

Ein chemischer Regenbogen im Tomatensaft

Lit.: D. Kolb, *J. Chem. Educ.* **1988**, *65*, 1004ff..

H. Brandl, *Trickkiste Chemie*, Bayerischer Schulbuch Verlag, München, **1998**, S. 155ff.

Geräte:

Schmaler, hoher Standzylinder (200 ml),
Pipette mit Peleusball, Glasstab zum Umrühren

Chemikalien:

Kommerziell erhältlicher Tomatensaft,
Bromwasser (gesättigt) (T^+ = sehr giftig, C = ätzend)

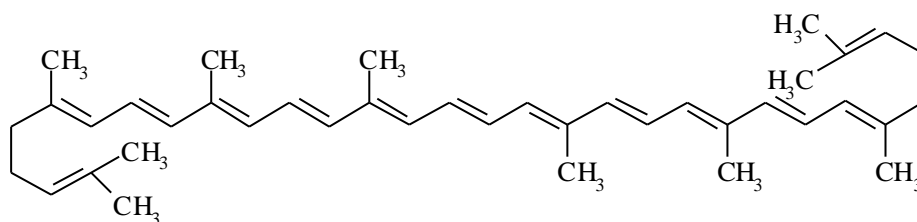
Versuchsdurchführung:

Achtung: Bromdämpfe sind äußerst giftig. Sie dürfen auf keinen Fall eingeatmet werden! Zudem darf Bromwasser nicht auf die Haut gelangen, da es schnell das Hautgewebe angreift. Der Versuch muss also unter einem gut funktionierendem Abzug oder im Freien durchgeführt werden. Das Tragen von Schutzkleidung, Schutzhandschuhen und Schutzbrille ist unerlässlich.

In einen schmalen, hohen Standzylinder (200 ml) gibt man etwa 50 ml warmen, kommerziell erhältlichen Tomatensaft. Mit einer Pipette mit Peleusball gibt man vorsichtig 10-15 ml gesättigtes Bromwasser zum Tomatensaft. Danach rührt man kurz mit einem langen Glasstab vorsichtig und langsam das Bromwasser in den Tomatensaft ein. Der Regenbogeneffekt tritt in weniger als einer Minute ein und die Farben bleiben dann über Stunden erhalten.

Erklärung:

Die charakteristische rote Farbe der Tomaten beruht in der Hauptsache auf dem Gehalt an Lycopin (einem langkettigen, konjugierten ungesättigten Kohlenwasserstoff, Alken).

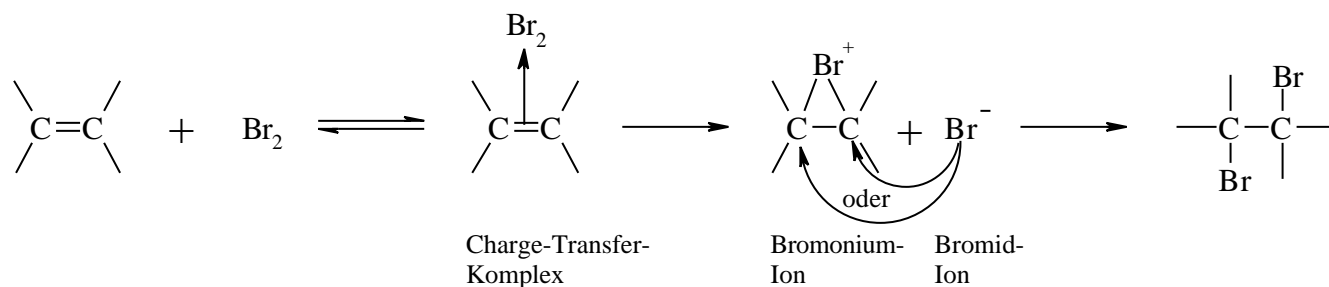


Strukturformel von Lycopin

Die Länge des konjugierten p-Elektronensystems im Lycopin ist für seine Absorption in der blauen Region des sichtbaren Spektrums verantwortlich und damit auch für seine rote Farbe. Bei einer nucleophilen Addition an eine p-Doppelbindung verkürzt sich die Länge des konjugierten Doppelbindungssystems, was in einer Verkürzung der absorbierten Wellenlänge resultiert. Die Absorption verschiebt sich also in die Richtung des UV-Spektralbereiches und die Verbindung erscheint nun farblos.

