

Hinweis

Bei dieser Datei handelt es sich um ein Protokoll, das einen Vortrag im Rahmen des Chemielehramtsstudiums an der Uni Marburg referiert. Zur besseren Durchsuchbarkeit wurde zudem eine Texterkennung durchgeführt und hinter das eingescannte Bild gelegt, so dass Copy & Paste möglich ist – aber Vorsicht, die Texterkennung wurde nicht korrigiert und ist gerade bei schlecht leserlichen Dateien mit Fehlern behaftet.

Alle mehr als 700 Protokolle (Anfang 2007) können auf der Seite http://www.chids.de/veranstaltungen/uebungen_experimentalvortrag.html eingesehen und heruntergeladen werden.

Zudem stehen auf der Seite www.chids.de weitere Versuche, Lernzirkel und Staatsexamensarbeiten bereit.

Dr. Ph. Reiß, im Juli 2007

~~521~~
521

Ester

Sandra Schmitt
Februar 1995

Sandra Schmitt
Sonnenblickallee 15
35039 Marburg
Tel. 06421/13669

Protokoll des Vortrages vom 15.02.1995 zum Thema: **Ester**

Inhaltsverzeichnis:

I. Einleitung

II. Carbonsäureester

1. Vorkommen von Estern

2. Eigenschaften von Carbonsäureestern

Versuch 1: Wasserlöslichkeit von Estern

3. Esterkondensation

Versuch 2: Herstellung von Essigsäureethylester

4. Verseifungsreaktion

Versuch 3: Verseifung des Oxalsäurediethylesters

5. Ein spezieller Ester: Acetessigsäureethylester

Versuch 4: Keto-Enol-Tautomerie des Acetessigsäureethylesters

6. Verwendung von Carbonsäureestern

Versuch 5: Herstellung eines Polyesters

Versuch 6: Herstellung eines Fruchtaromas

Versuch 7: Ethyllactat, ein umweltschonendes Lösungsmittel

III. Ester von anorganischen Säuren

Ester von Mineralsäuren

Versuch 8: Herstellung des Borsäuretriethylesters

Ester

I. Einleitung:

Im allgemeinen können Ester aus Alkoholen und Säuren/Säurederivaten synthetisiert werden. Da die Alkoholkomponente, sowie die Säurekomponente sehr variantenreich ist, ergibt sich hier eine Fülle von Estertypen, die sich sehr unterscheiden können.

Um nur die wichtigsten Klassen zu nennen:

- Ester von Mineralsäuren
 - Ester von sauerstoffhaltigen Säuren
 - Ester von sauerstofffreien Säuren
- Ester von Carbonsäuren
 - cyclische Ester- Lactone
 - aliphatische Ester
 - polymere Ester
 - Fette/Wachse/Öle

In meinem Vortrag werde ich die Fette nicht berücksichtigen. Auch von den restlichen Estern kann hier natürlich nur eine Auswahl angesprochen werden.

II. CARBONSÄUREESTER

1. Vorkommen von Estern

In der Natur sind Ester in Form der Fette, Wachse, Phospholipide Riechstoffe von Früchten und Blüten sehr häufig anzutreffen.

Fette

Alle Fette und fetten Öle sind Ester höherer aliphatischer gesättigter Monocarbonsäuren (Fettsäuren) mit (fast ausnahmslos) Glycerin als dreiwertige Alkoholkomponente.

Wachse

Die in der Natur vorkommenden Wachse sind Ester höherer einwertiger Alkohole mit höheren einwertigen Carbonsäuren, z.B. Palmitinsäuremyrizylester $C_{15}H_{31}-CO-OC_5H_{11}$, ca. 72% im Bienenwachs enthalten.

Wachse wurden schon im Altertum in Kunst und Technik genutzt.

2000 v. Chr. wurden die Körper durch Überziehen mit Wachs mumifiziert.

Riechstoffe

Ester sind in vielen ätherischen Ölen als Hauptbestandteil vorhanden und sind maßgeblich für den Geruch verantwortlich. Es handelt sich meist um niedermolekulare Ester.

Phospholipide

Sind komplexer zusammengesetzte Ester. Ihr charakteristischer Bestandteil ist die Phosphorsäure.

2. Eigenschaften von Carbonsäureestern

- niedermolekulare Ester sind niedrig siedende, farblose, brennbare Flüssigkeiten von obstartigem Geruch

- höhere Ester sind fest, wachsartig und geruchlos

Die Ester sind leichter als Wasser, nur gering mit Wasser mischbar und sie reagieren neutral. Im Gegensatz zu den Carbonsäuren sind ihre Ester nicht assoziiert und siedend daher tiefer als die entsprechenden Säuren, z.B. Essigsäureethylester: 77°C, Essigsäure: 118°C

Die Wasserlöslichkeit nimmt mit zunehmender Kohlenstoffanzahl ab, wobei die Wasserlöslichkeit durch polare Substituenten gefördert wird.

Ester RCOOR' , $\text{R}, \text{R}': \text{C}_n \text{H}_{n+1}$	Wasserlöslichkeit \20°C
Ameisensäureethylester	118 g/l
Essigsäureethylester	80 g/l
Butansäuremethylester	16 g/l
Butansäureethylester	wenig mischbar
Pentansäureethylester	nicht mischbar
Octansäureethylester	nicht mischbar

Versuch 1: Wasserlöslichkeit von Estern am Beispiel des Essigsäureethylesters

Geräte: Reagenzgläser, Meßpipette, Scheidetrichter, Trichter, Filterpapier, Filtriergestell, Reagenzglasständer, Bunsenbrenner

Chemikalien: Essigsäureethylester (F, flammbar), dest. Wasser, Kochsalz

Durchführung:

In einem Reagenzglas werden 10 ml destilliertes Wasser mit 2 ml Essigsäureethylester ca. 3 min kräftig geschüttelt. Das Gemisch läßt man in einem Scheidetrichter stehen, bis sich deutlich zwei Flüssigkeitsschichten gebildet haben. Die untere wäßrige Schicht wird abgetrennt und durch ein trockenes Filter filtriert. Das wasserklare Filtrat wird je zur Hälfte in zwei Reagenzgläser gegeben. Am Reagenzglashalter erwärmt man die eine Hälfte über kleiner Bunsenbrennerflamme. Durch ausgeschiedenen Ester tritt Trübung ein.

