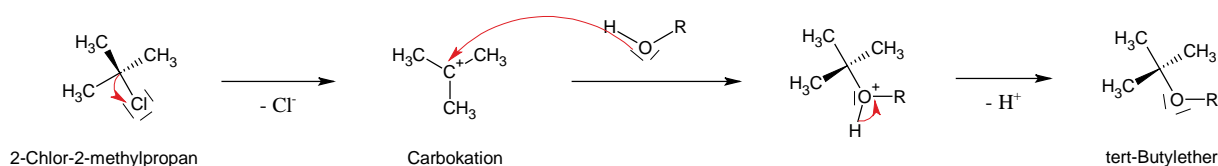


Gruppe 5 – eigener Versuch

Hydrolyse von 2-Chlor-2-methylpropan

Reaktion/ Strukturformeln:



Zeitbedarf:

Vorbereitung: 10 min
 Versuchsdurchführung: 10 min
 Nachbereitung 10 min

Chemikalien:

Chemikalien	Summenformel	Menge	R-Sätze	S-Sätze	Gefahrensymbole	Schuleinsatz (HessGiss)
2-Chlor-2-methylpropan	$(CH_3)_3CCl$	1 mL	11	7/9-16-29	F	S 1 möglich (*)
Ethanol	C_2H_5OH	50 mL	11	7-16	F	S 1
2-Propanol	C_3H_7OH	50 mL	11-36-67	7-16-24/25-26	F, Xi	S 1
Natronlauge (c = 1 mol/L)	$NaOH_{(aq)}$	1 mL	34	26-37/39-45	C	S 1
Phenolrot	$C_{19}H_{14}O_5S$	wenige Tropfen	36/37/38	26-36	Xi	S 1

(*) Umgang für unter 16-Jährige verboten. Das JArbSchG gestattet nur, wenn das Lernziel nicht anders erreichbar ist.

Geräte und Materialien:

- 2 x Bechergläser (200 mL)
- Stoppuhr
- 2 x Spritzen mit Kanüle
- Tropfpipette mit Pipettenhütchen

Versuchsaufbau:



Abb. 1.: Die leicht basischen Alkohol-Phenolrot-Lösungen.

Versuchsdurchführung:

In zwei 200 mL Bechergläser werden jeweils 50 mL entionisiertes Wasser gegeben. In eines der beiden Bechergläser wird zusätzlich 50 mL Ethanol, in das Andere 50 mL 2-Propanol gegeben. Anschließend gibt man zu beiden Lösungen 0,5 mL einer 1 Molaren Natronlauge sowie einige Tropfen Phenolrot. Zu beiden Lösungen werden nun mittels Spritze gleichzeitig 0,5 mL 2-Chlor-2-methylpropan zugegeben. Mit einer Stoppuhr wird jeweils die Zeit bis zum Farbumschlag gemessen.

Beobachtungen:

Direkt nach Zugabe des 2-Chlor-2-methylpropan verändert sich die Färbung nicht. Beide Lösungen waren violett gefärbt. Nach 5 min und 40 sec verfärbte sich das Ethanol-Wasser-Gemisch von Violett nach Gelb. Das Andere Gemisch war weiterhin violett gefärbt. Nach 8 min und 17 sec verfärbte sich auch das 2-Propanol-Wasser-Gemisch von Violett nach Gelb.



Abb. 2.: Farbumschlag des Ethanol-Gemisches



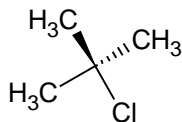
Abb. 3.: Farbumschlag des 2-Propanol-Gemisches

Entsorgung:

Alle Lösungen wurden neutralisiert und in den Sammelbehälter für organische Lösungsmittel gegeben.

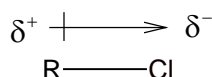
Fachliche Analyse:

2-Chlor-2-methylpropan ist eine farblose Flüssigkeit die folgende Strukturformel aufweist.

