Reaktionsmechanismen darstellen

Durch die Anpassung der Fachlehrpläne an die Bildungsstandards im Fach Chemie für die Allgemeine Hochschulreife hat sich die Anzahl der zu betrachtenden Mechanismen im erhöhten Niveau vergrößert und im Kompetenzbereich Sachkompetenz findet sich „Die Lernenden beschreiben ausgewählte Reaktionsmechanismen“[1].

Im Folgenden werden die Anforderungen an die Darstellung von Reaktionsmechanismen exemplarisch beschrieben und Differenzierungsmöglichkeiten in den Arbeitsaufträgen für den Unterricht sowie für Leistungserhebungen gegeben.

Rückmeldungen, Hinweise, Anregungen und Vorschläge zur Weiterentwicklung der Aufgabe senden Sie bitte an felix.zeidler@sachsen-anhalt.de.

Die nachfolgenden Beispiele zeigen neben knappen Erläuterungen Arbeitsaufträge und die Erwartungen, die an die Lernenden gestellt werden. Sie sollen, wie die niveaubestimmenden Aufgaben, zur Reflexion und Weiterentwicklung des eigenen Unterrichts anregen.

[1] https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2020/2020_06_18-BildungsstandardsAHR_Chemie.pdf, S. 15

Allgemeines

Reaktionsmechanismen beschreiben eine chemische Reaktion ausgehend von den Edukt-Teilchen über die verschiedenen Zwischenstufen und Übergangszustände bis zu den Produkt-Teilchen. Dabei soll u. a. möglichst vollständig die Struktur der beteiligten Teilchen charakterisiert werden. Der Mechanismus stimmt mit den Stöchiometrieverhältnissen der Reaktionsgleichung überein[2].

Bei der Darstellung von Reaktionsmechanismen werden die Elektronenumlagerungen durch gebogene Pfeile dargestellt. Besitzen die Pfeile eine geschlossene Spitze (siehe Abb. 1), beschreibt dies eine Umlagerung eines Elektronenpaares. Durch einen Pfeil mit einer halben Spitze („Angelhaken“, siehe Abb. 2) wird die Bewegung eines einzelnen Elektrons symbolisiert.

Abb. 1: gebogener Pfeil

Abb. 2: „Angelhaken“

Auf Grundlage des „Grundstock an Operatoren“[3] des IQB eigenen sich zwei Operatoren für Arbeitsaufträge im Zusammenhang mit Reaktionsmechanismen. Eine Kombination der Operatoren oder weiterer Operatoren (z. B. … und benennen Sie) ist möglich.

1. **Aufstellen/Formulieren: chemische Formeln, Gleichungen, Reaktionsgleichungen (Wort- oder Formelgleichungen) oder Reaktionsmechanismen entwickeln.**
   Von den Lernenden wird verlangt, dass Sie einen Reaktionsmechanismus unter Verwenden von Strukturformeln (sofern nicht anders verlangt genügen verkürzte Strukturformeln, die reagierende Stelle und die wandernden Elektronenpaare müssen jedoch erkennbar sein) und Elektronen- bzw. Elektronenpaarumlagerungspfeilen darstellen. Weitere Angaben, wie z. B. die Benennung der einzelnen Schritte, müssen explizit erfragt werden.

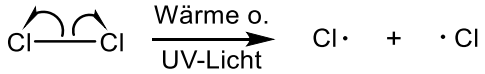
2. **Beschreiben: Beobachtungen, Strukturen, Sachverhalte, Methoden, Verfahren oder Zusammenhänge strukturiert und unter Verwendung der Fachsprache formulieren**
   Von den Lernenden wird verlangt, dass sie einen Reaktionsmechanismus im Fließtext unter Verwendung der Fachsprache beschreiben. Weitere Angaben, wie z. B. die Angabe von Strukturformeln, müssen explizit erfragt werden.