In das Reagenzglas mit dem Rest des Filtrats gibt man in kleinen Portionen fein gepulvertes Kochsalz und schüttelt um, bis sich kein Kochsalz mehr löst. Man stellt das Reagenzglas in den Ständer, wo sich schon nach wenigen Minuten oben eine Schicht des ausgeschiedenen Esters sammelt.

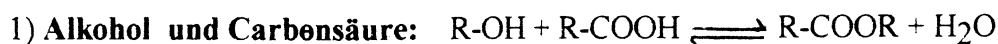
Erklärung:

Essigsäureethylester löst sich teilweise in kaltem Wasser. Durch Erwärmen wird der Ester wieder ausgeschieden - eine Trübung tritt auf, da er in warmem Wasser weniger löslich ist als in kaltem Wasser.

Gibt man Kochsalzlösung in teilweise gelösten Ester, kann man den Ester wieder "aussalzen". Die Löslichkeit des Esters wird durch zugesetzte Salze herabgesetzt. Dies hängt mit dem Bestreben der Ionen zusammen, die Moleküle des Lösungsmittels durch Solvatation zu binden.

3. Esterkondensation - Esterherstellung

Hier die bekanntesten und allgemeinsten Synthesen, allgemein deswegen, da es für spezielle Ester auch spezielle Herstellungsverfahren gibt.



Versuch 2: Herstellung von Essigsäureethylester

Geräte: 250 ml Rundkolben, Claisenbrücke ohne gebogenen Vorstoß, Vakuumvorstoß gebogen, Paraffinbad, Pipette, Standzylinder, Magnetrührer mit Rührfisch

Chemikalien: Essigsäure (C, ätzend), Ethanol (F, flammbar), konz Schwefelsäure (C, ätzend), Methylenblau, Styropor

Durchführung:

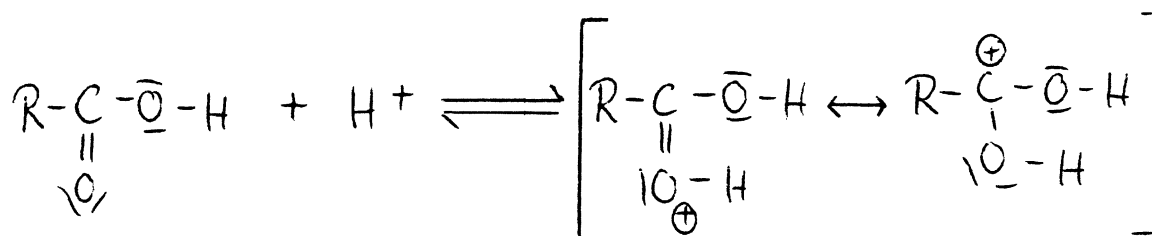
Im Rundkolben werden je 50 ml Essigsäure und Ethanol mit 10 ml Schwefelsäure zum Sieden erhitzt. In den Vorlagekolben gibt man einige Tropfen von Methylenblau.

Ergebnis:

Nach einiger Zeit trennen sich die Phasen. Aus dem Vorlagekolben wird das Produkt (obere, organische Phase) entnommen und löst Styropor in ihm. Der Geruch des Produktes erinnert an Alleskleber.

Es ist Essigsäureethylester entstanden.

Dies ist ein sehr gebräuchliches Verfahren. Die Veresterung oder Esterkondensation kann durch verschiedene Stoffe katalysiert werden. Im allgemeinen verwendet man Schwefelsäure; möglich sind auch: Salzsäure, Chlorsulfonsäure, etc. Durch Schwefelsäure wird die Veresterung begünstigt, da durch Protonierung der Carbonylgruppe der Carbonylkohlenstoff positiviert wird und so ein Angriff des Alkohols erleichtert wird.



Gleichzeitig entzieht die Schwefelsäure aufgrund ihrer hygroskopischen Wirkung dem System Wasser, wodurch das Gleichgewicht der Reaktion zu Gunsten der Produkte verschoben wird.

