

# Organische Chemie

J. Flügel<sup>1</sup>   S. Schultze<sup>1</sup>   E. Selimi<sup>1</sup>   L. Culmeyer<sup>1</sup>   A. Prebreza<sup>1</sup>

Integrierte Gesamtschule Paffrath <sup>1</sup>

Chemie Grundkurs, März 2024

# Table of Contents

## 1 Intermolekulare Kräfte

- Van-Der-Waals-Kräfte
  - London-Kräfte
  - Debye-Wechselwirkung
  - Keesom-Kraft
- Wasserstoffbrückenbindungen

## 2 Reaktionsmechanismen

- Grundlagen
  - induktive Effekte
  - Reaktionsenthalpie
- radikalische Substitution
- elektrophile Addition
- Eliminierung
- nukleophile Substitution

## 3 Stoffklassen

# Intermolekulare Kräfte - Van-der-Waals-Kräfte

- Schwache Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Atomen oder Molekülen

# Intermolekulare Kräfte - Van-der-Waals-Kräfte

- Schwache Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Atomen oder Molekülen
- Entstehung durch kurzzeitige Dipolmomente aufgrund ungleichmäßiger Elektronenverteilung um den Atomkern

# Intermolekulare Kräfte - Van-der-Waals-Kräfte

- Schwache Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Atomen oder Molekülen
- Entstehung durch kurzzeitige Dipolmomente aufgrund ungleichmäßiger Elektronenverteilung um den Atomkern
- Unterteilt in drei Unterarten

# Intermolekulare Kräfte - Van-der-Waals-Kräfte

- Schwache Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Atomen oder Molekülen
- Entstehung durch kurzzeitige Dipolmomente aufgrund ungleichmäßiger Elektronenverteilung um den Atomkern
- Unterteilt in drei Unterarten

## Stärke

Van-der-Waals-Kräfte sind generell sehr schwache Kräfte

# Intermolekulare Kräfte - Van-der-Waals-Kräfte - London-Dispersion

- Spontane Polarisation von Teilchen ( $e^-$  “schwirren” gerade auf einer Seite)

# Intermolekulare Kräfte - Van-der-Waals-Kräfte - London-Dispersion

- Spontane Polarisation von Teilchen ( $e^-$  “schwirren” gerade auf einer Seite)
- Induzierte Dipole in benachbarten Teilchen



# Intermolekulare Kräfte - Van-der-Waals-Kräfte - London-Dispersion

- Spontane Polarisierung von Teilchen ( $e^-$  “schwirren” gerade auf einer Seite)
- Induzierte Dipole in benachbarten Teilchen
- Zwischen nicht-dipolen

# Intermolekulare Kräfte - Van-der-Waals-Kräfte - London-Dispersion

- Spontane Polarisierung von Teilchen ( $e^-$  "schwirren" gerade auf einer Seite)
- Induzierte Dipole in benachbarten Teilchen
- Zwischen nicht-dipolen
- $\Rightarrow$  Teilchen ziehen sich an / stoßen sich ab

# Intermolekulare Kräfte - Van-der-Waals-Kräfte - London-Dispersion

- Spontane Polarisierung von Teilchen ( $e^-$  "schwirren" gerade auf einer Seite)
- Induzierte Dipole in benachbarten Teilchen
- Zwischen nicht-dipolen
- $\Rightarrow$  Teilchen ziehen sich an / stoßen sich ab

Stärke

Sehr schwach

# Intermolekulare Kräfte - Van-der-Waals-Kräfte - Debye-Wechselwirkung (zwischen induzierten Dipolen)

- Bereits existierende Dipole in der Lösung

# Intermolekulare Kräfte - Van-der-Waals-Kräfte - Debye-Wechselwirkung (zwischen induzierten Dipolen)

- Bereits existierende Dipole in der Lösung
- Induzierte Dipole in benachbarten Teilchen