[2] mechanism of a reaction. (2014). In International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) eBooks. https://doi.org/10.1351/goldbook.m03804
[3] https://www.iqb.hu-berlin.de/abitur/dokumente/naturwissenschaften/

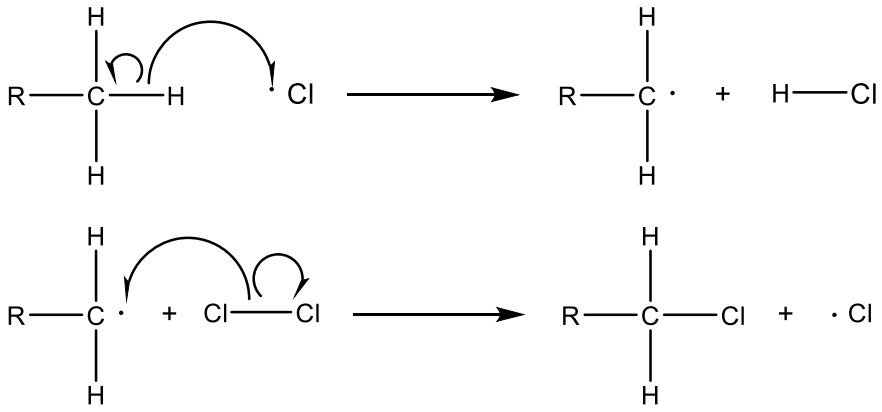
Radikalische Substitution (GN, EN)

Arbeitsauftrag:
Formulieren Sie den Reaktionsmechanismus zur Reaktion von Chlor mit einem Alkan und benennen Sie die Teilschritte.

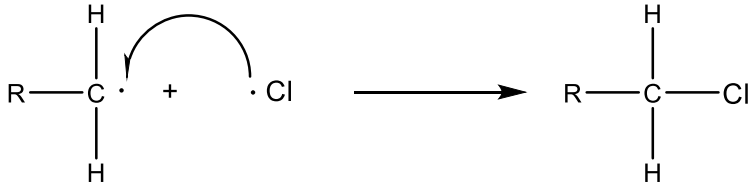
Schritt 1: Startreaktion (Radikalbildung)



Schritt 2: Kettenreaktion 1 und 2 (Reaktionskette, Kettenfortpflanzungsreaktionen)



Schritt 3: Abbruchsreaktion (hier Produktbildung), z. B.



Arbeitsauftrag:
Beschreiben Sie den Reaktionsmechanismus zur Reaktion von Chlor mit einem Alkan.

Bei Wärmezufuhr oder Einfluss von UV-Licht wird die Elektronenpaarbindung im Chlor-Molekül homolytisch in zwei Chlor-Radikale gespalten.

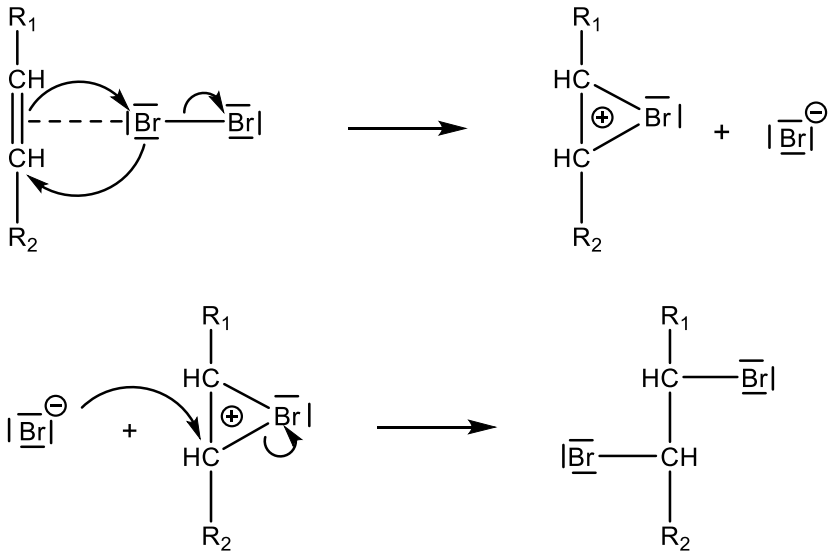
Im Alkan-Molekül wird C-H-Elektronenpaarbindung homolytisch gespalten. Das gebildete Wasserstoff-Radikal bildet mit dem Chlor-Radikal eine H-Cl-Elektronenpaarbindung aus. Es entstehen ein Chlorwasserstoff-Molekül sowie ein Alkyl-Radikal.

Die Elektronenpaarbindung im Chlor-Molekül wird homolytisch gespalten. Das gebildete Chlor-Radikal bildet mit dem Alkyl-Radikal eine C-Cl-Elektronenpaarbindung aus. Es entstehen ein Chloralkan-Molekül sowie ein Chlor-Radikal.