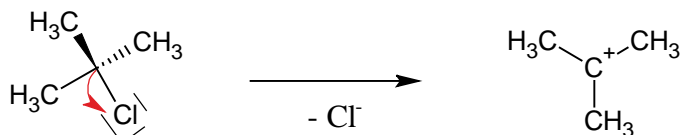


2-Chlor-2-methylpropan

Bei der Chloridgruppe handelt es sich um eine tertiär substituierte Halogenidgruppe. Die C-Cl-Bindung ist durch die hohe Elektronegativität des Halogenatoms stark polarisiert.



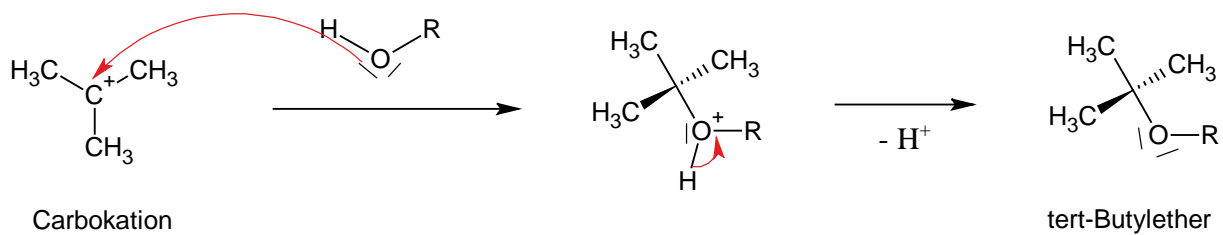
Neben der Halogengruppe sind drei weitere Methylgruppen an das zentrale C-Atom gebunden. Das Chlorid-Ion bildet eine gute Abgangsgruppe und kann sich in Gegenwart eines polaren Lösungsmittels wie z. B. Wasser oder Ethanol leicht abspalten. Diese Dissoziation ist sehr wahrscheinlich, da das entstehende Carbokation gut durch Hyperkonjugation stabilisiert werden kann. Bei diesem Prozess wird Elektronendichte der benachbarten C-H- σ -Bindungen in das leere p-Orbital des zentralen C-Atoms geschoben.



2-Chlor-2-methylpropan

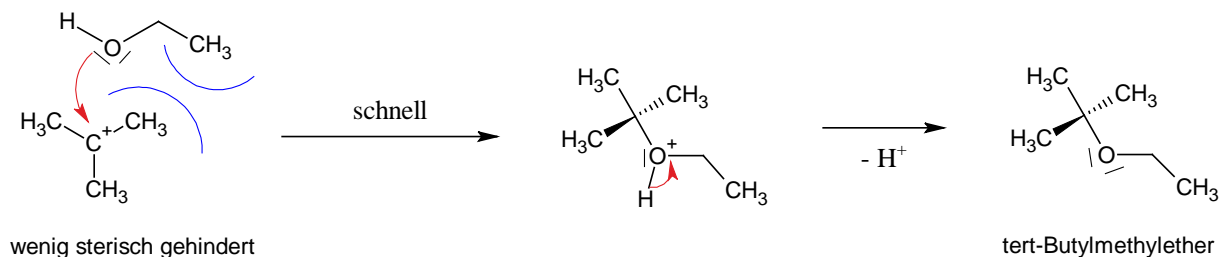
Carbokation

Das Carbokation, das auf diese Weise gebildet wird ist Ausgangsprodukt für nachfolgende Additionsreaktionen. Wählt man als Lösungsmittel einen Alkohol, so reagiert das Zwischenprodukt mit diesem zu einem tert-Butylether weiter. Dabei fungiert das Sauerstoffatom des Alkohols als Nucleophil und greift am positiv geladenen C-Atom des Carbokations an. Es entsteht ein weiteres Zwischenprodukt, bei dem das Sauerstoffatom einfach positiv geladen ist. Dieses Zwischenprodukt ist sehr instabil und reagiert rasch unter der Abspaltung des Protons, dass an das Sauerstoffatom gebunden ist zum Ether weiter. Der Mechanismus der Gesamtreaktion wird als unimolekulare, elektrophile Substitution (S_N1 -Reaktion) bezeichnet.