# Intermolekulare Kräfte - Van-der-Waals-Kräfte - Debye-Wechselwirkung (zwischen induzierten Dipolen)

- Bereits existierende Dipole in der Lösung
- Induzierte Dipole in benachbarten Teilchen
- Zwischen Dipol und nicht-dipol

# Intermolekulare Kräfte - Van-der-Waals-Kräfte - Debye-Wechselwirkung (zwischen induzierten Dipolen)

- Bereits existierende Dipole in der Lösung
- Induzierte Dipole in benachbarten Teilchen
- Zwischen Dipol und nicht-dipol
- $\implies$  Teilchen ziehen sich an / stoßen sich ab

# Intermolekulare Kräfte - Van-der-Waals-Kräfte - Debye-Wechselwirkung (zwischen induzierten Dipolen)

- Bereits existierende Dipole in der Lösung
- Induzierte Dipole in benachbarten Teilchen
- Zwischen Dipol und nicht-dipol
- $\implies$  Teilchen ziehen sich an / stoßen sich ab

## Stärke

Sehr schwach, aber generell stärker als London-Kräfte



# Intermolekulare Kräfte - Van-der-Waals-Kräfte - Keesom-Kraft (Dipol-Dipol-Kräfte)

- Bereits existierende Dipole in der Lösung

# Intermolekulare Kräfte - Van-der-Waals-Kräfte - Keesom-Kraft (Dipol-Dipol-Kräfte)

- Bereits existierende Dipole in der Lösung
- Besagte Dipole ziehen sich an / stoßen sich ab.

# Intermolekulare Kräfte - Van-der-Waals-Kräfte - Keesom-Kraft (Dipol-Dipol-Kräfte)

- Bereits existierende Dipole in der Lösung
- Besagte Dipole ziehen sich an / stoßen sich ab.
- Zwischen zwei Dipolen

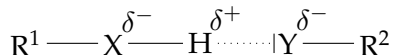
# Intermolekulare Kräfte - Van-der-Waals-Kräfte - Keesom-Kraft (Dipol-Dipol-Kräfte)

- Bereits existierende Dipole in der Lösung
- Besagte Dipole ziehen sich an / stoßen sich ab.
- Zwischen zwei Dipolen

## Stärke

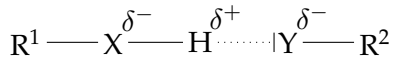
Sehr schwach, aber generell die stärkste der drei Van-der-Waals-Kräfte

# Intermolekulare Kräfte - Wasserstoffbrückenbindungen



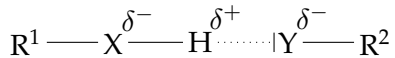
- Zwischen Wasserstoffatom und stark elektronegativem Atom (O, N, F, ...)

# Intermolekulare Kräfte - Wasserstoffbrückenbindungen



- Zwischen Wasserstoffatom und stark elektronegativem Atom (O, N, F, ...)
- Insbesondere an freiem Valenzelektronenpaar

# Intermolekulare Kräfte - Wasserstoffbrückenbindungen

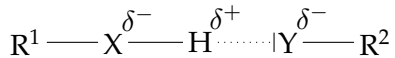


- Zwischen Wasserstoffatom und stark elektronegativem Atom (O, N, F, ...)
- Insbesondere an freiem Valenzelektronenpaar

## Stärke

Schwächer als Ionenbindung, Kovalente Bindung, etc. aber deutlich stärker als Van-der-Waals-Kräfte

# Intermolekulare Kräfte - Wasserstoffbrückenbindungen

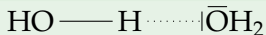


- Zwischen Wasserstoffatom und stark elektronegativem Atom (O, N, F, ...)
- Insbesondere an freiem Valenzelektronenpaar

## Stärke

Schwächer als Ionenbindung, Kovalente Bindung, etc. aber deutlich stärker als Van-der-Waals-Kräfte