Das Alkyl-Radikal bildet mit einem Chlor-Radikal eine C-Cl-Elektronenpaarbindung aus. Es entsteht ein Chloralkan-Molekül.

Elektrophile Addition (GN, EN)

Arbeitsauftrag:
Formulieren Sie den Reaktionsmechanismus zur Reaktion von Brom mit einem Alken.

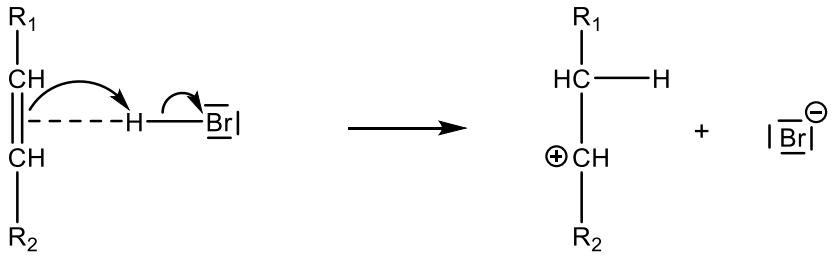


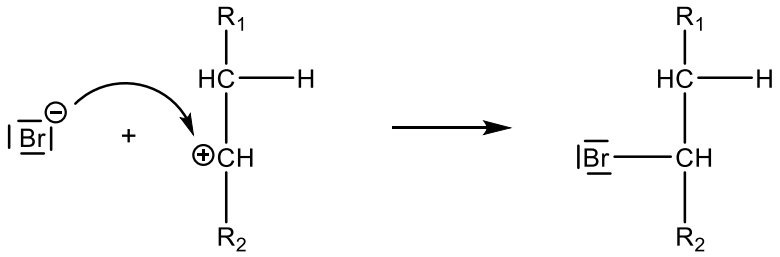
Arbeitsauftrag:
Beschreiben Sie den Reaktionsmechanismus zur Reaktion Alken-Moleküls mit einem Brom-Molekül.

Das Brom-Molekül wird durch die Doppelbindung des Alken-Moleküls polarisiert. Das positiv polarisierte Brom-Atom greift elektrophil an der C-C-Doppelbindung an. Die Elektronenpaarbindung im Brom-Molekül und die C-C-Doppelbindung im Alken-Molekül werden heterolytisch gespalten. Es bilden sich zwei Elektronenpaarbindungen zwischen den Kohlenstoff-Atomen und einem Brom-Atom aus. Es entstehen ein (positiv geladenes), cyclisches Kation (Bromonium-Ion) sowie ein (negativ geladenes) Bromid-Ion.

Das Bromid-Ion greift nucleophil am cyclischen Kation an. Dabei wird eine C-Br-Elektronenpaarbindung im cyclischen Kation heterolytisch gespalten und es bildet sich eine weitere C-Br-Elektronenpaarbindung aus. Es entsteht ein Dibromalkan-Molekül mit je einem Brom-Atom pro Kohlenstoff-Atom.

Arbeitsauftrag:
Formulieren Sie den Reaktionsmechanismus zur Reaktion eines Alken-Moleküls mit einem Bromwasserstoff-Moleküls.

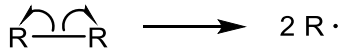




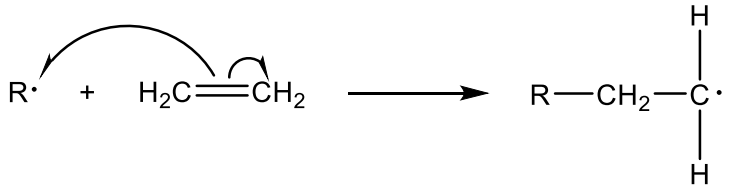
Radikalische Addition (Polymerisation) (EN)

Arbeitsauftrag:
Formulieren Sie den Reaktionsmechanismus zur Bildung von Polyethen. Geben Sie die Namen der Teilschritte an.