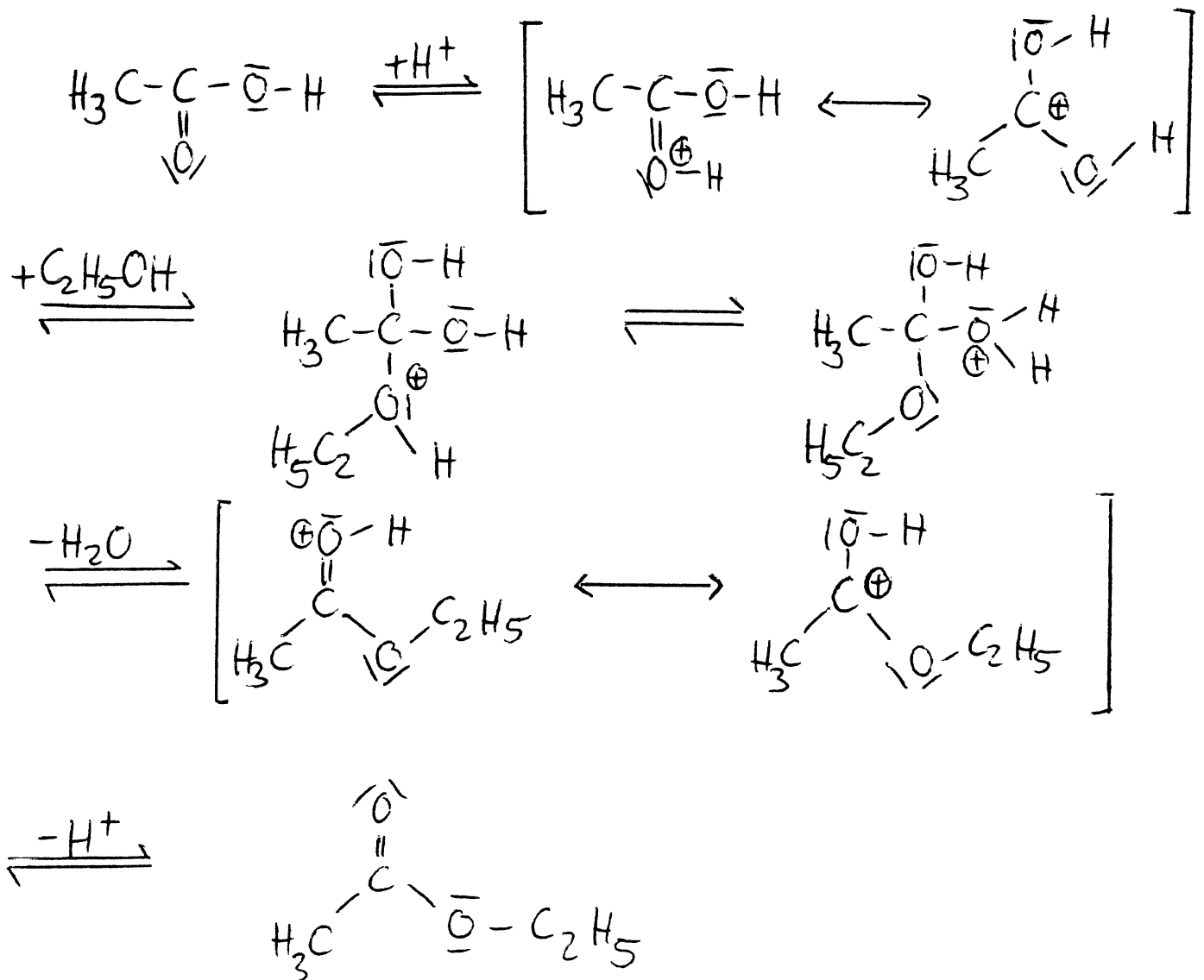
Auch Lewis-Säuren, wie z.B. BF_3 können als Katalysatoren eingesetzt werden.

Zum Mechanismus der säurekatalysierten Veresterung (mit primären oder sekundären Alkoholen):

Ein Proton lagert sich an die Carbonylgruppe der Säure unter Bildung eines mesomeren Oxoniumions bzw. Dihydroxycarbeniumion, das mit dem Alkohol unter Abspaltung eines Protons den tetraedrischen Übergangszustand* bildet. Nach nochmaliger Protonierung spaltet sich Wasser ab und es bildet sich ein Oxoniumion, welches unter Protonenabgabe den Ester liefert. Durch Isotopenmarkierung mit O^{18} konnte bewiesen werden, daß das Wassermolekül aus der OH-Gruppe des Carboxyls und dem Proton der alkoholischen OH-Gruppe entsteht. Der geschwindigkeitsbestimmende Schritt bei dieser Reaktion ist die Reaktion des Alkohols mit der protonierten Säure.

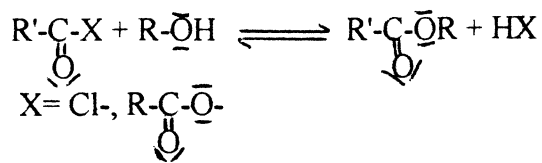
Bei der Reaktion handelt es sich um einen $A_{AC}2$ -Mechanismus (Acylsauerstoffspaltung, säure katalysiert, bimolekular).

*Veresterung findet so nicht statt, wenn dieser tetraedrische Übergangszustand nicht erreicht werden kann, z.B. bei 2,4,6-Trimethylbenzoesäure.



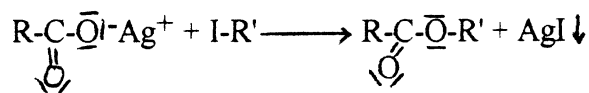
Weitere wichtige Herstellungsmethoden sollen noch erwähnt werden:

2) Umsetzung von Säurechloriden oder -anhydriden mit Alkohol

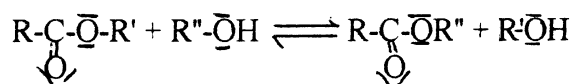


Die Reaktion verläuft über den Addition-Eliminierungsmechanismus.

3) Umsetzung von Silbersalzen der Carbonsäuren mit Alkylhalogeniden



4) Umesterung: Carbonsäureester mit Alkohol



4. Verseifungsreaktion

Die Rückreaktion der Esterkondensation nennt man Verseifung (in Anlehnung an die Seifenbildung aus Fetten). Die saure Esterhydrolyse bzw. die Esterhydrolyse verlaufen in Abhängigkeit des Alkylrestes in umgekehrter Richtung wie die (säurekatalysierte) Esterkondensation.

Eine andere Möglichkeit ist die alkalische Verseifung, die den Vorteil hat, daß der letzte Schritt im Reaktionsmechanismus irreversibel ist, so daß die Reaktion nur in einer Richtung verläuft..

Versuch 3: Verseifung des Oxalsäurediethylesters

Geräte: Rundkolben, Steigrohr, Siedesteinchen, Magnetrührer und Rührfisch, Paraffinbad
Chemikalien: 2 ml Oxalsäurediethylester (Xn, mindergiftig), 50 ml 5 %ige Natronlauge, Calciumchlorid, Jod (Xn, mindergiftig)

Durchführung:

Der Ester wird mit der Lauge zum Sieden erhitzt. Bei kräftigem Sieden werden die austretenden Alkoholdämpfe entzündet.