## Examples





# induktive Effekte

- Elektronenverschiebungen entlang konvalenter Bindungen

# induktive Effekte

- Elektronenverschiebungen entlang konvalenter Bindungen
- Bindungen mit Elektronegativitätsdifferenzen (aber keine Ionenbindung) (z.B. C–F)

# induktive Effekte

- Elektronenverschiebungen entlang konvalenter Bindungen
- Bindungen mit Elektronegativitätsdifferenzen (aber keine Ionenbindung) (z.B. C–F)
- Beeinflusst Abspaltbarkeit von Teilmolekülen in z.B. nukleophiler Substitution ( $S_N1$ ), elektrophiler Addition, ... (schwächt Bindung)

# induktive Effekte

- Elektronenverschiebungen entlang konvalenter Bindungen
- Bindungen mit Elektronegativitätsdifferenzen (aber keine Ionenbindung) (z.B. C–F)
- Beeinflusst Abspaltbarkeit von Teilmolekülen in z.B. nukleophiler Substitution ( $S_N1$ ), elektrophiler Addition, ... (schwächt Bindung)

# induktive Effekte

- Elektronenverschiebungen entlang konvalenter Bindungen
- Bindungen mit Elektronegativitätsdifferenzen (aber keine Ionenbindung) (z.B. C–F)
- Beeinflusst Abspaltbarkeit von Teilmolekülen in z.B. nukleophiler Substitution ( $S_N1$ ), elektrophiler Addition, ... (schwächt Bindung)

Zum Beispiel durch folgende Gruppen

# induktive Effekte

- Elektronenverschiebungen entlang konvalenter Bindungen
- Bindungen mit Elektronegativitätsdifferenzen (aber keine Ionenbindung) (z.B. C–F)
- Beeinflusst Abspaltbarkeit von Teilmolekülen in z.B. nukleophiler Substitution ( $S_N1$ ), elektrophiler Addition, ... (schwächt Bindung)

Zum Beispiel durch folgende Gruppen

+I-Effekt (Schiebend)

# induktive Effekte

- Elektronenverschiebungen entlang konvalenter Bindungen
- Bindungen mit Elektronegativitätsdifferenzen (aber keine Ionenbindung) (z.B. C–F)
- Beeinflusst Abspaltbarkeit von Teilmolekülen in z.B. nukleophiler Substitution ( $S_N1$ ), elektrophiler Addition, ... (schwächt Bindung)

Zum Beispiel durch folgende Gruppen

## +I-Effekt (Schiebend)

- t-Butylgruppe ( $-\text{C}(\text{CH}_3)_3$ )

# induktive Effekte

- Elektronenverschiebungen entlang konvalenter Bindungen
- Bindungen mit Elektronegativitätsdifferenzen (aber keine Ionenbindung) (z.B. C–F)
- Beeinflusst Abspaltbarkeit von Teilmolekülen in z.B. nukleophiler Substitution ( $S_N1$ ), elektrophiler Addition, ... (schwächt Bindung)

Zum Beispiel durch folgende Gruppen

## +I-Effekt (Schiebend)

- t-Butylgruppe ( $-\text{C}(\text{CH}_3)_3$ )
- i-Propylgruppe ( $-\text{CH}(\text{CH}_3)_2$ )



# induktive Effekte

- Elektronenverschiebungen entlang konvalenter Bindungen
- Bindungen mit Elektronegativitätsdifferenzen (aber keine Ionenbindung) (z.B. C–F)
- Beeinflusst Abspaltbarkeit von Teilmolekülen in z.B. nukleophiler Substitution ( $S_N1$ ), elektrophiler Addition, ... (schwächt Bindung)

Zum Beispiel durch folgende Gruppen

## +I-Effekt (Schiebend)

- t-Butylgruppe ( $-\text{C}(\text{CH}_3)_3$ )
- i-Propylgruppe ( $-\text{CH}(\text{CH}_3)_2$ )
- Alkylrest ( $-\text{R}$ )