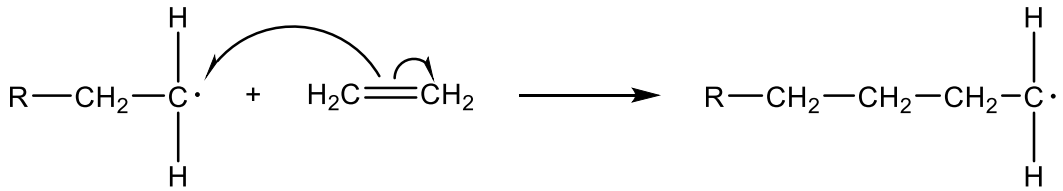
1. Schritt: Radikalbildung



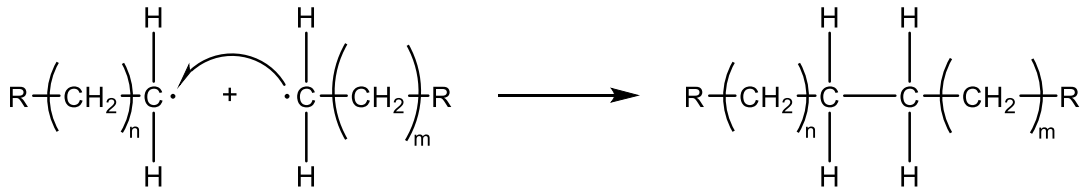
2. Schritt: Startreaktion



3. Schritt: Kettenwachstumsreaktionen, z. B.

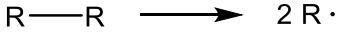


4. Schritt: Kettenabbruchreaktionen, z. B.

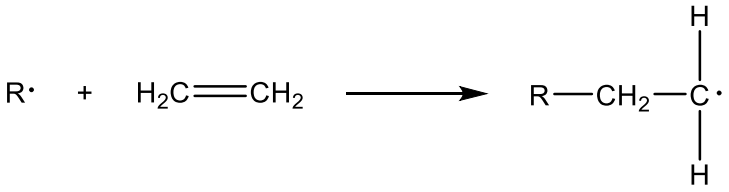


Arbeitsauftrag:
Beschreiben Sie unter Verwendung von Strukturformeln den Reaktionsmechanismus zur Bildung von Polyethen.

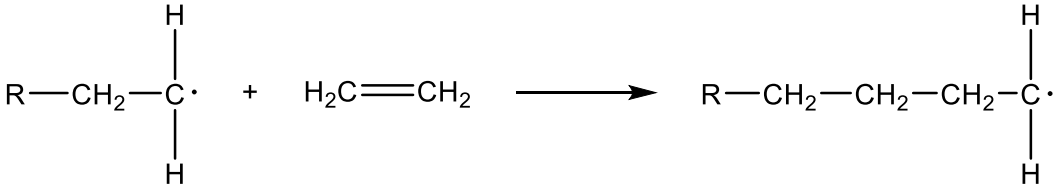
1. Eine Elektronenpaarbindung eines Starter-Moleküls (z. B. R-R) spaltet sich homolytisch, es bilden sich zwei Radikale.



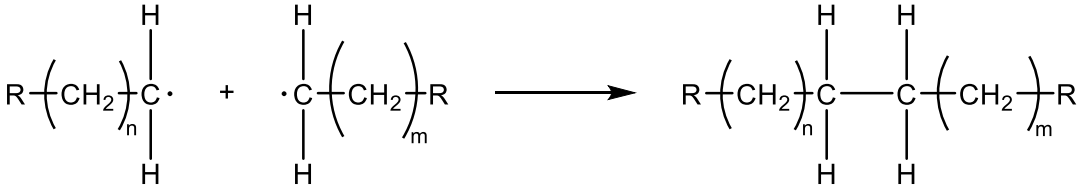
2. In einem Ethen-Molekül (Monomer) wird die C-C-Doppelbindung homolytisch gespalten. Das Radikal (R·) bildet eine R-C-Elektronenpaarbindung zum Radikal (·CH_2-CH_2·) aus. Es entsteht ein Alkyl-Radikal.



3. In einem weiteren Ethen-Molekül wird die C-C-Doppelbindung homolytisch gespalten. Dieses bildet eine C-C-Elektronenpaarbindung zum Alkyl- Radikal aus. Es entstehen Alkyl-Radikale mit immer größerer Kettenlänge.



4. Zwei Alkyl-Radikale (z. B. unterschiedlicher Kettenlänge) reagieren unter Ausbilden einer C-C-Elektronenpaarbindung miteinander und bilden ein Polymer-Molekül.