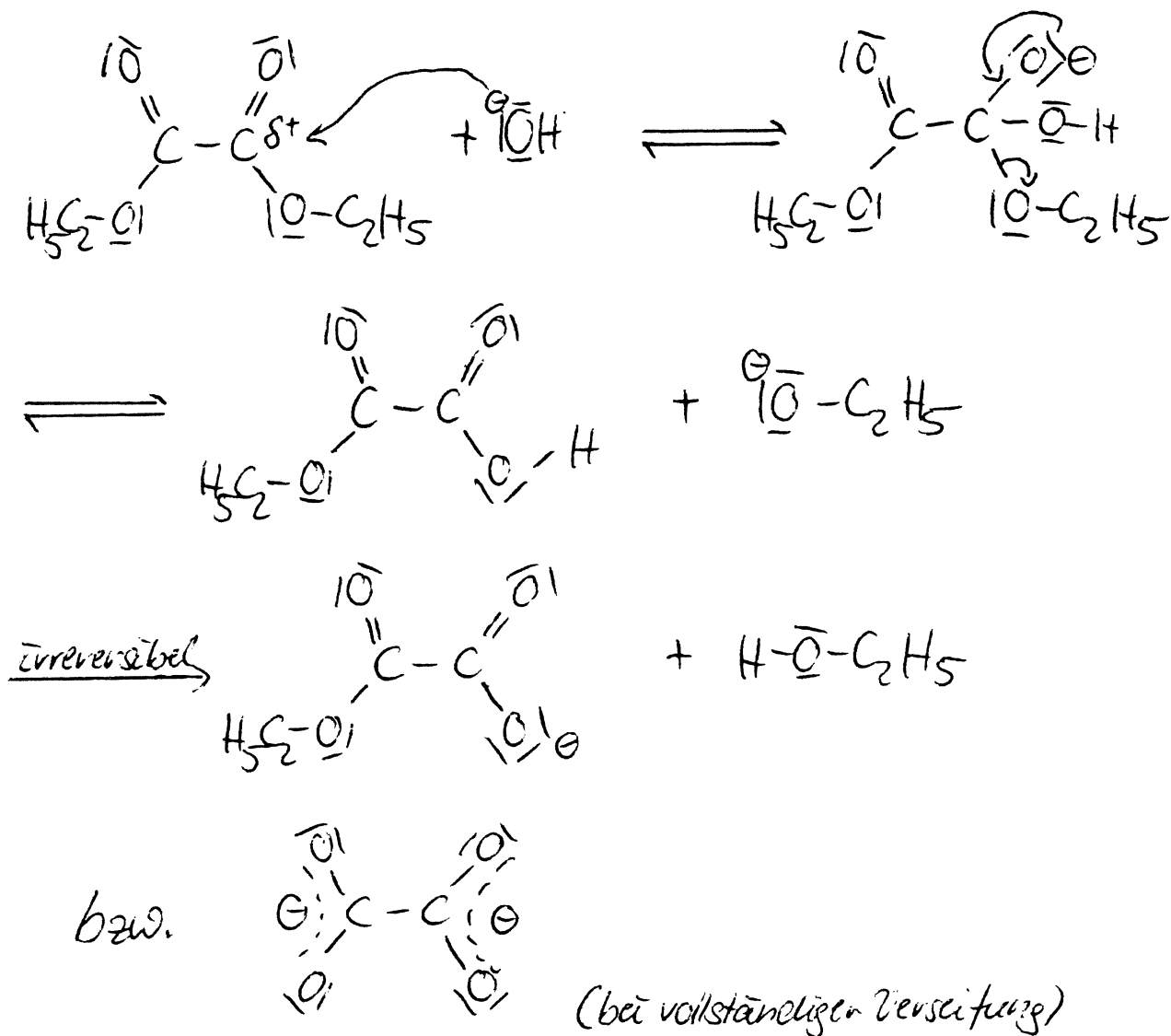
Nach Abbruch der Reaktion kann die Oxalsäure mittels Calciumchlorid nachgewiesen werden. Den Alkohol kann man zusätzlich durch die Jodoformprobe nachweisen.

Ergebnis:

Aus Oxalsäurediethylester ist Ethanol und Oxalsäure entstanden.

Zum Reaktionsmechanismus:

Die OH⁻-Ionen greifen nucleophil am positivierten Carbonylkohlenstoffatom an. Dieser erster Schritt ist eine Gleichgewichtsreaktion. Im nächsten Schritt wird unter Eliminierung des Alkoholations die Säure gebildet. Da der Alkohol jedoch eine starke Base ist, wird durch eine Säure-Base-Reaktion das Proton der Säure an den Alkohol abgegeben. Dieser Schritt ist irreversibel und der Ester wird so vollständig verseift.



Verseifungsgeschwindigkeit:

Die Verseifungsgeschwindigkeit, insbesondere bei der sauren Verseifung, hängt stark von der Konstitution sowohl der Säure- als auch der Alkoholkomponente der Ester ab. Sitzt die Carboxylgruppe an einem sekundären oder tertiären Kohlenstoffatom, so tritt nur langsame Verseifung ein. Die Ester sekundärer Alkohole verseifen langsamer als die primärer Alkohole. Bemerkenswert ist die leichte säurekatalysierte Verseifbarkeit der Ester tertiärer Alkohole.

