüssigkeit aufwändig untersuchen), lässt sich auch ohne Rückgriff auf Molekülvorstellungen und Strukturformeln deutlich machen, dass Wasser entstanden sein muss. Es ist also durchaus möglich, mit Hilfe der an den Phänomenen entwickelten Begriffe zu einem Verständnis der Etherreaktion zu gelangen, ohne dabei auf abstrakte Modellvorstellungen zurückgreifen zu müssen.

Wenn dann in einer höheren Klasse die Grundlagen für die Modellvorstellungen entwickelt worden sind, kann man leicht die beiden Wege miteinander vergleichen, da sich ja kein sachlicher Widerspruch ergibt.

7. Vertiefung

Nun ist es im Unterricht an der Waldorfschule ein wichtiges Motiv, die Inhalte möglichst eng mit dem Menschen in Beziehung zu bringen. Betrachten wir rückblickend noch einmal die Qualitäten der Stoffe, die uns zum Ether hingeführt haben: Der Ether wird aus dem Alkohol gebildet, der Alkohol aus dem Zucker, der Zucker wird in Pflanze, Tier und Mensch häufig aus der Stärke gebildet.

Um bei den vielen behandelten Stoffen den Überblick nicht zu verlieren, kann man mit einer Klasse die wiederholende Übungsaufgabe bearbeiten mit dem Thema: „Vom Müsli zum Ether“ mit der Fragestellung: Wie kann ich, fast ohne Chemikalien zu kaufen, aus Haferflocken Ether herstellen? Alle Einzelschritte waren experimentell behandelt worden: Die **Stärke** der Haferflocken kann durch das Speichelenzym Amylase zu **Zucker** zersetzt werden, die Vergärung des Zuckers durch Hefepilze zu **verdünntem Alkohol** im Wein, die Gewinnung **reinen Alkohols** durch Rektifikation und schließlich deren Weiterverwandlung mit Hilfe der (einzigen gekauften Chemikalie) Schwefelsäure zu **Ether**.

Wie gestaltet sich nun meine Beziehung als Mensch zu diesen vier Stoffen?

Die **Stärke** ist fest, schwer löslich und nicht schmelzbar. Sie hat von den vier Stoffen die größte Bedeutung für die Ernährung. Allerdings müssen da vom Körper auch die meisten Prozesse in Gang gesetzt werden, um sie bekömmlich und verwertbar zu machen: zubereiten, kochen bzw. backen, kauen, bis sie schließlich durch die Tätigkeit der Verdauungsenzyme in Traubenzucker umgewandelt wird, der dann ins Blut aufgenommen werden kann. Daraus ergibt sich schließlich eine langanhaltende, das Leben unterstützende Wirkung.

Da haben wir es mit dem **Zucker** doch viel einfacher: Er ist zwar fest, aber leicht durch Wasser oder durch Erhitzen in die flüssige Form zu bringen. Dadurch kann man ihn zu sich nehmen, ohne ihn vorher zu kochen. Nicht einmal kauen ist notwendig. Auch das Verdauungssystem muss sich weniger anstrengen. Am einfachsten ist dies beim Traubenzucker, der direkt vom Dünndarm ins Blut überführt werden kann. Dieser dient, z.B. im Zusammenhang mit starker körperlicher Anstrengung (Bergtour), als schneller Energiespender, wobei der Effekt allerdings nicht so lange anhält wie bei der Stärke, die ihre Wirkung langsamer und dauerhafter entfaltet.

Zum Zucker gehört natürlich auch, dass er auf das Geschmacksempfinden viel schneller und intensiver wirkt als die Stärke. Dadurch kann es beim Süßen leicht zur Naschhaftigkeit, in Einzelfällen aber auch zur pathologischen Zuckersucht kommen. Dies hängt damit zusammen, dass bei Zuckergenuss über einige Zwischenschritte die Bildung von Serotonin gesteigert wird. Serotonin gilt als „Glückshormon“, das verstärkt im Gehirn gebildet wird, wenn wir uns seelisch wohl fühlen. So kann man erklären, dass Zucker unser Wohlbefinden künstlich steigern kann.

Der flüssige **Alkohol** hat die Beziehung zum Festen nun ganz verloren. Er hat aber nicht nur eine starke Beziehung zum Wasser, sondern er verflüchtigt sich leicht und ist gut brennbar. Er hat also auch eine Beziehung zum Luftig-Feurigen. Die Indianer nannten ihn deshalb „Feuerwasser“. Er kann seinen Geschmack noch intensiver entfalten als der Zucker, indem er uns schon als Geruch entgegentreten kann. Er kann uns schneller und eindeutiger als der Zucker in eine heitere Stimmung versetzen. Das kann je nach Menge aber auch zur Folge haben, dass das Ich den Körper nicht mehr bewusst steuern kann. Die Suchtgefahr ist natürlich deutlich größer als beim Zucker.

Die berauschende Wirkung des Alkohols ist nun beim **Ether** gesteigert zur betäubenden Wirkung: das Bewusstsein geht ganz verloren. Während der Alkohol trotz seines Geruches im flüssigen Zustand eingenommen wird, tritt uns der Ether aufgrund seiner starken Flüchtigkeit (Siedepunkt 34 °C) als Gas entgegen: Bei den Ethernarkosen wurde er stets inhaled. Eigenartigerweise ist beim Ether aber nicht nur die Beziehung zum Brennbar und Flüchtig gesteigert, sondern auch ein klein wenig die Beziehung zum Schweren und Festen: die Etherdämpfe sind viel schwerer als Luft und brennen im Gegensatz zum Alkohol mit stark rußender, gelber Flamme (Kohlenstoffbildung). Die wässrige

Mitte, die normalerweise zwischen diesen Polaritäten vermittelt, fehlt fast ganz.

Wenn man sich vergegenwärtigt, dass alle Lebensprozesse im wässrigen Milieu ablaufen, wird die lebensfeindliche Wirkung des Ethers noch einmal deutlicher. Im Gegensatz zu den anderen Stoffen kommt der Ether in der belebten Natur nicht vor. Er entsteht erst durch die menschliche Technik.

8. Pädagogischer Ausblick

Solche Motive können im Unterricht anklingen, wenn vorher die einzelnen chemischen Prozesse ausgehend von Experimenten gründlich besprochen worden sind. Wenn es gelingt, kann für die Schüler erlebbar werden, dass Entstehungsweise und Eigenschaften von Stoffen einerseits und ihre leiblich-seelischen Wirkungen auf den Menschen andererseits in einem inneren Zusammenhang stehen. Vielleicht kann dadurch ein kleiner Beitrag dazu geleistet werden, dass Chemie nicht unbedingt zu einem „fremd gebliebenen Fach“ werden muss.

Meinrad Schneider

Quellen der Abbildungen: Ulrich Wunderlin, Lehrbuch der phänomenologischen Chemie, Band I, S. 169 und S. 167