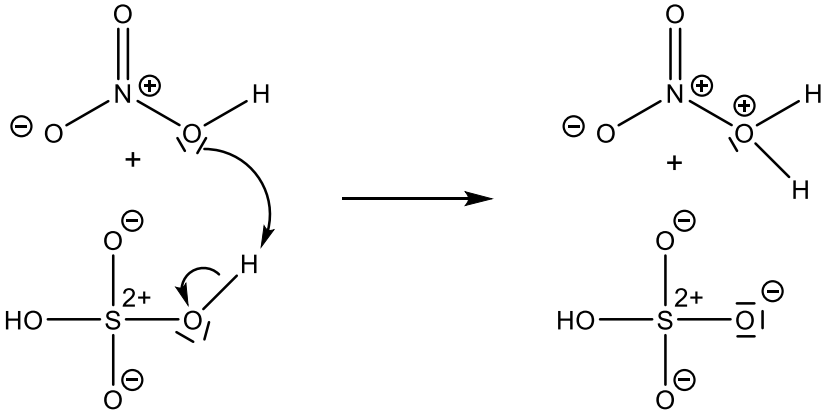
Elektrophile Substitution (EN)

Arbeitsauftrag:

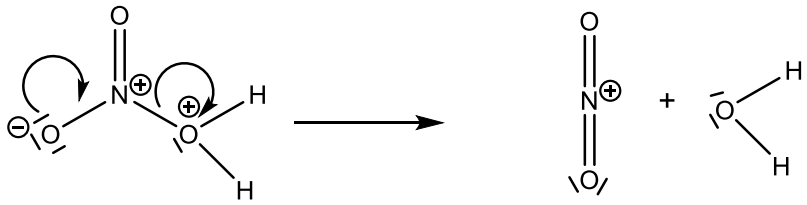
Beschreiben Sie den Mechanismus zur Bildung eines Nitronium-Ions $\left(NO_2^+\right)$.

Formulieren Sie den Mechanismus der elektrophilen Substitution eines Nitronium-Ions an ein Benzol-Molekül.

1. Schritt:



2. Schritt



Beschreiben des Mechanismus:

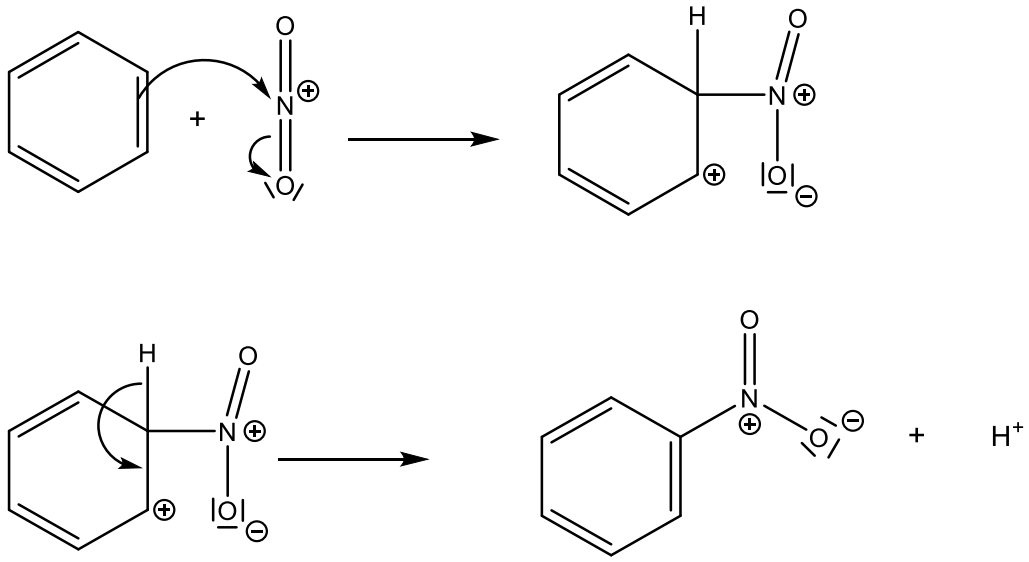
1. Schritt:

In einer Hydroxy-Gruppe des Schwefelsäure-Moleküls wird eine O-H-Elektronenpaarbindung heterolytisch gespalten. Das Proton lagert sich an das freie Elektronenpaar des Sauerstoff-Atoms der Hydroxy-Gruppe des Salpetersäure-Moleküls an. Es bilden sich ein Hydrogensulfat-Ion und ein Kation.