# induktive Effekte

- Elektronenverschiebungen entlang konvalenter Bindungen
- Bindungen mit Elektronegativitätsdifferenzen (aber keine Ionenbindung) (z.B. C–F)
- Beeinflusst Abspaltbarkeit von Teilmolekülen in z.B. nukleophiler Substitution ( $S_N1$ ), elektrophiler Addition, ... (schwächt Bindung)

Zum Beispiel durch folgende Gruppen

## +I-Effekt (Schiebend)

- t-Butylgruppe ( $-\text{C}(\text{CH}_3)_3$ )
- i-Propylgruppe ( $-\text{CH}(\text{CH}_3)_2$ )
- Alkylrest ( $-\text{R}$ )

## –I-Effekt (Ziehend)

# induktive Effekte

- Elektronenverschiebungen entlang konvalenter Bindungen
- Bindungen mit Elektronegativitätsdifferenzen (aber keine Ionenbindung) (z.B. C–F)
- Beeinflusst Abspaltbarkeit von Teilmolekülen in z.B. nukleophiler Substitution ( $S_N1$ ), elektrophiler Addition, ... (schwächt Bindung)

Zum Beispiel durch folgende Gruppen

## +I-Effekt (Schiebend)

- t-Butylgruppe ( $-\text{C}(\text{CH}_3)_3$ )
- i-Propylgruppe ( $-\text{CH}(\text{CH}_3)_2$ )
- Alkylrest ( $-\text{R}$ )

## –I-Effekt (Ziehend)

- Hydroxygruppe ( $-\text{OH}$ ) / Carbonylgruppenteil ( $-\text{C}=\text{O}$ )

# induktive Effekte

- Elektronenverschiebungen entlang konvalenter Bindungen
- Bindungen mit Elektronegativitätsdifferenzen (aber keine Ionenbindung) (z.B. C–F)
- Beeinflusst Abspaltbarkeit von Teilmolekülen in z.B. nukleophiler Substitution ( $S_N1$ ), elektrophiler Addition, ... (schwächt Bindung)

Zum Beispiel durch folgende Gruppen

## +I-Effekt (Schiebend)

- t-Butylgruppe ( $-\text{C}(\text{CH}_3)_3$ )
- i-Propylgruppe ( $-\text{CH}(\text{CH}_3)_2$ )
- Alkylrest ( $-\text{R}$ )

## –I-Effekt (Ziehend)

- Hydroxygruppe ( $-\text{OH}$ ) / Carbonylgruppenteil ( $-\text{C}=\text{O}$ )
- Iodatome ( $-\text{I}$ ) / Bromatome ( $-\text{Br}$ ) / Chloratome ( $-\text{Cl}$ ) / Fluoratome ( $-\text{F}$ )

# induktive Effekte

- Elektronenverschiebungen entlang konvalenter Bindungen
- Bindungen mit Elektronegativitätsdifferenzen (aber keine Ionenbindung) (z.B. C–F)
- Beeinflusst Abspaltbarkeit von Teilmolekülen in z.B. nukleophiler Substitution ( $S_N1$ ), elektrophiler Addition, ... (schwächt Bindung)

Zum Beispiel durch folgende Gruppen

## +I-Effekt (Schiebend)

- t-Butylgruppe ( $-\text{C}(\text{CH}_3)_3$ )
- i-Propylgruppe ( $-\text{CH}(\text{CH}_3)_2$ )
- Alkylrest ( $-\text{R}$ )

## –I-Effekt (Ziehend)

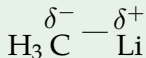
- Hydroxygruppe ( $-\text{OH}$ ) / Carbonylgruppenteil ( $-\text{C}=\text{O}$ )
- Iodatome ( $-\text{I}$ ) / Bromatome ( $-\text{Br}$ ) / Chloratome ( $-\text{Cl}$ ) / Fluoratome ( $-\text{F}$ )
- Nitrogruppe ( $-\text{NO}_2$ ) / Aminogruppe ( $-\text{NH}_2$ ) / Carboxygruppe ( $-\text{COOH}$ ) / Cyanogruppe ( $-\text{CN}$ ) / Sulfonylgruppe ( $-\text{SO}_3\text{H}$ )

