

# 1 Schwerpunkt in der Kompetenzentwicklung

Kompetenzbereich		Kompetenzentwicklung
Fachwissen-Dimension (Basiskonzept)	Handlungsdimension	am Fachgegenstand mithilfe schülerbezogener Handlungen
<p>Das <b>Donator-Akzeptor-Konzept</b> zeigt sich in der nucleophilen Addition von Ethanol an das Carboxylkohlenstoffatom von Ethansäure. Der Reaktionsmechanismus ist geprägt von einem Wechsel zwischen Protonierung, nucleophilem Angriff, Deprotonierung und Eliminierung. Die Isotopenmarkierung (Zusatzaufgabe) unterstützt dieses Konzept, weil der Weg eines einzigen Atoms verfolgt wird.</p>	<p><b>Erkenntnisgewinn</b></p> <p>Die Schüler entwickeln ausgehend von einem Text den Mechanismus der säurekatalysierten Veresterung. Der Mechanismus stellt die Auswertung des zuvor durchgeführten Experimentes dar. Dabei wenden die Schüler ihr Wissen aus dem zuvor kennengelernten Reaktionsmechanismus (<math>A_N</math>) an und eignen sich dadurch neue Fachinhalte (siehe 6 Geplanter Stundenverlauf – Lernzugewinn definieren) an. Im Mechanismus kennzeichnen sie Protonenübergänge, Angriffe und Eliminierungen. Sie präsentieren ihr Lernprodukt unter Verwendung vorgegebener Fachbegriffe.</p>	<p>Ein oder mehrere Schüler <u>fassen</u> die Durchführung des vorangegangenen Experimentes (Estersynthese) sowie die Beobachtungen auf der Grundlage der Einstiegsfolie <u>zusammen</u>. [z.B. <i>wir haben verschiedene Ester hergestellt, indem wir einen Alkohol und eine Carbonsäure zusammen gegeben haben. Als Katalysator haben wir Schwefelsäure verwendet und das Gemisch erhitzt. Die entstandenen Ester hatten unterschiedliche Gerüche vgl. Einstiegsfolie</i>]</p> <p>Die Schüler <u>fassen zusammen</u>, was sie bisher wissen und was sie noch nicht wissen. [<i>wir wissen, dass Alkohole und Säuren zu Ester und Wasser reagieren, aber nicht, was dabei genau abläuft.</i>]</p> <p>Die Schüler <u>formulieren</u> eine Hypothese auf der Grundlage ihres bisherigen Wissens. [1. <i>Es handelt sich um eine Redoxreaktion, was sich durch Bestimmung sämtlicher Oxidationszahlen überprüfen lässt.</i> 2. <i>Es handelt sich um einen Reaktionsmechanismus in dem ein Stoff, vermutlich Alkohol den anderen angreift.</i>]</p> <p>Die Schüler <u>erstellen</u> auf der Grundlage eines Textes den Mechanismus der Veresterung auf OH-Folie und <u>kennzeichnen</u> darin Protonenübergänge und Angriffe durch Pfeile. Sie <u>zeichnen</u> alle mesomeren Grenzformeln. Dabei <u>nutzen</u> die Schüler, die auf dem Arbeitsblatt angegebenen Hilfen. Starke Schüler <u>kennzeichnen</u> in ihrem Mechanismus zusätzlich den Weg eines isotopenmarkierten Sauerstoffatoms im Ethanol. [<i>Siehe 7.6 Erwartungen an das Lernprodukt und 7.5 Schülermaterial</i>]</p> <p>Einzelne Schüler <u>präsentieren</u> ihren Mechanismus vor dem Kurs am OH-Projektor unter Verwendung von Fachbegriffen. Schüler der Gruppe A <u>präsentieren</u> zusätzlich das Problem der Überprüfbarkeit von Mechanismen und den Weg des markierten O-Atoms. Die Schüler <u>vergleichen</u> den präsentierten Mechanismus mit ihrem Lernprodukt und <u>weisen</u> auf eventuelle Fehler <u>hin</u>. [<i>Siehe 7.6 Erwartungen an das Lernprodukt und 7.4 Arbeitsaufträge sowie 7.5 Schülermaterial</i>]</p>

## 2 Lernvoraussetzungen

Am 18.01.10 übernahm ich den 12 LK Chemie von Herr Kremer. Zuvor habe ich 4 Wochen (seit dem 30.11.09) bei ihm hospitiert. Seit der Übernahme habe ich 21 reale Stunden im Kurs unterrichtet. Der Kurs setzt sich aus 12 Schülern und 3 Schülerinnen zusammen. Anfangs waren sowohl die Schüler, als auch deren Eltern dagegen, dass eine Referendarin den Kurs unterrichtet und die Stammkursleitung übernimmt. Zum Glück hat sich die anfängliche Ablehnung ins Gegenteil gekehrt und die Atmosphäre im Kurs kann ich als sehr lernförderlich bezeichnen. Wesentlich zur guten Atmosphäre haben meine Bemühungen zur Binnendifferenzierung beigetragen, die ich vor den Schülern offen lege. Die Heterogenität des Kurses beeinflusst das Lernen der Schüler sowie meine Unterrichtsplanung sehr stark, so dass dieses Thema im Folgenden noch eine Rolle spielen wird.

Leider sind unmittelbar vor der Lehrprobe, zusätzlich zu den Fastnachtstagen, unerwartet 3 Unterrichtsstunden ausgefallen. Für den Einstieg in das neue Thema nach dem 2. Unterrichtsbesuch, blieb also äußerst wenig Zeit. Die Schüler haben sich die Problemstellung deshalb anhand von bereitgestelltem Informationsmaterial zu Hause selbst erarbeitet. Zur Durchführung des Experimentes erhielten sie eine Versuchsanleitung. Dies hat Konsequenzen für den Stundeneinstieg in der Lehrprobe (siehe 4.5 Didaktische Rekonstruktion).

Die erste Chemiekursarbeit, mit mir als Lehrerin, schreibt der Kurs eine Doppelstunde nach der Lehrprobe. In der Kursarbeit wird ebenfalls von den Schülern ein unbekannter Reaktionsmechanismus auf gleiche Weise erarbeitet werden müssen. Die gehaltene Lehrprobe dient also gleichermaßen als Vorbereitung und Übung für die Kursarbeit. Die erworbene Kompetenz kann von mir direkt überprüft werden.

## 3 Fachgegenstand

In vielen der heute käuflichen Lebensmittel sind Aromastoffe zugesetzt. Diese müssen auf der Zutatenliste lediglich mit dem Wort „Aromen“ gekennzeichnet werden. Dabei ist für den Kunden nicht ersichtlich, ob es sich um natürliche Aromen, welche häufig aus Pflanzen gewonnen werden, um naturidentische, welche zwar künstlich hergestellt werden, aber in genau der selben Struktur in der Natur vorkommen oder um künstliche Aromen handelt. Wird in der Zutatenliste jedoch das Wort Aroma aufgelistet, kann man davon ausgehen, dass es sich mindestens um naturidentische, wenn nicht sogar um künstliche Aromen handelt. Natürliche Aromen werden oft auch als solche benannt, da dies positiv auf das Kaufverhalten der Kunden wirkt. Natürliche Aromen sind sehr komplex. So besteht zum Beispiel Birnenaroma, welches aus reifen Birnen gewonnen wird, aus Alkoholen, Ester, Alkenen sowie aus aromabestimmenden Bestandteilen der Methyl- und Ethylester der trans,cis-Deca-2,4-diensäure sowie Essigsäurehexylester [1]. Erstaunlich ist, dass jedoch auch einzelne Bestandteile ausreichen, um beim Menschen den Eindruck von Birnengeruch oder -geschmack zu erwecken. So riechen einige Ester, wie z.B. Methansäurepentylester und Ethansäurepentylester birnenartig (Ergebnisse des Schülerexperiments). Dies ist so zu erklären, dass diese Ester in der

menschlichen Nase an dieselben Rezeptoren andocken, wie die natürlichen Aromen der Birne und dadurch dieselben Signale ans Gehirn senden. Es entsteht der Eindruck von Birnengeruch.