2. Schritt:

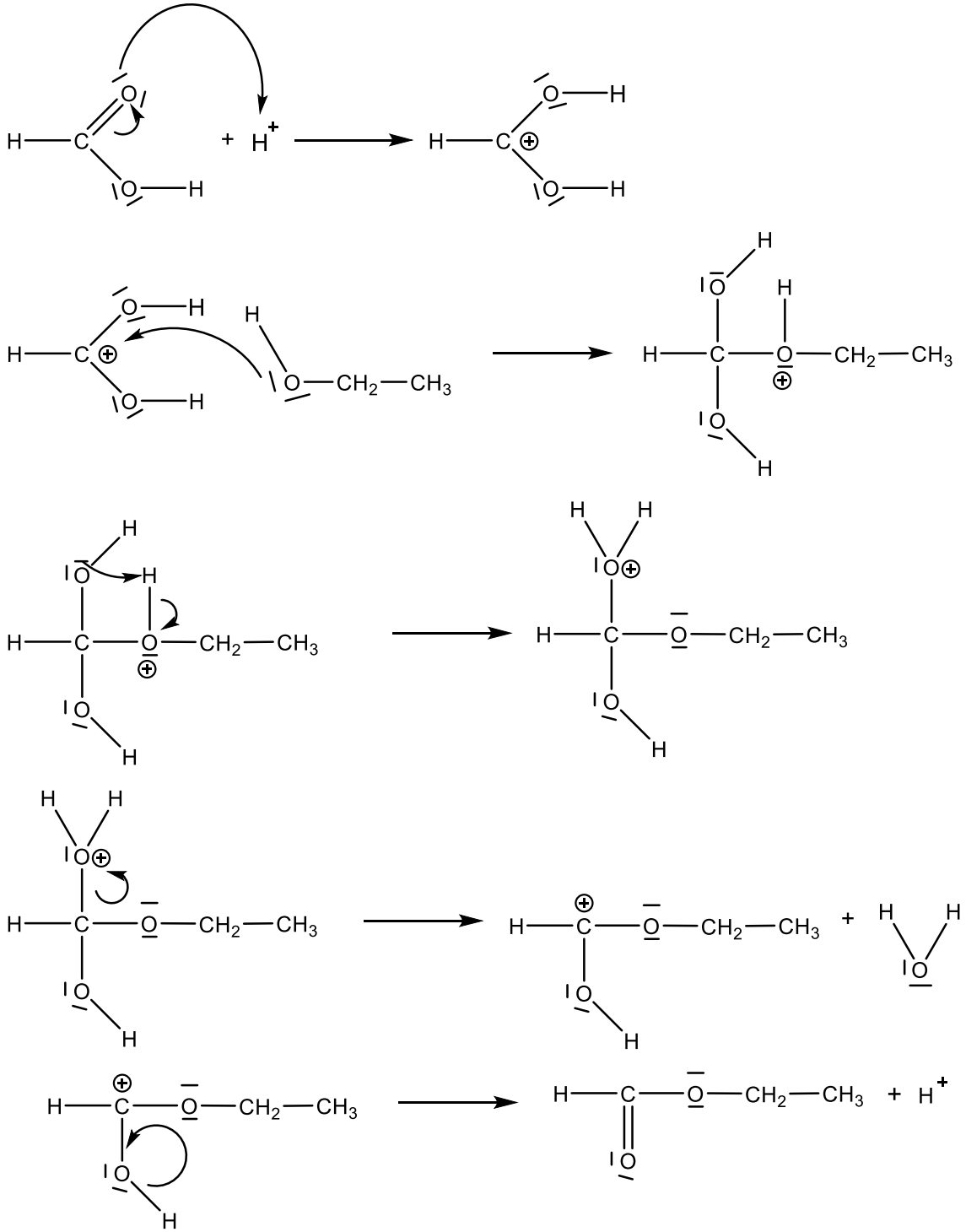
Durch heterolytische Spaltung der N-O-Elektronenpaarbindung im Nitrooxonium-Ion entsteht ein Wasser-Molekül. Gleichzeitig erfolgt die Umlagerung eines Elektronenpaars des negativ geladenen Sauerstoff-Teilchens in Richtung des positiv geladenen Stickstoff-Teilchens. Es kommt zur Ausbildung einer N-O-Elektronenpaar-Doppelbindung. Das Nitronium-Ion ist entstanden.

Formulieren des Mechanismus:



Mechanismus der Estersynthese (EN)

Arbeitsauftrag:
Formulieren Sie den Mechanismus der Reaktion von Methansäure mit Ethanol im sauren Milieu.