Dies geschieht, wenn man eine Lösung von Lycopin (in den meisten Solventien) mit Bromwasser versetzt. Wie entstehen dann aber die zu beobachtenden blauen und grünen Farben? Einen Hinweis gibt der Reaktionsmechanismus der nucleophilen Addition von Brom an eine p-Doppelbindung eines Alkens.

Der nachstehender Reaktionsmechanismus ist stark vereinfacht.



Zuerst bildet das Brommolekül einen Charge-Transfer-Komplex (p-Komplex) mit einem Alken, aus welchem dann das Bromonium-Ion und ein Bromid-Ion entsteht. Durch Angriff des Bromid-Ions auf das Bromoniumion wird das Dibromalkan gebildet, d.h. die ursprünglich vorhandene C,C-Doppelbindung ist nun verschwunden. Diese Additionsreaktionen werden durch polare Strukturen, Licht und Glasoberflächen katalysiert.

Charge-Transfer-Wechselwirkungen erfolgen bei Bildung des Komplexes zwischen einem Molekül, welches dazu tendiert, ein Elektronendonator zu sein (hier das Alken) und einem Akzeptor-Molekül wie Brom. Absorbiert ein solcher Charge-Transfer-Komplex Licht, geht er in einen angeregten Zustand über, wobei ein p-Elektron vom Donor auf den Akzeptor übergeht. Das Erscheinen einer neuen Absorptionsbande bei längerer Wellenlänge als der des Donors ist charakteristisch für solche Absorptionen.

Wenn nun aber Moleküle immobilisiert sind und nahe zusammengehalten werden, wie dies hier bei Lycoplenmolekülen in Lipidaggregaten der Zellmembran des Fruchtfleisches der Tomate der Fall ist, ist die Zersetzungsrate für die gebildeten Komplexe stark reduziert, das bedeutet der Charge-Transfer-Komplex weist eine ungewöhnlich lange Lebensdauer auf. Dies führt zum Vorherrschen der Charge-Transfer-Absorptionsbanden im vorliegenden Versuch. Da diese im roten Spektralbereich liegen, weist der Charge-Transfer-Komplex eine blaue Farbe auf.

Das Auftreten der Regenbogenfarben bei der Bromierung von Tomatensaft wird damit erklärt, dass die Reaktion in den Lipiden der Pflanzenmembranen der zerquetschten Tomaten, welche den Saft ausmachen, stattfindet.

Die unterschiedlichen Farben beruhen auf der steigenden Bromkonzentration. So ergibt der Zusatz von 4 ml Bromwasser zu 20 ml Tomatensaft eine blaue Farbe. Bei weiterem Zusatz von je 1 ml Bromwasser ändert sich die blaue Farbe über blaugrün nach grün und schließlich nach gelb.

In der blauen Schicht herrschen die Charge-Transfer-Komplexe vor. Dort, wo die grüne Farbe auftritt, ist die Konzentration des gelbbraunen Bromwassers so hoch, dass es sich mit der blauen Farbe zu einem dunklen Grün vermischt. Wird die Konzentration des Bromwassers noch höher, tritt eine gelbe Farbe und schließlich eine orange Farbe auf. Die rote Farbe beruht auf Tomatensaft, der noch nicht mit Bromwasser reagiert hat. Daher bleibt die rote Farbe des Lycopens sowohl an der Oberfläche der Flüssigkeitssäule (das schwere Bromwasser diffundiert schnell in den Tomatensaft ein, daher keine Reaktion an der Oberfläche) als auch am Boden (das Bromwasser ist durch Reaktion mit dem Lycoplen weitgehend aufgebraucht) erhalten.

Entsorgung:

Man füllt den bromwasserhaltigen Tomatensaft unter dem Abzug in ein großes Becherglas (500ml) und gesättigte Natriumthiosulfat-Lösung hinzu. Wenn die Bromfarbe (gelbbraun bzw. im Gemisch mit Tomatensaft grün, gelb und orange) verschwunden ist, kann die Lösung ins Abwasser entsorgt werden.