Im Labor werden Ester im Reagenzglas folgendermaßen hergestellt: ein Alkohol und eine Carbonsäure werden in ein Reagenzglas pipettiert. Die Reaktion wird mit konzentrierter Schwefelsäure gestartet und das Reagenzglas wird für einige Minuten bei ca. 90°C im Wasserbad erhitzt. Dann wird es in einen Reagenzglasständer gestellt und mit Wasser aufgefüllt. Es bildet sich sofort die obere Esterphase [6]. Ester sind in Wasser schwer löslich [1]. Gibt man einen Tropfen der auf diese Weise hergestellten Ester auf jeweils ein separates Filterpapier, kann man die unterschiedlichen Gerüche der hergestellten Ester vergleichen. Man stellt fest, dass die Gerüche der Ester ebenso an bekannte Aromen erinnern, wie das bei dem Geschmack von Gummibärchen der Fall ist.

Hinter der Synthese dieser so genannten Fruchtster steckt der Mechanismus der Veresterung. Siehe hierzu 7.6 „Erwartungen an das Lernprodukt“.

Die Veresterung ist eine typische Gleichgewichtsreaktion. Die Reaktionsgeschwindigkeit ist jedoch so gering, dass sich das Gleichgewicht bei Raumtemperatur erst nach mehreren Tagen einstellt.

Reaktionsmechanismen können rein hypothetisch sein. Oft gibt es jedoch Hinweise auf ihre Richtigkeit. Der Mechanismus der Veresterung z.B. konnte belegt werden. Dies gelang durch den Einsatz von isotopenmarkiertem Alkohol. Das Sauerstoffisotop  $^{18}\text{O}$  war nach Ablauf der Reaktion im Ester zu finden, nicht aber im Wasser. Siehe hierzu 7.5 „Schülermaterial“ Abschnitt: Zusatzaufgabe.

Da es sich bei der Veresterung um eine Gleichgewichtsreaktion handelt, kann sie auch in umgekehrter Richtung ablaufen. Die säurekatalysierte Esterhydrolyse führt dabei wieder zu einem Gleichgewicht. Bei der basenkatalysierten Hydrolyse lassen sich Ester jedoch quantitativ spalten. Diese, als Verseifung bezeichnete Reaktion, wird bei der Herstellung von Seife aus Fetten verwendet [1].

## 4 Lerngegenstand

### 4.1 Bedeutung des Themas für die Schüler

#### Kontext:

Die gehaltene Reihe steht unter dem großen Kontext „Vom Alkohol zum Aromastoff“. Jede Lerneinheit dieser Reihe war für die Schüler sehr lebensweltnahe, da sie den Alkohol Ethanol natürlich kennen, genauso wie seine Auswirkungen auf ihren Körper. Da der Alkohol Ethanol immer wieder in den Mittelpunkt der Betrachtungen gerückt wurde, so wird er auch in dieser Stunde beispielhaft bei der Mechanismuserstellung gebraucht (Synthese von Ethansäureethylester aus Ethansäure und Ethanol). Der kleine Kontext dieser Stunde „Aromen in Goldbären und Blutwurst“ motiviert die Schüler zusätzlich. Gleichzeitig zeigt dieser Kontext die Bandbreite verschiedener Quellen von Aromastoffen auf: natürliche, naturidentische und künstliche. Die Schüler zeigten sich an diesem Kontext sehr interessiert. Vielleicht regt er den ein oder anderen Schüler sogar dazu an, zukünftig etwas genauer auf die Zutatenliste

von Lebensmitteln zu schauen oder sogar selbst weiter zu diesem Thema zu recherchieren.

#### Motivation:

Der Kurs ist an und für sich schon sehr motiviert, vor allem, was den Kompetenzbereich Erkenntnisgewinn betrifft. Die Schüler wollen Neues entdecken und Herausforderungen bewältigen. Dazu ist, wie sich gezeigt hat, nicht unbedingt ein Alltagskontext notwendig. Auch chemische Fragestellungen nehmen die Schüler gerne an. Meine bisherigen Erfahrungen im Kurs haben gezeigt, dass der Anforderungsbereich der Aufgabenstellung entscheidend zur Motivation der Schüler beiträgt. Hier ergibt sich das Problem, dass eine geeignete Binnendifferenzierung erforderlich ist. (Siehe 4.4 Lernerperspektive). Schwache Schüler zeigten nur Motivation, wenn sie sich den gestellten Anforderungen gewachsen sahen. Starke Schüler verloren jedoch bei gleicher Aufgabenstellung das Interesse, weil sie die Lösung sehr schnell erkannten.

#### Basiskonzept:

Die Schüler haben in der Reihe „Vom Alkohol zum Aromastoff“ ihr Donator-Akzeptor-Konzept sehr stark weiter entwickelt. Dazu zählte die Elektronenübergabe bei der Oxidation von Alkoholen und Aldehyden an das jeweilige Oxidationsmittel, genauso wie die Protonierung und Deprotonierung im Mechanismus der  $A_N$ . In der Lehrprobenstunde wenden die Schüler ihr Wissen über dieses Konzept am Mechanismus der Veresterung an, bevor der Blick der Schüler im selben Mechanismus auf das Basiskonzept chemisches Gleichgewicht gelenkt wird. Siehe hierzu Punkt 4.2 Bezug zu Lehrplan und EPA.

#### Kompetenz:

Die Schüler wandeln einen Text in einen Reaktionsmechanismus um, was dem Erkenntnisgewinn dient. Zuvor haben sie im Schülerexperiment verschiedene Fruchtester arbeitsteilig hergestellt. In der Lehrprobe vollziehen sie nach, was chemisch gesehen während der Reaktion passiert ist. Einen Mechanismus auf der Grundlage eines Textes zu erstellen wurde zuvor schon am Mechanismus der nucleophilen Addition der Aminogruppen der DNA an Formaldehyd geübt. Zur Erstellung des Estermechanismus wird diese Methode noch einmal angewendet. Die Erkenntnisse aus dem ersten Mechanismus sind dabei für die Schüler erforderlich um das neue Problem zu lösen.

## **4.2 Bezug zu Lehrplan und EPA**

Der Mechanismus der Veresterung findet sich im Lehrplan im Pflichtbaustein 117: „Synthesen IV – Ester-Herstellung und Spaltung (Veresterung, Vorkommen und Verwendung z.B. als Aromastoff)“ und im Pflichtbaustein 118: „Synthesen V – Reaktionen an der Carbonylgruppe (Mechanismus der Esterbildung und Esterspaltung)“

Nach den Vorgaben der EPA ist die Lehrprobenstunde dem Basiskonzept Donator-Akzeptor zuzuordnen, obwohl es sich bei der Veresterung um eine Gleichgewichtsreaktion handelt. Jedoch liegt der gehaltenen Reihe „Vom Alkohol zum Aromastoff“ das Donator-Akzeptor-Konzept zugrunde. Dies wird auch bei der Herstellung des Aromastoffes weiter entwickelt. Erst im weiteren

Verlauf der Lerneinheit wird der Mechanismus dann unter dem Basiskonzept Chemisches Gleichgewicht betrachtet.