# Reaktionsmechanismen - induktive Effekte

## +I-Effekt (Schiebend)

- t-Butylgruppe ( $-\text{C}(\text{CH}_3)_3$ )
- i-Propylgruppe ( $-\text{CH}(\text{CH}_3)_2$ )
- Alkylrest ( $-\text{R}$ )

## Examples



## -I-Effekt (Ziehend)

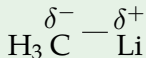
- Hydroxygruppe ( $-\text{OH}$ ) / Carbonylgruppenteil ( $-\text{C}=\text{O}$ )
- Iodatom ( $-\text{I}$ ) / Bromatom ( $-\text{Br}$ ) / Chloratom ( $-\text{Cl}$ ) / Fluoratom ( $-\text{F}$ )
- Nitrogruppe ( $-\text{NO}_2$ ) / Aminogruppe ( $-\text{NH}_2$ ) / Carboxygruppe ( $-\text{COOH}$ ) / Cyanogruppe ( $-\text{CN}$ ) / Sulfonylgruppe ( $-\text{SO}_3\text{H}$ )

# Reaktionsmechanismen - induktive Effekte

## +I-Effekt (Schiebend)

- t-Butylgruppe ( $-\text{C}(\text{CH}_3)_3$ )
- i-Propylgruppe ( $-\text{CH}(\text{CH}_3)_2$ )
- Alkylrest ( $-\text{R}$ )

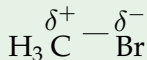
## Examples



## -I-Effekt (Ziehend)

- Hydroxygruppe ( $-\text{OH}$ ) / Carbonylgruppenteil ( $-\text{C}=\text{O}$ )
- Iodatome ( $-\text{I}$ ) / Bromatome ( $-\text{Br}$ ) / Chloratome ( $-\text{Cl}$ ) / Fluoratome ( $-\text{F}$ )
- Nitrogruppe ( $-\text{NO}_2$ ) / Aminogruppe ( $-\text{NH}_2$ ) / Carboxygruppe ( $-\text{COOH}$ ) / Cyanogruppe ( $-\text{CN}$ ) / Sulfonylgruppe ( $-\text{SO}_3\text{H}$ )

## Examples



# Reaktionsenthalpie

## Was ist das?

- $\Delta H_R$  gibt die Änderung der Enthalpie ( $\approx$ Energie) im Verlauf einer Reaktion an, bei konstantem Druck



# Reaktionsenthalpie

## Was ist das?

- $\Delta H_R$  gibt die Änderung der Enthalpie ( $\approx$ Energie) im Verlauf einer Reaktion an, bei konstantem Druck
- Sie entspricht der Differenz zwischen Produkt und Edukt:  $\Delta H_R = H_{\text{Produkt}} - H_{\text{Edukt}}$

# Reaktionsenthalpie

## Was ist das?

- $\Delta H_R$  gibt die Änderung der Enthalpie ( $\approx$ Energie) im Verlauf einer Reaktion an, bei konstantem Druck
- Sie entspricht der Differenz zwischen Produkt und Edukt:  $\Delta H_R = H_{\text{Produkt}} - H_{\text{Edukt}}$
- Da sie nur vergleichbar ist, wenn die Bedingungen gleich sind, verwendet man Standardbedingungen (273, 15K, 1Bar)

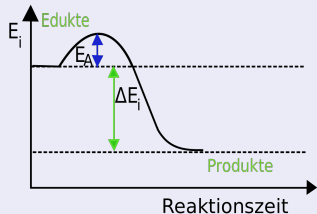
# Reaktionsenthalpie

## Was ist das?

- $\Delta H_R$  gibt die Änderung der Enthalpie ( $\approx$ Energie) im Verlauf einer Reaktion an, bei konstantem Druck
- Sie entspricht der Differenz zwischen Produkt und Edukt:  $\Delta H_R = H_{\text{Produkt}} - H_{\text{Edukt}}$
- Da sie nur vergleichbar ist, wenn die Bedingungen gleich sind, verwendet man Standardbedingungen (273, 15K, 1Bar)
- Die Reaktionsenthalpie unter Standardbedingungen wird als  $\Delta H_R^0$  bezeichnet.