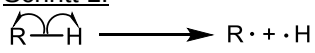


Transferaufgaben

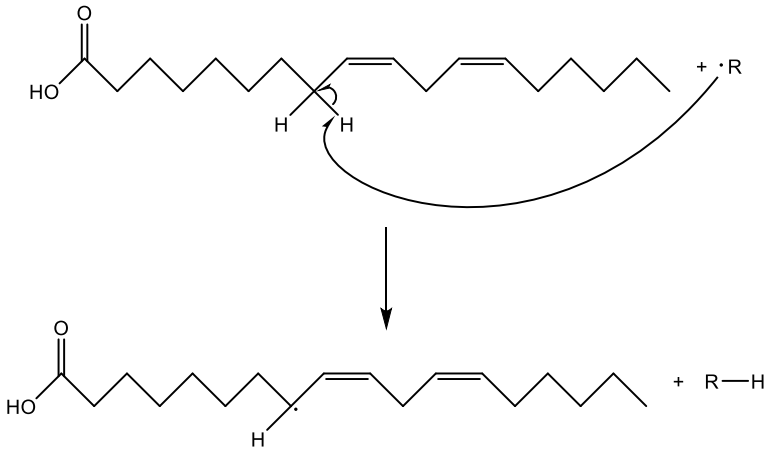
Im Anforderungsbereich III kann die Kompetenz ebenfalls überprüft werden. Neben einer Übertragung von bekannten Reaktionsmechanismen auf unbekannte Reaktionsmechanismen (z. B. Übertragung des Reaktionsmechanismus der Estersynthese auf die Bildung einer Peptid-Bindung) können unbekannte Reaktionsmechanismen beschrieben werden.

Arbeitsauftrag:
Beschreiben Sie die dargestellten Schritte des Reaktionsmechanismus zur Bildung von einem Linolsäure-Peroxy-Radikal ausgehend von einem Fettsäure-Molekül (R-H).
Geben Sie den Namen des Reaktionstyps des 3. Schrittes an.

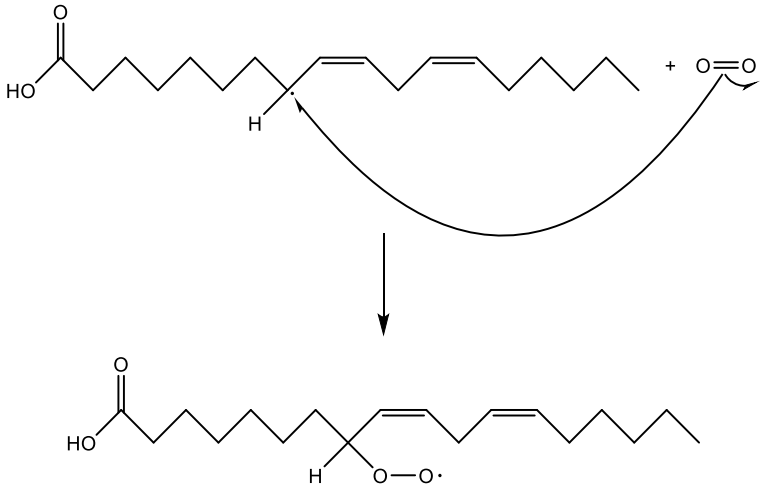
Schritt 1:



Schritt 2:



Schritt 3:



1. Schritt:
Eine C-H-Elektronenpaarbindung eines Fettsäure-Moleküls wird homolytisch in ein Fettsäure-Radikal und ein Wasserstoff-Radikal gespalten.

2. Schritt:
Im Linolsäure-Molekül wird eine C-H-Elektronenpaarbindung homolytisch gespalten. Das gebildete Wasserstoff-Radikal bildet mit dem Fettsäure-Radikal eine H-R-Elektronenpaarbindung aus. Es entstehen ein Fettsäure-Molekül sowie ein Linolsäure-Radikal.

3. Schritt:
In einem Sauerstoff-Molekül wird die O-O-Doppelbindung homolytisch gespalten. Das Radikal (·O-O·) bildet eine C-O-Elektronenpaarbindung zum Linolsäure-Radikal aus. Es entsteht ein Linolsäure-Peroxy-Radikal.

Beim dritten Schritt handelt es sich um eine radikalische Addition.