In der Lehrprobenstunde wenden die Schüler ihr Wissen über Merkmale, Verlauf und Bedingungsabhängigkeit chemischer Reaktionen an z.B. Protonierung im sauren Milieu startet eine Reaktion, Protonen können als Katalysator dienen und werden somit im Verlauf der Reaktion regeneriert, ... (Fachkenntnisse). Weiter wenden sie geeignete Modelle zur Beschreibung und Erklärung chemischer Sachverhalte an z.B. Mesomerie der Carboxygruppe zur Erklärung des nucleophilen Angriffs am Carboxyl-C-Atom (Erkenntnisgewinn).

### 4.3 Interdependenz: Vom Alkohol zum Aromastoff

- |   |       |
|---|-------|
| 1. Wirkung von Alkohol  | (9 h) |
| <ul style="list-style-type: none"><li>➤ Wie wird Bier, Schnaps und Wein hergestellt? Gärung / Destillation Gruppenarbeit, Vorträge, K</li><li>➤ Exkurs: Physikalische Eigenschaften, Wirken von intramolekularen Kräften durch Auswerten von Tabellen und Diagrammen, K</li><li>➤ Woher kommt der Kater? Oxidation von Ethanol im Körper, Aufstellen von Redoxgleichungen, E</li><li>➤ Wieviel Bier, Schnaps oder Wein darf man trinken, bis man 0,5‰ hat? Promilleberechnungen</li><li>➤ Wie funktionieren Alkoholnachweise? Oxidation von Alkoholen mit Kaliumdichromat und Kupferoxid, Schüler- und Lehrerexperimente, E</li><li>➤ Die Begleitalkoholanalyse ergänzt den Alkotest: Entstehung verschiedener Oxidationsprodukte bei der Oxidation prim., sek. und tert. Alkohole, Erkenntnisgewinn, Lehrerdemoexperiment, E</li></ul> |       |



- |  |       |
|--|-------|
| 2. Die Oxidationsprodukte der unvollständigen Oxidation:<br>Carbonylgruppe   | (8 h) |
| <ul style="list-style-type: none"><li>➤ Wie kann man die Oxidationsprodukte z.B. bei der Begleitalkoholanalyse unterscheiden? Aldehyde und Ketone reagieren in der Fehling-Probe unterschiedlich, Schülerexperiment, E</li><li>➤ Exkurs: Physikalische Eigenschaften der Aldehyde und Ketone, K</li><li>➤ Wie entsteht Krebs durch Formaldehyd? Mechanismus der A<sub>N</sub>, E</li></ul> |       |



- |   |       |
|---|-------|
| 3. Die Oxidationsprodukte der vollständigen Oxidation:<br>Carboxygruppe   | (5 h) |
| <ul style="list-style-type: none"><li>➤ Vollständige Oxidation zu Carbonsäuren: was macht die Carbonsäuren sauer? Mesomerie, Aciditätsvorhersage durch Analyse der wirkenden induktiven Effekte, E</li><li>➤ Wie benennt man Verbindungen mit mehreren funktionellen Gruppen? Nomenklatur nach IUPAC, Übungen</li></ul> |       |



4. Aromen in Goldbären und Blutwurst? (ca. 8 h)
- Was ist der Unterschied zwischen natürlichen und künstlichen Aromen? K
  - Wie werden Aromen hergestellt? Veresterung: Herstellung verschiedener Fruchtester in Schülerexperimenten, E
  - **Aufklärung des Mechanismus der Veresterung anhand eines Textes, E: → LP**
  - Wie kann man einen Mechanismus belegen? Isotopenmarkierung
  - Die Veresterung ist eine Gleichgewichtsreaktion: säurekatalysiert erhält man ein Gleichgewicht, basenkatalysiert spaltet sich der Ester
  - industrielle Anwendung: Herstellung von Seife (SDV)

#### 4.4 Lernerperspektive

Die Schüler haben mir nach den ersten 3 Wochen meines Unterrichts rückgemeldet, dass sowohl Anspruch, als auch Tempo im Vergleich zu früher, spürbar gestiegen sind. In einem Gespräch zeigte sich, dass 8 Schüler darunter litten und die übrigen 7 sich über die Herausforderung sogar freuten. Ich muss also von einer sehr großen Heterogenität bezüglich der Leistungsfähigkeit der Schüler ausgehen, die den Schülern ebenso bewusst ist. Um den Spagat zu schaffen, dass die eine Hälfte der Schüler den Anforderungen gewachsen ist, ohne dass sich die andere Hälfte zur gleichen Zeit langweilt, ist eine Binnendifferenzierung während der Erarbeitung neuer Fachinhalte äußerst wichtig. Sie wird von dem gesamten Kurs gerne angenommen und sogar gewünscht.

Die starken Schüler erhalten Arbeitsblatt A. Sie müssen selbstständig erkennen, wie das Katalysator-Proton aus der Schwefelsäure entsteht. Dies wurde vor 6 Wochen schon einmal eingeführt und seitdem nicht mehr geübt. Allerdings ist dieser Schritt für die Erstellung des Mechanismus nicht unbedingt erforderlich, sondern lediglich eine Ergänzung. Für die schwächeren Schüler (Gruppe B) wird dieser Schritt jedoch vorgegeben. Bei der Präsentation ist die Gruppe B der stärkeren Gruppe A in dieser Hinsicht vielleicht einen Schritt voraus und kann eine Präsentation ergänzen, was das Könnensbewusstsein der schwächeren Schüler fördern soll, weil sie einen Zusammenhang gesehen haben. Die Gruppe A muss den Transfer leisten von der Mesomerie der protonierten Carbonylgruppe zur Mesomerie der protonierten Carboxygruppe. Der Gruppe B wird die Mesomerie vorgegeben, da sonst die Gefahr besteht, dass der nun folgende nucleophile Angriff des Ethanol an der falschen Stelle geschieht, was einen völlig falschen Mechanismus und Frustration der Schüler zur Folge haben würde. Für beide Gruppen wird ein Zettelkasten: Lexikon angeboten, der die Unterschiede von intra- und intermolekularen Protonenübergängen klar macht. Diese Begriffe sind neu für die Schüler. Außerdem hat sich gezeigt, dass der größte Teil des Kurses Probleme hat, sich Kräfte innerhalb eines Moleküls (z.B. I-Effekte) und Kräfte zwischen den Molekülen (z.B. Wasserstoffbrückenbindungen) vorzustellen. Deutlich wurde