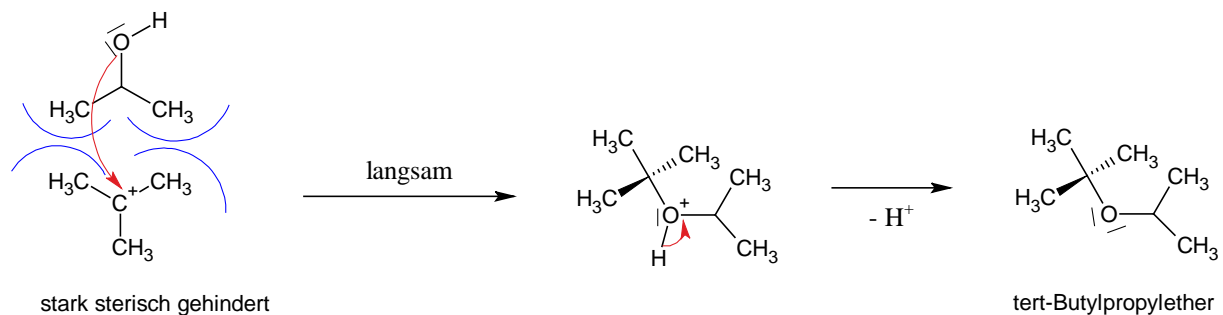


Die Geschwindigkeit der beschriebenen Reaktion ist stark vom strukturellen Aufbau des verwendeten Alkohols abhängig. Vergleicht man die Reaktionsgeschwindigkeit von 2-Chlor-2-methylpropan und Ethanol mit 2-Chlor-2-methylpropan und 2-Propanol im Experiment, so wird deutlich, dass die Reaktion mit Ethanol wesentlich schneller abläuft. Dieser Befund kann stellvertretend für die Gruppe der primären Alkohole gegenüber der Gruppe der sekundären Alkohole gewertet werden. Primäre Alkohole, wie das Ethanol, sind weniger stark sterisch gehemmt, als dies bei sekundären Alkoholen wie dem 2-Propanol der Fall ist. Dies wird bereits bei einem Vergleich der Reaktionsmechanismen mit Blick auf die Strukturformeln der Alkohole deutlich. Der Einfachheit halber wird jeweils auf den Dissoziationsschritt zum Carbokation verzichtet.

I)



II)



Da es sich um eine S_N1 -Reaktion handelt wirkt sich auch die Polarität des verwendeten Alkohols auf die Reaktionsgeschwindigkeit aus. Je polarer das Lösungsmittel ist in dem die Reaktion stattfindet, desto leichter kann sich das Chlorid-Ion als Abgangsgruppe entfernen. Zudem kann das entstehende geladene Carbokation besser in einem polaren Medium stabilisiert werden. Ethanol ist aufgrund der kürzeren Kettenlänge polarer als das 2-Propanol. Durch das dritte C-Atom des 2-Propanol kann der Elektronensog des Sauerstoffatoms besser ausgeglichen werden. Die C-O-Bindung wird weniger stark polarisiert als dies beim Ethanol der Fall ist.

Da bei der Reaktion Protonen gebildet werden, kann die relative Geschwindigkeit der beiden Reaktionen mit einem pH-Indikator verglichen werden. Als pH-Indikator wurde Phenolrot verwendet, das einen Umschlagsbereich von pH = 6,4 bis 8,2 hat. Im basischen Milieu (8,2 – 15) lagert sich ein OH⁻-Ion an das Indikatormolekül an. Das Molekül hat die Farbe Violett. Im sauren Milieu (1 – 6,4) lagert sich ein Proton an das Molekül an und sorgt mit der damit verbundenen Elektronenverschiebung für eine Gelbfärbung des Moleküls.