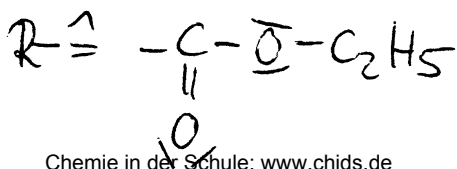
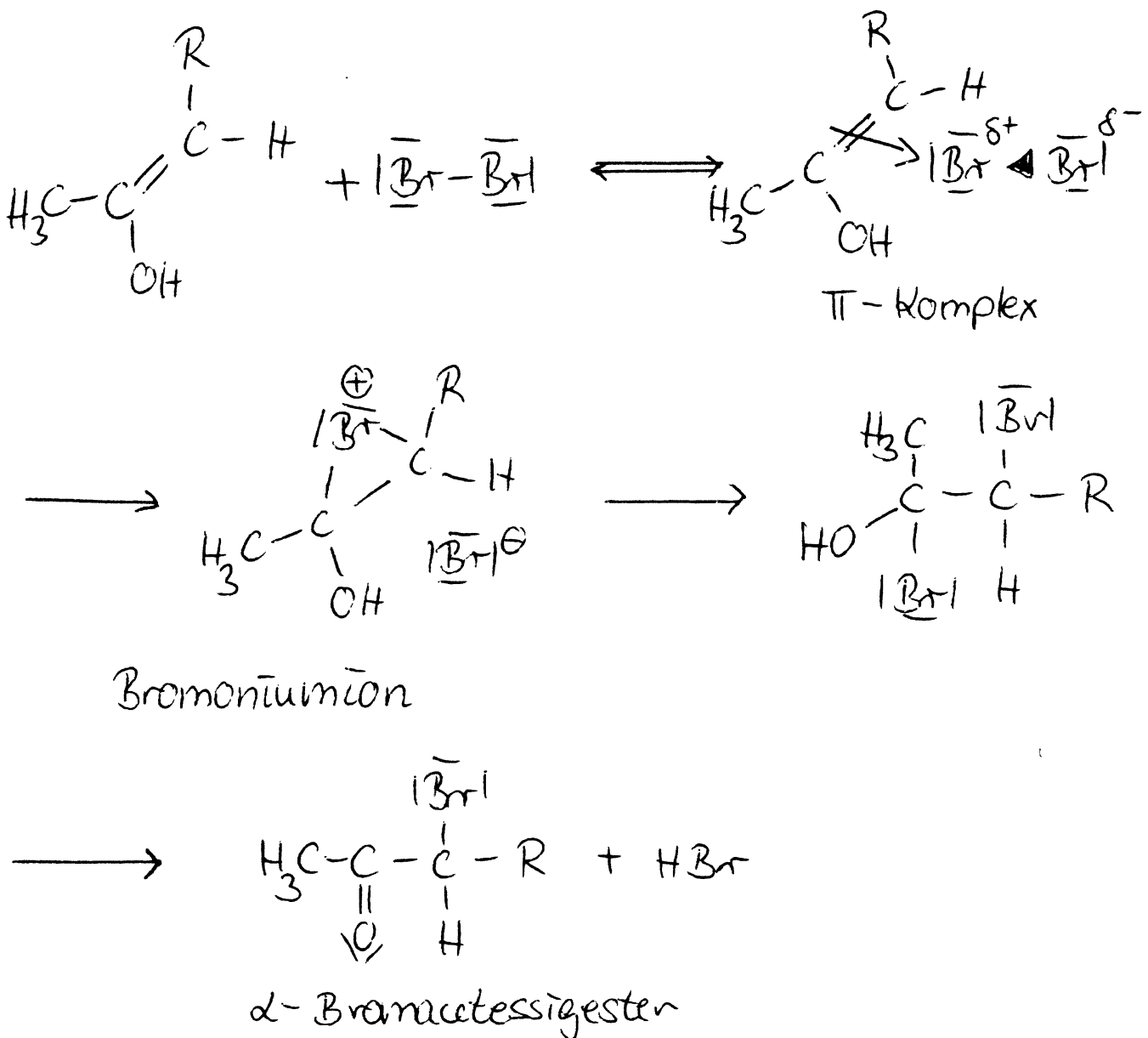
Beim Zusatz von Bromwasser wird Brom an die aktive Doppelbindung in dem Moleküle des Enols addiert, wobei zuerst eine instabile Dibromverbindung entsteht, die unter Abspaltung von Bromwasserstoff in eine Monobromverbindung übergeht.

Durch die Addition von Brom wird die Enolform quantitativ umgesetzt, erkennbar am Verschwinden der violetten Färbung, auftreten einer gelbbraunen Färbung.

Nach kurzer Zeit bildet sich aufgrund des Keto-Enol-Gleichgewichts erneut Enol, wodurch die Violett färbung wieder auftritt.

Es kann also solange Bromwasser hinzugegeben werden bis sich die gesamte Ketoform in die Enolform des Acetessigsäureethylesters umgewandelt hat.

Reaktionsmechanismus: Elektrophile Addition



6. Verwendung von Estern

Ester finden vielfach Anwendung:

- als Arzneimittel, z.B Herstellung von Acetylsalicylat (Aspirin) oder Isoamylnitrit -wird als Coronar- und Vasodilatator (gefäßerweiternd) zum Lösen von Kramp fzuständen eingesetzt, Glycerinnitrit hat die gleiche Wirkung und wird bei Asthma, Angina pectoris, Herzinsuffizienz und Arterienverkalkung verwendet
- als Weichmacher, z.B. Phthalsäuredieethylster, aliphatische Dicarbonsäureester, Fettsäureester und Citronensäureester
- als Emulgatoren, Konservierungsstoffe, in Haushaltsreinigern, in Whisky
- als Kunststoff, z.B. Polyester, Plexiglas (Polymerisation von Methacrylsäuremethylester). In der Natur kommt ebenfalls ein Polyester vor, denn Bernstein ist der Polyester der Diabetinolsäure mit ihren Vor- und Abbaustufen. Weiter sind zu nennen Acetatseide und Cellophanfolien.
- als Aroma- und Duftstoff, meist die aliphatischen Ester der geradkettigen (und einiger verzweigter) aliphatischen Säuren tragen in fast allen Früchten und in vielen Nahrungsmitteln zum Aroma bei. In der Parfümerie werden vorwiegend Acetate für Fruchtnoten verwendet.
- als Lösungsmittel, z.B. Essigsäureethylester, Ethyllactat

a) Aroma- und Duftstoffe

Durch unterschiedliche Kombination von Carbonsäuren und Alkoholen, erhält man eine Fülle von verschiedenen Duftnuancen. Hier nur eine Auswahl von den uns bekannten Estern:

Ester	Aroma
Amylacetat	Birnenaroma
Isoamylisovalerat	Bananenaroma
Salicylsäuremethylester	Wintergrünöl
Anthranilsäuremethylester	Orangenblütenduft
Buttersäureethylester	Ananasgeruch
Ameisensäureethylester	Rumaroma