dies an falschen Begründungen und Verwechslungen z.B. bei physikalischen Eigenschaften der Alkohole oder der Säurestärke von Carbonsäuren. Für Gruppe B wird dieser Schritt der Protonenübertragung an einer allgemeinen Struktur mit R für Rest zusätzlich visuell verdeutlicht. Für die Schüler neu ist ebenfalls der Begriff Eliminierung. Eliminierungsreaktionen hat der Kurs bisher noch nicht kennen gelernt. Als dem Kurs bekannt werden folgende Begriffe eingestuft: Protonierung, Deprotonierung, Addition, nucleophil, Mesomerie, Carbenium-Ion und Oxonium-Ion. Da der Gleichgewichtspfeil in meinem Unterricht zum ersten Mal auftaucht, wird gesondert darauf hingewiesen. Starke Schüler des Kurses haben die als bekannt eingestuften Begriffe mit großer Wahrscheinlichkeit im Kopf. Bei schwächeren Schülern ist dies nicht sicher. Tauchen Probleme auf, wird diesen Schülern mündlich weiter geholfen. Jedoch sollen sie auch spüren, dass ihre Schwierigkeiten aus mangelhaftem Lernen von Begriffen resultieren. Aus diesem Grund und weil die Begriffe in letzter Zeit oft im Unterricht gebraucht wurden, werden keine Hilfekarten oder Hilfen auf dem Arbeitsblatt angeboten. Die Zusatzaufgabe soll starken Schülern einen Anreiz geben, weiter zu arbeiten und aufkommende Langeweile verhindern. Da das Problem auf dem gleichen Arbeitsblatt der Gruppe A steht, wie die eigentliche Erarbeitung, soll das Interesse sofort geweckt werden. Die leistungsstarken Schüler sind sehr wissbegierig und wollen ihre Leistungsfähigkeit gerne testen und auch zeigen. Deshalb werden sie mit Sicherheit die Problemstellung lesen und versuchen die Frage nachzuvollziehen. Voraussetzung hierzu ist, dass ihnen die Bearbeitung wenig Probleme bereitet hat. Eine Kontrolle des erarbeiteten Mechanismus ist beiden Gruppen möglich, da die abgedruckte Reaktionsgleichung das Produkt (Ethansäureethylester) zeigt.

#### **4.5 Didaktische Rekonstruktion und didaktische Reduktion**

Die gehaltene Lehrprobenstunde ist unter „Sicher werden und üben“ im Lernfermenter einzuordnen. Wobei jedoch auch neue Erkenntnisse erlangt werden. Auf eine ausführliche Problemfindung wird deshalb verzichtet. An dieser Stelle ist es sinnvoll die Versuchsergebnisse der vorherigen Stunde von dem Kurs zusammenfassen zu lassen. Dies gewährleistet, dass sich die Schüler wieder in die von ihnen erarbeitete Problemstellung einfinden: Wie werden künstliche Aromen hergestellt? Die Schüler haben in der Stunde vor der Lehrprobe selbst Aromen (Fruchtester) hergestellt und können somit gedanklich durch einen Anker (Folie der beobachteten Gerüche) und eine kurze Wiederholung der Versuchsdurchführung in das Thema der Stunde geführt werden. Wie schon unter 4.1 Bedeutung des Themas für die Schüler unter dem Stichwort Basiskonzept deutlich wurde, baut die Lehrprobenstunde das Donator-Akzeptor-Konzept der Schüler weiter aus. Auf das eigentliche chemische Gleichgewicht, für das die Veresterung ein typisches Beispiel liefert, wird erst eingegangen, wenn sich das Donator-Akzeptor-Konzept gefestigt hat. Dabei sollen die Schüler jedoch den Mechanismus von Anfang an mit Gleichgewichtspfeilen schreiben. Die Schüler an dieser Stelle bewusst einen Fehler machen zu lassen wäre nicht sinnvoll, weil so das spätere Verständnis für das chemische Gleichgewicht erschwert werden würde. Da der Fehler nicht von den Schülern käme, könnten sie auch nicht daraus lernen. Im Gegenteil, es würde für Verwirrung sorgen. Da jedoch in dieser Stunde nicht weiter auf das chemische Gleichgewicht eingegangen wird, erzeugt der Gleichgewichtspfeil in

den Schülerköpfen kein Durcheinander der Konzepte, sondern wird einfach hingenommen werden, weil das Problem ein ganz anderes ist. Dies wird visuell auf dem Arbeitsblatt durch die Lupe und den Hinweis „heute im Fokus“ unterstützt. Die Esterhydrolyse (sauer und alkalisch) wird in dieser Stunde nicht angesprochen. Dies wird erst Thema nach der Kursarbeit sein, welche ganz unter dem Basiskonzept Donator-Akzeptor steht.

Ein sehr wichtiger Aspekt in dieser Stunde ist die Binnendifferenzierung. Da hierauf unter 4.4 Lernerperspektive ausführlich eingegangen wurde, wird dies an dieser Stelle nicht noch einmal wiederholt.

In dieser Lerneinheit wird nicht tiefer darauf eingegangen, welcher Ester welches Aroma liefert, obwohl diese Informationen in der Literatur verfügbar sind. Für diese Entscheidung gibt es mehrere Gründe: zum einen hat sich in der Praxis gezeigt, dass Ester oft anders riechen, als sie laut Literatur riechen sollen. Eine Fehleranalyse hierzu würde zwar die Kompetenz Erkenntnisgewinn fördern, wäre jedoch sehr umfangreich und würde wenige gesicherte Erkenntnisse liefern. Noch dazu war sie aus zeitlichen Gründen (siehe 2 Lernvoraussetzungen Stichwort Stundenausfälle) nicht durchzuführen. Ein weiteres Argument ist die Subjektivität der Sinneseindrücke, wovon auch der Geruchssinn nicht ausgeschlossen ist. Dieser Punkt wurde vom Lehrer angeführt, als Uneinigigkeiten bezüglich der Versuchsbeobachtungen auftraten. Wichtig ist, dass die Schüler erkennen, dass verschiedene Fruchtester unterschiedlich riechen und dass diese Aromenfülle durch den Einsatz verschiedener Alkohole und Carbonsäuren erreicht wird. Dazu ist eine genaue Zuordnung der Fruchtester zu verschiedenen Gerüchen nicht erforderlich. Die im Einstieg verwendete Tabelle ist deshalb ein Schülerprodukt und entspricht nicht in allen Beobachtungen den Literaturwerten.

Obwohl 7 verschiedene Fruchtester im Kurs hergestellt wurden, wird der Mechanismus nur an einem Beispiel besprochen. Hierzu wird die Veresterung von Ethansäure mit Ethanol ausgewählt. Diese beiden Stoffe sind den Schülern im Unterricht bisher häufig begegnet (Ethanolabbau im Körper, Katersymptome,...) was einen gewissen Widererkennungseffekt bewirken soll. Denn Lernen beinhaltet immer auch Erkennen. Neues sollte also nach Möglichkeiten an Bekanntes anknüpfen und höchstens 15 % ausmachen [8]. Weniger vertraute Substanzen würden vor allem für schwächere Schüler, ein weiteres Problem aufwerfen, welches das eigentliche Ziel der Stunde (Erstellen eines Reaktionsmechanismus) erschweren würde.