Die Reaktionen wurden jeweils mit der gleichen eingesetzten Menge an Natronlauge, also im leicht basischen Milieu gestartet. Im Verlauf der Reaktion wurden die gebildeten Protonen sofort von den Hydroxid-Ionen abgefangen, bis diese vollständig verbraucht waren. Nach überschreiten des Äquivalenzpunktes herrschte ein leicht saures Milieu vor. Dieser Wechsel wurde von dem Indikator durch einen Farbumschlag von Violett nach Gelb angezeigt. Da jeweils dieselbe Menge an 2-Chlor-2-methylpropan und den jeweiligen Alkoholen eingesetzt wurde kann geschlossen werden, dass in der Lösung, in der der Farbumschlag früher angezeigt wird, die schneller ablaufende Reaktion stattfindet.

Solche einfachen Untersuchungen zur Reaktionskinetik bilden den Ausgangspunkt für weitere Untersuchungen bezüglich der Optimierung der Reaktionsbedingungen. Durch genaue Kenntnisse eines Reaktionsmechanismus und dessen Kinetik können großindustrielle Herstellungsverfahren verfeinert werden. Das erhöht die Ausbeuten und führt zu Kostenersparnis. Somit sind große Chemiekonzerne auch bei bekannten Reaktionen stets um eine Optimierung des Syntheseprozesses bemüht. Schon das Senken des Energieaufwandes um wenige Prozent kann bei einer Produktion im Megatonnenmaßstab eine immense Kostenersparnis bedeuten.

Methodisch-didaktische Analyse:

1. Einordnung

Der Versuch kann wie folgt in die Themengebiete des hessischen Lehrplans (G8) eingebettet werden.

Jahrgangsstufe u. Unterrichtseinheit	Themengebiet
10G	<u>Halogenalkane:</u> Nomenklatur; polare Elektronenpaarbindungen; permanente Dipolmoleküle / Tetraedermolekülmodell; Struktur- Eigenschafts-Beziehungen; Eigenschaften und Reaktionen / Nachweisreaktion; Umweltgefährdung durch CFKW in der Atmosphäre. Fakultativ: Bedeutung in Technik, Alltag, Umwelt; Toxizität.
12G.1	<u>Geschwindigkeit chemischer Reaktionen:</u> Reaktionszeit; Reaktionsge-

	schwindigkeit (Definition und experimentelle Ermittlung; c/t – Diagramme); Anwendung analytischer Verfahren zur Messung der Änderung des Reaktionsverlaufs (z.B. Fotometrie, Maßanalyse, Leitfähigkeitsmessungen); Einfluss verschiedener Faktoren.
--	---

2. Aufwand

Alle verwendeten Geräte zählen zur Grundausstattung einer Chemiesammlung. Die verwendeten Chemikalien sind sehr Preiswert und werden nur in kleinen Mengen verbraucht. Der Versuch ist auch als Schülerversuch gut innerhalb einer Schulstunde durchführbar. Insgesamt eignet sich der Versuch gut für den Einsatz im Unterricht.

3. Durchführung

Die Farbumschläge von Violett nach Gelb sind auch aus größerer Entfernung gut sichtbar. Der Farbumschlag ist eindeutig wahrnehmbar. Der Versuch funktioniert sehr zuverlässig. Damit eignet sich der Versuch gut als Demonstrationsversuch. Nach HessGiss dürfen unter 16-Jährige nicht mit 2-Chlor-2-methylpropan arbeiten. Sofern alle Schüler der Altersvorgabe entsprechen eignet sich das Experiment sehr gut als Schülerversuch für die Sekundarstufe II.

Literatur:

- Versuchsvorschrift aus: Flörke Wolff, **Chemie, Sekundarstufe II**, Verlag H. Stamm GmbH, Köln, 2000.
- K. P. C. Vollhardt, N. E. Schore, **Organische Chemie, Dritte Auflage**, Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, 2000.
- Reinhard Brückner, **Reaktionsmechanismen, 3. Auflage**, Elsevier GmbH, München, 2004.
- **HessGiss-Datenbank**, V 11.0 – 2006/2007.
- www.dguv.de, **GESTIS-Stoffdatenbank**, 2009, Zugriff: 26.05.09.
- **Lehrplan Chemie, Gymnasialer Bildungsgang, Jahrgangsstufen 7G bis 12G**, Hessisches Kultusministerium 2008.