Versuch 5: Herstellung von Wintergrünöl

Geräte: Reagenzglas, Becherglas, Magnetrührer, Rührfisch

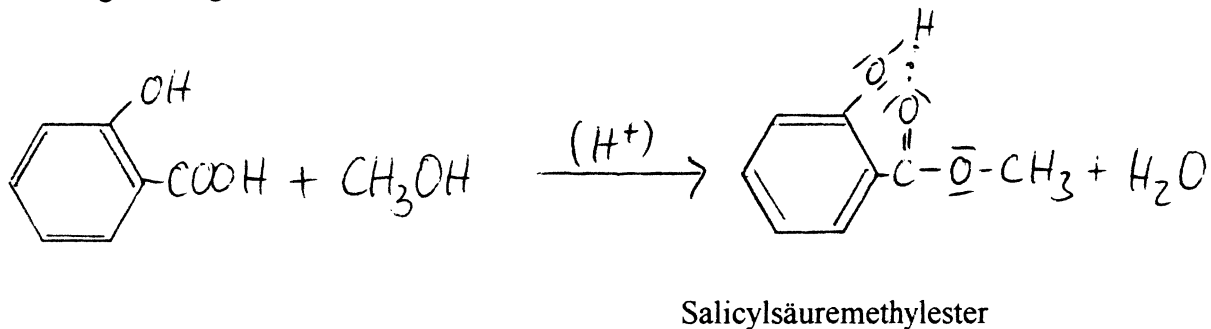
Chemikalien: 1 ml Methanol (F, flammbar; T, toxisch), 1 ml konz. Schwefelsäure (C, ätzend), Spatelspitze Salicylsäure (Xn, mindergiftig)

Durchführung:

Die Salicylsäure gibt man mit dem Methanol und der Schwefelsäure in ein Reagenzglas und erwärmt es in einem Wasserbad.

Dann gießt man das Gemisch in ein Becherglas mit Wasser => Geruch nach Wintergrünöl

Reaktionsgleichung:



Der Reaktionsmechanismus ist der der Esterkondensation.

Wintergrünöl ist in der Passionsblume vorhanden und wird in der Kosmetik z.B. bei Mundwässern benutzt.

b) **Polymere Ester** - Verwendung als Fasern in der Bekleidungsindustrie und als Kunststoff
Hier seien als Beispiel die Polyester herausgegriffen, die auch in unterschiedlichen Gebieten Einsatz finden:

Man kann unterscheiden zwischen

- gesättigten Polyestern, diese werden verwendet als Chemiefaserstoffe, Folien, Formmassen, usw.

Beispiel Chemiefaserstoffe:

- Chemiefasern als abgewandelte Naturfasern, z.B. Acetatfasern: CA: Celluloseacetat ist der Ester der Essigsäure mit freien Hydroxygruppen der Cellulose. Herstellung: Zellstoff wird mit einem Gemisch von Essigsäure und Essigsäureanhydrid zur Reaktion gebracht

- Chemiefasern als synthetische Monomeren, Synthefasern: z.B. Polyesterfasern (PES): Polykondensation von Diolen und Dicarbonsäurederivaten.

- ungesättigten Polyestern; finden Verwendung als Gießharze, glasfaserverstärkt werden sie eingesetzt für Schutzhelme, Gartenmöbel, usw.
- Alkydharzen (drei- und mehrwertige Alkohole und Dicarbonsäuren, evt. Zusatz von Fettsäuren; verwendet werden diese in der Lackindustrie

Zu den Polyestern gehören z.B. auch die Polycarbonate (Polyester der Kohlensäure), die für Mehrweg-Getränkeflaschen und Compactdiscs verwendet werden.

Polyester recyclebar??

Man hat Ideen: 25 PET (Polyethenterephthalat)-Flaschen werden für einen Faserpelz benötigt!

Darstellung:

Die zwei allgemeinsten Verfahren zur Herstellung von Polyestern ist die *Polykondensation* und die Ringöffnung von Lactonen.

Um das Phänomen der Polykondensation zu zeigen, hier einen Versuch zur Herstellung von Polyestern. Es wurden Chemikalien nicht nach ihrem Verwendungsgrad, sondern nach der Geschwindigkeit der Kondensation ausgesucht.

Versuch 6: Herstellung eines Polyesters durch Polykondensation

Geräte: Reagenzglas, Bunsenbrenner

Chemikalien: D/L-Hydroxybernsteinsäure (D/L-Äpfelsäure), Glycerin

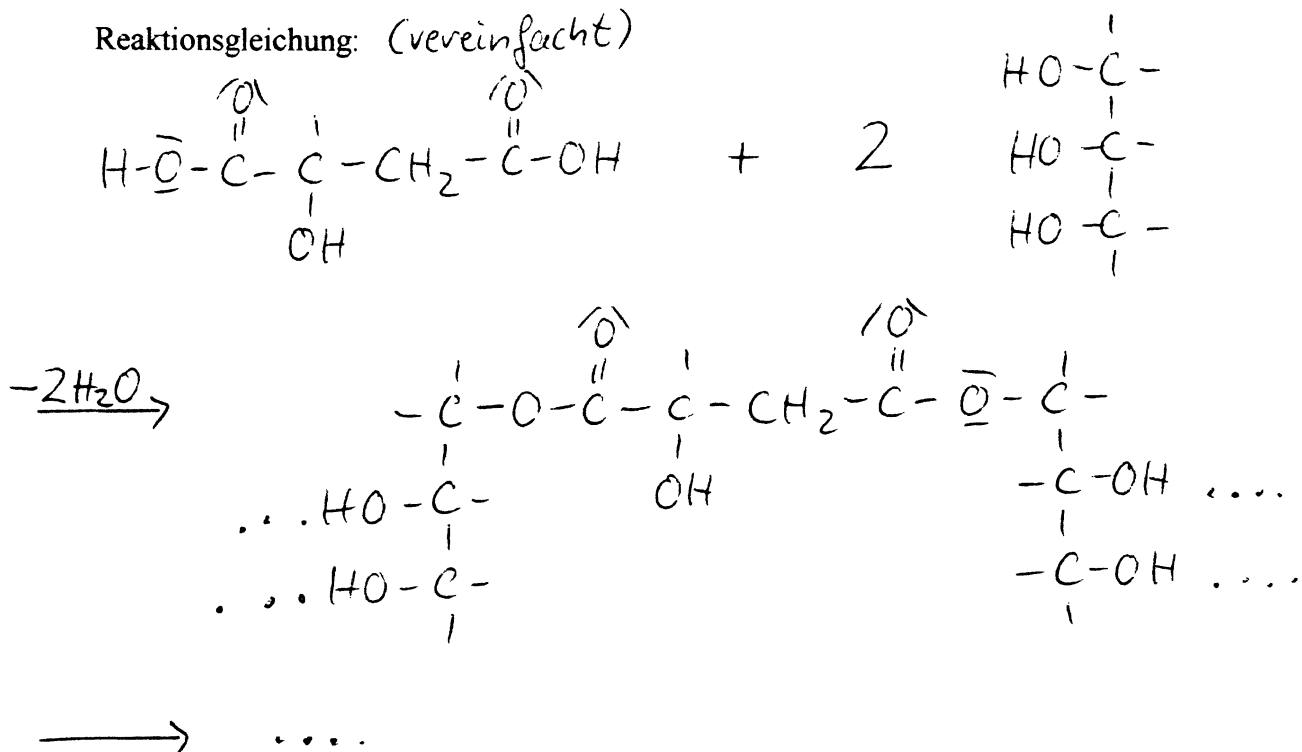
Durchführung:

Man gibt die Säure und den Alkohol zusammen und erhitzt sie in rauschender Flamme.

Innerhalb von 2-5 Minuten wird die klare Lösung dickflüssig. Erhitzt man weiter, so wird die Kondensation vollständig, das Produkt jedoch hart.

Durch Zusätze von Fettsäuren bleibt der Kunststoff elastisch. In der Industrie werden nach Eigenschaften des Kunststoffes noch weitere Zusätze verwendet.

Reaktionsgleichung: (vereinfacht)



c) Lösungsmittel - Ethyllactat

Eine Vielzahl von Lösungsmitteln muß nach neueren Erkenntnissen als umweltschädlich und toxikologisch bedenklich eingestuft werden. Hierzu zählen inzwischen alle halogenierten Kohlenwasserstoffe, die FCKW und aromatische Lösungsmittel wie Toluol und Xylol. Diese Lösungsmittel wurden in Industrie und Handwerk in erheblichem Umfang zum Entfetten, als Verdüner oder als Lacklösemittel verwendet.

Auch in der Schule dürfen diese Lösungsmittel nicht mehr eingesetzt werden. S-Ethyllactat bietet hier Alternativen.

Ethyllactat ist zwar brennbar, aber aufgrund seiner hohen Siedetemperatur von 154°C und des Flammpunktes von 54°C nicht unmittelbar feuergefährlich. Es ist unbegrenzt wasserlöslich, biologisch abbaubar und besitzt eine geringe Toxizität. Als hervorragendes Lösungsmittel für eine Vielzahl von Harzen ersetzt es aufgrund seiner günstigen Eigenschaften eine Reihe von Problemstoffen in der Industrie, aber auch in der Schule kann es sinnvoll eingesetzt werden.

Versuch 7: Löslichkeit und Bildung von monoklinem Schwefel

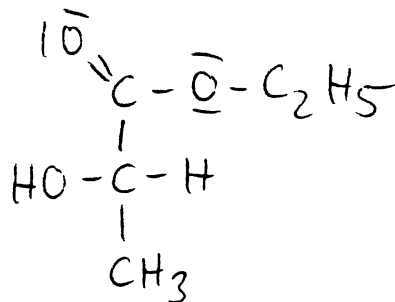
Geräte: Reagenzglas, Bunsenbrenner, Mikroskop
Chemikalien: Schwefel, S-Ethyllactat

Durchführung:

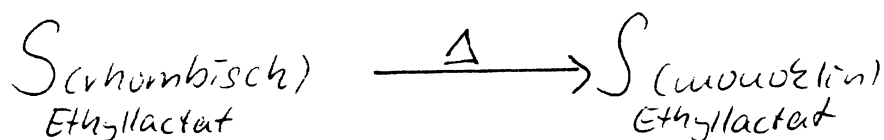
Schwefel wird in der Hitze in Ethyllactat gelöst und zum Auskristallisieren ca. 1h ruhig stehengelassen.

Ergebnis: Man erkennt stäbchenförmige Kristalle.

Die eigentliche kristalline Form des Schwefels ist die rhombische. Bei 95,6°C wandelt sich der α - Schwefel reversibel in den monoklinen β - Schwefel um.

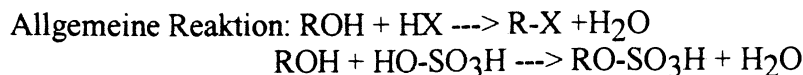


L-(+)-Milchsäureethylester (S-Ethyllactat)



B. ANORGANISCHE ESTER

Die Ester anorganischer Säuren sollen hier nur kurz aufgeführt werden:



Während bei der Umsetzung von Alkoholen mit Halogenwasserstoffsäuren zu Alkylhalogeniden die OH- Gruppe des Alkohols abgespalten wird und mit dem Proton der Säure Wasser bildet, kann bei den Sauerstoffsäuren die Wasserbildung auch aus der OH- Gruppe der Säure und dem Proton des Alkohols erfolgen.