## **5 Lehr-Lern-Prozess**

### **Problemstellung entdecken**

Wie schon unter 4.5 „Didaktische Rekonstruktion und Reduktion“ erwähnt wurde, ist die Lehrprobenstunde in einigen Aspekten mitten im Lernfermenter, ansonsten sogar am Ende bei „Sicher werden und Üben“ einzuordnen. Die Problemstellung ist nach dem Experiment schon in den Köpfen der Schüler und wird mit Hilfe eines Ankers am Anfang der Stunde bewusst gemacht. Als Anker dient die Tabelle der Schülerbeobachtungen, die nicht mit Literaturwerten abgeglichen wurden. Siehe hierzu ebenfalls 4.5. Sowohl die Beobachtung, als auch die Durchführung des Experimentes wird von einigen Schülern kurz



wiederholt. Die Schüler formulieren ganz konkret, was sie schon wissen und was sie noch nicht wissen. Den Schülern könnte nicht direkt klar sein, worin ihr „nicht-Wissen“ besteht. Hier hilft der Lehrer durch einen kleinen Impuls in Form eines Fragezeichens über dem Gleichgewichtspfeil der Reaktionsgleichung. Dieser Impuls kann durch eine Frage des Lehrers ergänzt werden, z.B.: Was passiert hier? Einen ähnlichen Impuls kennen die Schüler bereits vom Mechanismus der nucleophilen Addition der DNA an Formaldehyd. Das Wiedererkennen soll die Schüler zur Entwicklung eigener Vorstellungen auf der Grundlage ihres bisherigen Kenntnisstandes anregen.

### **Eigene Vorstellungen entwickeln**

Die Schüler könnten vermuten, dass ein Reaktionsmechanismus hinter der Veresterung steckt. Sollte die Ähnlichkeit der Impulsfolie nicht ausreichen um diese Vermutung zu provozieren, kann der Lehrer auch direkt den Vergleich mit dem bekannten Mechanismus fordern. Da die Schüler in der letzten Zeit deutlich mehr Redoxreaktionen erstellt haben als Reaktionsmechanismen entwickelt, könnten einige auf die Idee kommen, dass es sich bei der Veresterung um eine Redoxreaktion handeln könnte. Diese Hypothese wird in das Tafelbild aufgenommen, sobald der Kurs geklärt hat, wie man diese Hypothese überprüfen kann. Als Hilfe kann der Lehrer das Stichwort Oxidationszahl in den Kurs geben, woraufhin die Schüler auf die Idee kommen sollten, sämtliche Oxidationszahlen der Atome zu bestimmen. Weiter wird vom Lehrer nachgehakt, welches Ergebnis man erhalten würde, sollte diese Hypothese stimmen. Die Schüler müssen daraufhin herausstellen, dass ein Atom die Oxidationszahl verringert, während ein anderes Atom seine Oxidation im Zuge der Reaktion erhöht. Ist dies klar, wird die Hypothese an die Tafel geschrieben. Vermuten die Schüler eine Redoxreaktion wird vom Lehrer eine weitere Hypothese gefordert. Vermuten die Schüler einen Reaktionsmechanismus, belässt es der Lehrer dabei und lockt die Schüler nicht auf die falsche Fährte der Redoxreaktionen.

### **Informationen problemorientiert auswerten**

Der Abschnitt 4.4 „Lernerperspektive“ enthält viele wichtige Informationen, die auch in diesem Abschnitt von Bedeutung sind. Um Redundanz zu vermeiden ergänzt Abschnitt 4.4 den vorliegenden Abschnitt mit der Erläuterung der Binnendifferenzierung, wozu auch die Zusatzaufgabe zählt. Dies wird hier also nicht noch einmal angeführt.

Die Schüler haben die Aufgabe den Mechanismus der säurekatalysierten Veresterung aus einem Text zu entwickeln. Alternativ könnte man den Schülern auch einen unvollständigen Mechanismus mit Lewis-Formeln anbieten. Die Schüler hätten dann die Aufgabe, den Mechanismus zu vervollständigen. Vorschlag 1 bietet jedoch den Vorteil des Wiedererkennens, was förderlich auf das Lernen und Verstehen der neuen Inhalte wirkt, vergleiche hierzu 4.4 „Lernerperspektive“ und Quelle 8. Eine weitere Möglichkeit wäre dem Kurs den Mechanismus zerschnitten zu überlassen. Die Aufgabe bestünde dann darin die einzelnen Lewis-Formeln in die richtige Reihenfolge zu bringen. Dieser Möglichkeit wurde für diesen Chemie-Kurs ausgeschlossen, weil es eine Unterforderung darstellen würde. Unterforderung wirkt auf den größten Teil des Kurses demotivierend. Weiter ist der Erkenntnisgewinn deutlich höher, wenn die

Schüler die einzelnen Lewis-Formeln selbst zeichnen müssen. Die Schüler müssen ganz genau verstehen, was während der Reaktion passiert um dies zu leisten. Das hat den Vorteil, dass eventuelle Probleme oder Fehlinformationen (z.B. falsche Bindigkeit von Atomen, falsche Ladungsangaben,...) einzelner Schüler vom Lehrer sofort diagnostiziert und behoben werden können. Weiter verarbeiten die Schüler die Informationen im vorliegenden Arbeitsauftrag auf mehreren Ebenen: Sie lesen den Verlauf des Mechanismus als Text, stellen sich den Verlauf bildlich im Geist vor, beziehen angegebene Lewisformeln (Gruppe B: Mesomerie und intramolekularer Protonenübergang) in ihre Überlegungen ein und bringen den Mechanismus handschriftlich auf Folie. Während der Präsentation sehen sie den Mechanismus in Lewisformeln und gleichen ihn mit ihrem Mechanismus ab. Zusätzlich beschreiben sie die Abläufe noch einmal in Worten und/oder hören ihn in Worten formuliert. Keiner der bisher vorgeschlagenen Alternativen bietet den Schülern dermaßen viele Möglichkeiten handelnd mit dem Wissen über Reaktionsmechanismen umzugehen, wie die für diese Stunde ausgewählte Methode.

In diesem Kurs ist eine unterschiedliche Forderung der Schüler notwendig, weil der Kurs ein großes Spektrum an Leistungsfähigkeit zeigt. Um jedem Schüler gerecht zu werden, werden dem Kurs zwei verschiedene Arbeitsblätter angeboten. Die Schüler dürfen sich selbst einschätzen und das entsprechende Arbeitsblatt (A ohne Hilfe also schwer und B das normale Blatt mit Hilfen) vom Lehrer verlangen. Jedoch bleibt die endgültige Entscheidung, wer welches Arbeitsblatt bekommt, dem Lehrer überlassen. Grundsätzlich gilt: lieber mit dem schweren anfangen. Denn die Schüler haben zu jeder Zeit der Stunde die Möglichkeit das jeweils andere Blatt einzufordern. Es gibt für jeden Schüler sowohl Blatt A als auch Blatt B. Dies könnte notwendig werden, wenn jemand aus Gruppe A sich übernommen hat und nicht weiter kommt oder jemand aus Gruppe B unerwartet schnell fertig geworden ist und gerne die Zusatzaufgabe machen möchte. Vor der Erarbeitungsphase muss der Lehrer den Schülern die Möglichkeiten offen legen und/oder einzelne Schüler während der Erarbeitung darauf aufmerksam machen.

### **Lösungen kommunizieren und Fehler reflektieren**

Welche Gruppe den Mechanismus präsentiert kann abschließend erst in der Stunde entschieden werden. Die Entscheidung hängt von folgenden Faktoren ab: ist die Binnendifferenzierung gelungen und beide Gruppen sind gleich schnell fertig, so wird ein Schüler aus Gruppe A präsentieren. Grund ist, dass Gruppe B die Dissoziation der Schwefelsäure ergänzen kann. Sind die Schüler aus Gruppe B eher fertig als Gruppe A, die zusätzlich die Isotopenmarkierung vorbereitet haben, so stellt ein Schüler aus Gruppe B den Mechanismus vor, damit Gruppe A den Beleg für den Mechanismus ergänzen kann. Brauchen alle Gruppen viel mehr Zeit als erwartet, wird ein Schüler unabhängig vom benutzten Arbeitsblatt gewählt, dessen Folie am vollständigsten ist, damit eine Zwischensicherung erreicht werden kann. Wünschenswert wäre eine Folie vorzustellen, die möglichst wenig Fehler enthält oder Flüchtigkeitsfehler aufweist, die dann gemeinsam verbessert werden. Einen sehr falschen Mechanismus vorstellen zu lassen, wirkt auf den präsentierenden Schüler in diesem Kurs demütigend. Dieses Vorgehen stellt keine Lernchance dar. Sinnvoller ist es, wenn jeder Schüler den „guten“ Mechanismus noch einmal nachvollzieht und daraufhin in der Lage ist, seine eigenen Fehler zu erkennen und zu beheben. Der allgemeine Mechanismus der Veresterung ist im

Schulbuch auf S. 271 abgedruckt, so dass alle Schüler die Möglichkeit haben, diesen Lernprozess auch zu Hause in Ruhe abzuschließen.

Während des Vortrages muss der präsentierende Schüler die im Arbeitsauftrag geforderten Begriffe sinnvoll in die Präsentation integrieren: Addition, Eliminierung, mesomeriestabilisiert und Katalysator. Diese Begriffe decken sich weitgehend mit dem Lernzugewinn und werden vom Lehrer eingefordert. Somit wird während des Vortrages deutlich, ob der Schüler das neu Gelernte auch verstanden hat. Die Schüler sind durch den Arbeitsauftrag informiert, dass sie diese Begriffe in der Präsentation verwenden müssen und beschäftigen sich somit schon während der Erarbeitung damit. Auf diese Weise gehen sie handelnd mit ihrem bekannten (Mesomerie, Addition), als auch mit dem neu erworbenen Wissen um.

### **Sicher werden und üben: Hausaufgaben**

In diese Phase fällt auch der Vortrag von Gruppe A über die Möglichkeit, den Mechanismus mit isotoopenmarkiertem Sauerstoff im Ethanol zu belegen. Alle Schüler verfolgen den Weg des  $^{18}\text{O}$ -Isotops in ihrem Mechanismus. Als Hausaufgabe müssen alle Schüler das Isotop in ihrem Mechanismus kennzeichnen. Auch hier haben die Schüler die Möglichkeit die Informationen des Vortrages im Schulbuch nachzulesen. Somit dürfte die Hausaufgabe für keinen Schüler ein Problem darstellen, egal ob sie den zusätzlichen Vortrag nachvollziehen konnten, oder ob es ihnen in dieser Stunde zu viele Informationen auf einmal waren. Die Schüler übertragen den Mechanismus in ihr Heft. Durch das zweimalige Schreiben soll der Mechanismus zusätzlich gefestigt werden.

### **Zeitvariabilität**

Sehr schnelle Schüler, egal ob sie das Arbeitsblatt A oder B bearbeitet haben, machen die Zusatzaufgabe, die am Lehrerpult für jeden Schüler in einer Kiste liegt. Für die Hausaufgabe ist dieses zusätzliche Blatt nicht erforderlich, weil die notwendigen Informationen auch im Buch stehen (S. 270). Bei Zeitknappheit wird ein „guter“ Mechanismus präsentiert und die Zusatzaufgabe weggelassen. Haben Schüler die Zusatzaufgabe gemacht, so wird sie in der nächsten Stunde präsentiert. Sollte am Ende der Stunde wieder Erwartete Zeit übrig sein und sowohl der Estermechanismus, als auch der Beleg durch Isotoopenmarkierung tadellos vorgetragen worden sein, kann von den Schülern der Lernzugewinn definiert werden, siehe hierzu 6 „Geplanter Stundenverlauf“. Offen bleibt dabei, was es mit der Gleichgewichtsreaktion auf sich hat.

## 6 Geplanter Stundenverlauf

Phasierung	Lernprozess	Sozialform	Lehrersteuerung/ Medien	Zeit [Min]
<b>Problemstellung entdecken</b>	Wiederholung der letzten Stunde: Experiment Estersynthese  <u>Problem:</u> Wir wissen, dass Alkohole und Säuren zu Ester und Wasser reagieren, aber nicht, was dabei genau abläuft.	gUG	OH-Folie  Beobachtung + Durchführung	10
	<b>Eigene Vorstellungen entwickeln</b>	Hypothesen siehe Tafelbild	gUG  Tafelbild	
<b>Informationen problemorientiert auswerten</b>	Die Schüler formulieren den Reaktionsmechanismus zur Estersynthese in Einzelarbeit auf Folie	EA	Text, OH-Folie,  Zusatzaufgabe:  Isotopenmarkierung	20
<b>Lösungen kommunizieren (Lernprodukt diskutieren)</b>	Ein oder zwei Schüler stellen ihren Mechanismus dem Kurs vor  Starke Schüler erläutern ihrem Kurs zusätzlich, wie der vorgestellte Mechanismus belegt werden kann.	SV	OH-Folie,  Projektor	10
<b>Lernzugewinn definieren</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mechanismus der Veresterung</li> <li>- Mesomerie der protonierten Carbonsäure</li> <li>- intramolekularer Protonenübergang</li> <li>- Eliminierung</li> </ul>	gUG	Moderation durch den Lehrer	5
<b>Sicher werden und üben</b>	Die Schüler markieren in ihrem Mechanismus den Weg des $^{18}\text{O}$ -Isotops.  Sie übertragen den Mechanismus in ihr Heft	EA	SV aus Gruppe A  Buch S. 270 - 271	(10 Min)

## 7 Anhang

### 7.1 Zeichenerklärung zur Phasierung

gUG = gelenktes Unterrichtsgespräch

SV = Schülervortrag

EA = Einzelarbeit

### 7.2 Einstieg

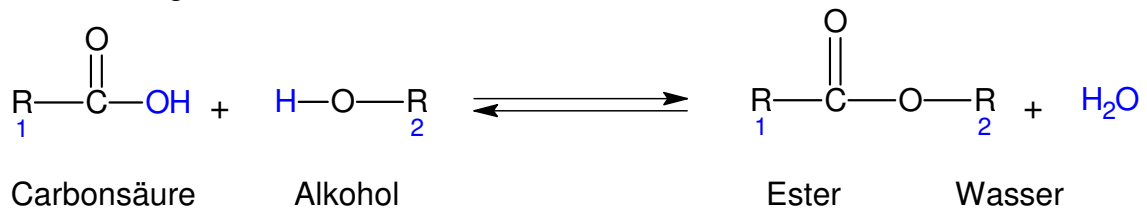
Folie:

Hergestellte Aromen:

	Ethanol	Propanol	Butanol	Pentanol
Methansäure	/	Uhu	Banane	Birne
Ethansäure	Uhu	Uhu	Uhu	Birne

Wir wissen bisher:

Veresterung



### 7.3 Angestrebtes Tafelbild

Problem: Wir wissen, dass Alkohole und Säuren zu Ester und Wasser reagieren, aber nicht, was dabei genau abläuft.

Hypothesen: 1. Es handelt sich um eine Redoxreaktion, was sich durch Bestimmung sämtlicher Oxidationszahlen überprüfen lässt.  
2. Es handelt sich um einen Reaktionsmechanismus in dem ein Stoff, vermutlich Alkohol den anderen (vermutlich die Säure) angreift.