- a) Ester der Schwefelsäure (Alkylsulfate)
 - saure Ester: z.B. Ethylschwefelsäure (Ethylhydrogensulfat)
 - neutrale Ester z.B. Dimethylsulfat =>Methylierungsmittel, Diethylsulfat
=> Verwendung als Tenside.
- b) Ester der Salpetersäure
 - aus Alkohol und konz. Salpetersäure
=> technisch wichtig: Nitroglycerin, Nitrocellulose (Schießbaumwolle)
- c) Ester der Phosphorsäure
 - neutrale Phosphorsäureester (aus Phosphorchloridoxid und dem betreffenden Alkohol)
=> Trikresylphosphat als Weichmacher für PVC-Plaste und Nitrocellulose
=> als Insektizid und Kampfstoff
- d) Ester der Borsäure
 - aus Borsäureanhydrid und Methanol/Ethanol entsteht der flüchtige Borsäure(m)ethylester
=> zum analytischen Nachweis
- e) Ester der Halogensäuren
 - aus Alkohol und Phosphorhalogeniden
 - aus Alkohol und Halogensäure
=> als Ausgangsstoffe für die Herstellung organischer Stoffklassen, Methylierungsmittel, Ethylchlorid: Vereisung
Die Reaktion verläuft nach dem Mechanismus der Esterkondensation, so daß man die Alkylhalogenide auch als Ester der Halogenwasserstoffsäuren auffassen kann.

Versuch 8: Herstellung des Triethylborsäureesters

Geräte: Porzellanschale, Bunsenbrenner, Glasstab

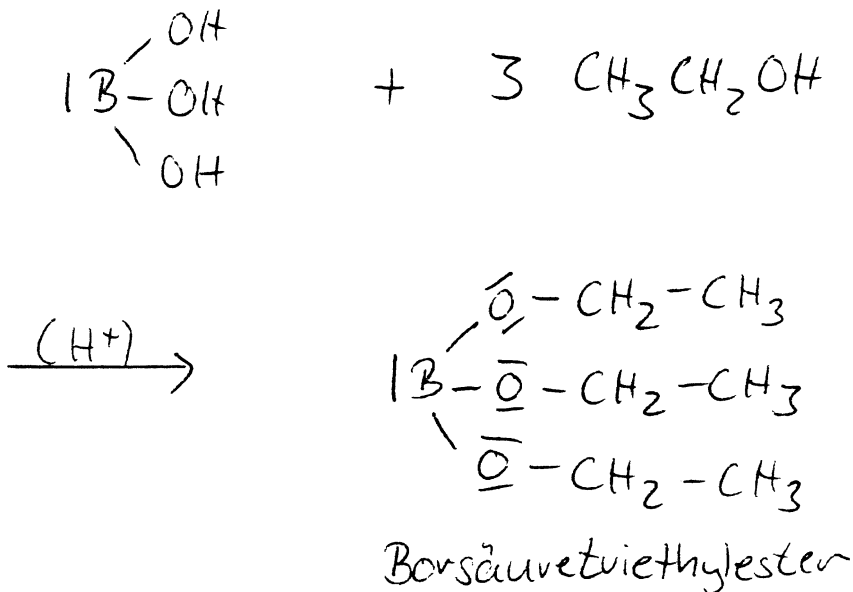
Chemikalien: Borsäure, Ethanol (F, flammbar), konz Schwefelsäure (C, ätzend)

Durchführung:

In die Porzellanschale gibt man ca. 3 ml Ethanol und 3 ml Schwefelsäure und fügt einige Spatelspitzen Borsäure hinzu. Das Gemisch entzündet man mit dem Bunsenbrenner. Die Lösung verbrennt mit einer gelb-grünen Flammenfärbung.

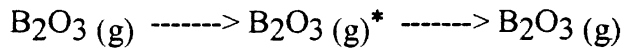
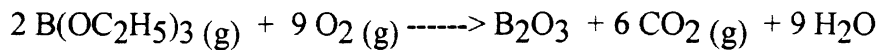
Mit Methanol als Alkoholkomponente ist die grüne Flammenfärbung intensiver. Aus gesundheitlichen Gründen wurde jedoch darauf verzichtet.

Reaktion:



Der Reaktionsmechanismus verläuft entsprechend der Esterkondensation.

Der flüchtige Borsäuretriethylester verursacht die grüne Flammenfärbung aufgrund der sekundären Bildung von angeregten B_2O_3 -Molekülen.



Den Versuch kann man auch mit Erlenmeyerkolben, Steigrohr und Bunsenbrenner durchführen, wobei das Gemisch im Erlenmeyerkolben zum Sieden erhitzt wird (Siedesteinchen!), und die Dämpfe dann entzündet werden. Mit dem Bunsenbrenner ist jedoch die Flammengröße schlecht zu regulieren. Man darf auch nicht zu wenig erhitzen, da sonst die Flamme durch den Unterdruck in das Reaktionsgemisch hineingezogen werden kann.

Literaturverzeichnis:

- 1) K. Peter, C. Vollhardt
Organische Chemie, 1. Auflage 1988; VCH Verlagsgesellschaft mbH
- 2) Morrison/ Boyd
Lehrbuch der Organischen Chemie, 3. Auflage 1986
- 3) Beyer/ Walter
Lehrbuch der Organischen Chemie, 22. Auflage 1991; S. Hirzel Verlag Stuttgart
- 4) Christen/ Vögtle
Organische Chemie Band 1, 2. Auflage 1992; Salle und Sauerländer
- 5) P. Sykes
Reaktionsmechanismen der Organischen Chemie, 9. Auflage 1988; VCH Verlagsgesellschaft mbH
- 6) Organikum, Organisch chemisches Grundpraktikum
2. berichtigter Nachdruck der 15. Auflage; VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften
- 7) Schröter, Lautenschläger, Bibrack
Taschenbuch der Chemie; 14. Auflage 1990; Verlag Harri Deutsch Thun und Frankfurt
- 8) Falbe, Regnitz
Römpp Chemie Lexikon; 9. Auflage 1992; Thieme Verlag Stuttgart
- 9) Just und Hradetzki
Chemische Schulexperimente, Band 4; Verlag Harri Deutsch, Frankfurt 1978
- 10) Nöding, Flohr
Methodik, Didaktik und Praxis des Chemieunterrichtes
- 11) Bukatsch, Glöckner
Experimentelle Schulchemie V; Aulius Verlag, Köln 1974
- 12) Praxis der Naturwissenschaften
Heft 3/42, Jahrgang 1993, Ester
- 13) Roesky, Möchel
Chemische Kabinettstücke; VCH Verlagsgesellschaft mbH