## 7.4 Arbeitsaufträge

Arbeitsauftrag: EA

1. Erstellen Sie den Reaktionsmechanismus zur Estersynthese auf OH-Folie.

- Kennzeichnen Sie das Umklappen von Elektronenpaaren und Protonenübergänge durch Pfeile.
- Zeichnen Sie alle mesomeren Grenzformeln.

2. Präsentieren Sie dem Kurs den Reaktionsmechanismus unter Verwendung folgender Fachbegriffe:

**Addition, Eliminierung, mesomeriestabilisiert, Katalysator**

### Zuhörauftrag: mündlich

Überprüfen Sie den vorgestellten Mechanismus auf Korrektheit.

### Zusatzauftrag (Binnendifferenzierung) Gruppe A

Aufgabe:

- 1) Erläutern Sie Ihrem Kurs die Problemstellung. Beachten Sie dabei, dass der Abschnitt „Stimmt der Mechanismus?“ auf dem Arbeitsblatt B fehlt!
- 2) Markieren Sie in Ihrem Mechanismus den Weg des  $^{18}\text{O}$ -Isotops farbig.
- 3) Erklären Sie dem Kurs mit Hilfe der überarbeiteten Folie, wie der entwickelte Mechanismus von Chemikern belegt wurde.

## 7.5 Schülermaterial

### Gruppe A

Die Veresterung

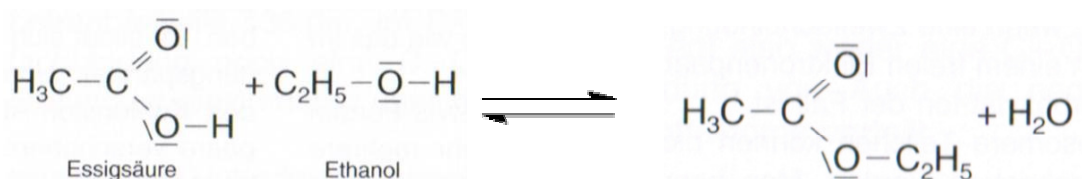
A

[Information:

Die Veresterung ist eine Gleichgewichtsreaktion, zwischen den einzelnen Schritten schreibt man deshalb Gleichgewichtspfeile:

Das bedeutet, dass alle im Folgenden genannten Reaktionschritte reversibel (umkehrbar) sind.]

Reaktionsgleichung: Bsp. Synthese des Ethansäureethylesters



### Heute im Fokus: Der Mechanismus:

Erinnerung: Die Reaktion wurde mit konzentrierter Schwefelsäure gestartet.

Bei der säurekatalysierten Veresterung wird die Carboxygruppe der Ethansäure an der Carbonylgruppe protoniert. Es entsteht ein über 3 Grenzformeln mesomeriestabilisiertes Carbenium-Ion. Das Ethanol greift nun mit einem freien Elektronenpaar das Carboxyl-C-Atom der Säure nucleophil an. In Folge dieser Additionsreaktion bildet sich ein Oxonium-Ion. Es kommt nun zu einer intramolekularen Protonenübertragung, d.h. das Proton des Oxonium-Ions wird von einem freien Elektronenpaar einer benachbarten Hydroxygruppe aufgenommen, wodurch ein neues Oxonium-Ion gebildet wird.

Anschließend kommt es zu einer Eliminierung von Wasser, d.h. Wasser wird abgespalten und ein Carbenium-Ion entsteht. Abschließend findet eine Deprotonierung an der Hydroxygruppe statt. Durch die Abspaltung des Protons wird der Katalysator zurückgebildet und der Ethansäureethylester ist entstanden.

Insgesamt handelt es sich bei der Veresterung um einen Additions-Eliminierungs-Mechanismus.

### **LEXIKON:**

*intermolekular* =  
zwischen  
verschiedenen  
Molekülen

*intramolekular* =  
innerhalb eines  
einigen  
Moleküls

Zusatzaufgabe:

Knifflige Frage für Spezialisten!

**Stimmt der Mechanismus?**

Das eliminierte Wasser bildet sich laut Mechanismus aus einer Hydroxygruppe der Ethansäure und dem Proton der Hydroxygruppe des Ethanols (siehe intramolekulare Protonenübertragung).

Woher weiß man, dass nicht beide Sauerstoffatome im Ester aus der Säure stammen? Schließlich sind in der Säure auch zwei Sauerstoffatome enthalten und das abgespaltene Wasser könnte somit auch aus der ganzen Hydroxygruppe des Alkohols gebildet worden sein! In diesem Fall wäre der soeben entwickelte Mechanismus falsch!

Aufgabenstellung und benötigtes Material finden Sie am Lehrerpult in der Kiste „Zusatzaufgabe“.

(Ende des Arbeitsblattes)

Zusatzaufgabe:

(erhältlich am Lehrerpult)

**Aufgabe:**

- 1) Erläutern Sie Ihrem Kurs die Problemstellung. Beachten Sie dabei, dass der Abschnitt „Stimmt der Mechanismus?“ auf dem Arbeitsblatt B fehlt!
- 2) Markieren Sie in Ihrem Mechanismus den Weg des  $^{18}\text{O}$ -Isotops farbig.
- 3) Erklären Sie dem Kurs mit Hilfe der überarbeiteten Folie, wie der entwickelte Mechanismus von Chemikern belegt wurde.

**Material:**

Ein Indiz für die Richtigkeit dieses Mechanismus erhielt man mit Hilfe der Isotopenmarkierung. Dazu wurden in den Alkohol-Molekülen die normalen Sauerstoff-Atome ( $^{16}\text{O}$ ) teilweise durch das schwerere  $^{18}\text{O}$ -Isotop ersetzt.

Nach der Reaktion wurden Proben der Reaktionsprodukte massenspektrometrisch untersucht. Es zeigte sich, dass die  $^{18}\text{O}$ -Atome im Ester, nicht aber in dem gleichzeitig entstandenen Wasser enthalten waren. Daraus muss man schließen, dass das Sauerstoff-Atom des bei der Veresterung gebildeten Wasser-Moleküls aus der OH-Gruppe der Carbonsäure stammt und nicht aus der OH-Gruppe des Alkohols. Die Reaktion wird also durch einen nucleophilen Angriff des Alkohol-Moleküls auf das Carbonyl-C-Atom eingeleitet.

**LEXIKON:**

*Isotope* eines Elements besitzen in ihren Atomkernen gleich viele Protonen (gleiche Ordnungszahl), aber verschieden viele Neutronen. Die Isotope desselben Elements haben also verschiedene Massenzahlen, verhalten sich aber chemisch weitgehend identisch.



## Gruppe B

Die Veresterung

B

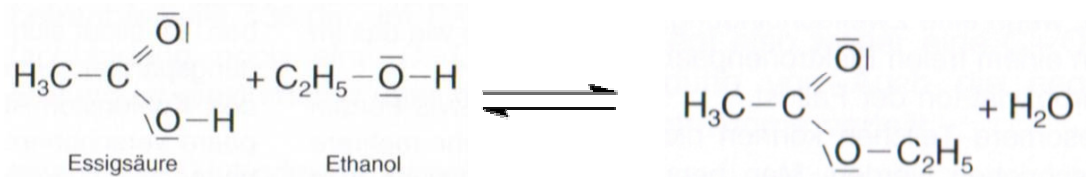
[Information:

Die Veresterung ist eine Gleichgewichtsreaktion, zwischen den einzelnen Schritten schreibt man deshalb Gleichgewichtspfeile:



Das bedeutet, dass alle im Folgenden genannten Reaktionschritte reversibel (umkehrbar) sind.]

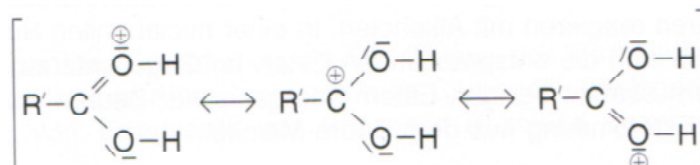
Reaktionsgleichung: Bsp. Synthese des Ethansäureethylesters



### Heute im Fokus: Der Mechanismus:

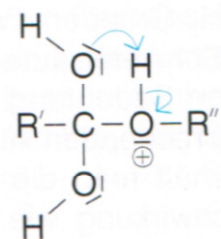
Erinnerung: Die Reaktion wurde mit konzentrierter Schwefelsäure gestartet:  
 $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{H}^+ + \text{HSO}_4^-$

Bei der säurekatalysierten Veresterung wird die Carboxygruppe der Ethansäure an der Carbonylgruppe protoniert. Es entsteht ein über 3 Grenzformeln mesomeriestabilisiertes Carbenium-Ion:



Carbenium-Ion

Das Ethanol greift nun mit einem freien Elektronenpaar das Carboxyl-C-Atom der Säure nucleophil an. In Folge dieser Additionsreaktion bildet sich ein Oxonium-Ion. Es kommt nun zu einer intramolekularen Protonenübertragung, d.h. das Proton des Oxonium-Ions wird von einem freien Elektronenpaar einer benachbarten Hydroxygruppe aufgenommen, wodurch ein neues Oxonium-Ion gebildet wird. (Siehe Beispiel 1) Anschließend kommt es zu einer Eliminierung von Wasser, d.h. Wasser wird abgespalten und ein Carbenium-Ion entsteht. Abschließend findet eine Deprotonierung an der Hydroxygruppe statt. Durch die Abspaltung des Protons wird der Katalysator zurückgebildet und der Ethansäureethylester ist entstanden.



Bsp.1: intramolekulare Protonenübertragung

Insgesamt handelt es sich bei der Veresterung um einen Additions-Eliminierungs-Mechanismus.

#### LEXIKON:

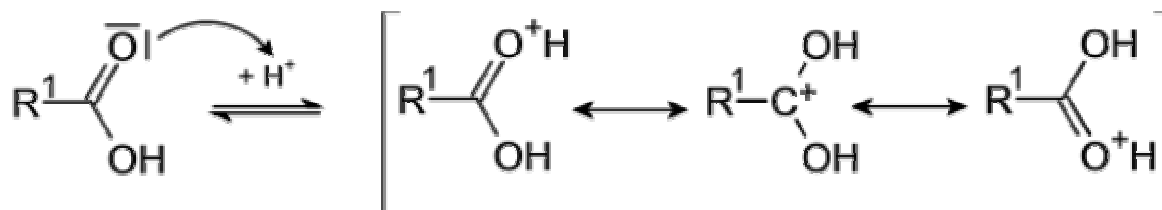
*intermolekular* = zwischen verschiedenen Molekülen

*intramolekular* = innerhalb eines einzigen Moleküls

## 7.6 Erwartungen an das Lernprodukt

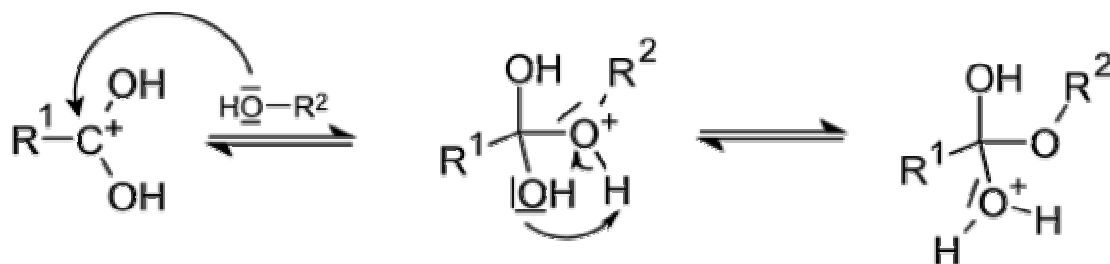
Das Proton ist der Katalysator, der die Reaktion startet. Es stammt aus der Schwefelsäure:  $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{H}^+ + \text{HSO}_4^-$

Der erste Schritt ist die Protonierung der Ethansäure zu einem **mesomeriestabilisierten Carbenium-Ion** (Grenzformeln).



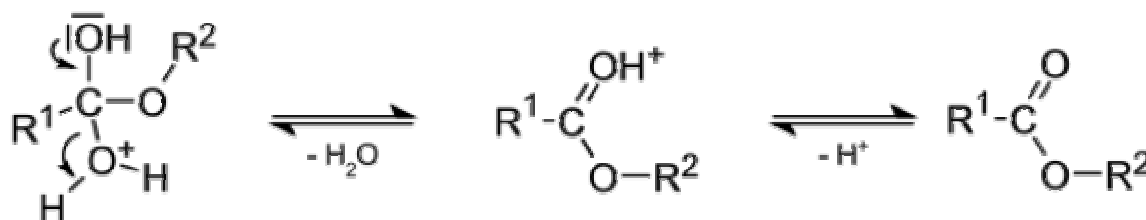
Das durch die Protonierung gebildete Carbeniumion wird von einem freien Elektronenpaar der OH-Gruppe des Ethanols nucleophil angegriffen (**nucleophile Addition**). Das H-Atom des ursprünglichen Ethanols wandert intramolekular zu einem O-Atom der Ethansäure.

Das neu entstandene Oxoniumion spaltet zunächst Wasser ab (**Eliminierung**



von Wasser) und wird dadurch zu einem Carbeniumion, welches nach der Deprotonierung den Ester ergibt.

Durch die Deprotonierung wird der Katalysator (Proton der Schwefelsäure)



regeneriert. Zwischen den einzelnen Strukturen zeichnet man **Gleichgewichtspfeile**, weil alle Schritte der säurekatalysierten Veresterung reversibel sind. [7]

Rückbildung des Katalysators:  $\text{H}^+ + \text{HSO}_4^- \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$

## 8 Quellen

- 1) Chemie heute Sek II, Druck A<sup>9</sup> 2007, Schroedel Verlag, Braunschweig (1998), S. 270 – 271
- 2) Vollhardt, Schore, Organische Chemie, 3. Auflage, Wiley-VCH, Weinheim (2000)
- 3) Breitmaier, Jung, Organische Chemie, 4. Auflage, Thieme-Verlag, Stuttgart (2001)
- 4) Lehrplan Chemie Sek II, Rheinland-Pflanz (1998)
- 5) Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Chemie, vom 05.02.2004
- 6) Xplore-BASF, Synthese von Fruchttestern im Reagenzglas
- 7) <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Veresterung&printable=yes> (13.02.10)
- 8) ppt zum Wahlmodul 242: Kognition und Lernen – Wie kommt das Wissen in unseren Kopf, mit freundlicher Genehmigung von Frau Sprengart
- 9) Chemie in unserer Zeit, GDCh, Wiley-VCH, 6/2003, Artikel: „Die Molekulare Welt des Lebensmittelgenusses – Aroma und Geschmacksstoffe, S. 388 - 401