# Reaktionsenthalpie

## Exotherm



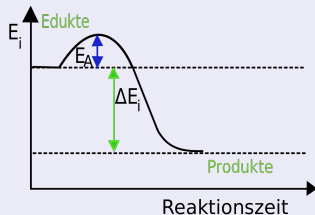
- $\Delta E_i = \Delta H_R < 0 \implies$  Exotherm

## Eigenschaften

- $E_i = H_R$

# Reaktionsenthalpie

## Exotherm



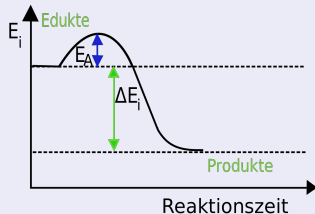
- $\Delta E_i = \Delta H_R < 0 \implies$  Exotherm
- Energie wird freigesetzt

## Eigenschaften

- $E_i = H_R$

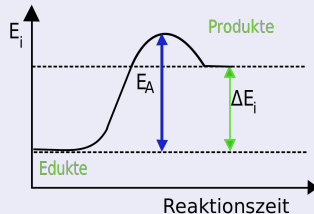
# Reaktionsenthalpie

## Exotherm



- $\Delta E_i = \Delta H_R < 0 \implies$  Exotherm
- Energie wird freigesetzt

## Endotherm

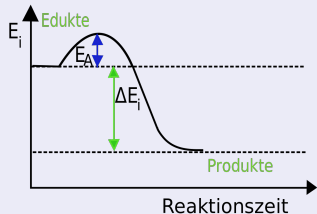


## Eigenschaften

- $E_i = H_R$

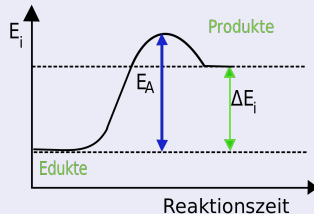
# Reaktionsenthalpie

## Exotherm



- $\Delta E_i = \Delta H_R < 0 \implies$  Exotherm
- Energie wird freigesetzt

## Endotherm



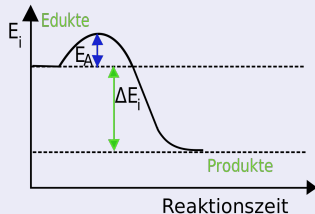
- $\Delta E_i = \Delta H_R > 0 \implies$  Endotherm

## Eigenschaften

- $E_i = H_R$

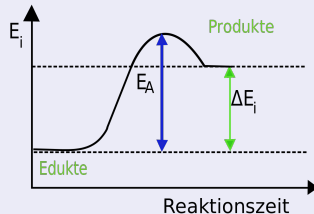
# Reaktionsenthalpie

## Exotherm



- $\Delta E_i = \Delta H_R < 0 \implies$  Exotherm
- Energie wird freigesetzt

## Endotherm



- $\Delta E_i = \Delta H_R > 0 \implies$  Endotherm
- Energie wird aufgenommen

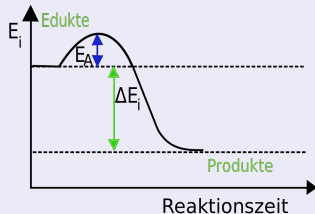
## Eigenschaften

- $E_i = H_R$



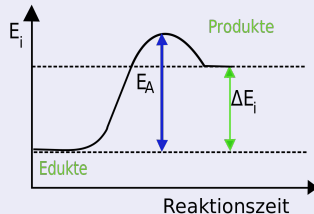
# Reaktionsenthalpie

## Exotherm



- $\Delta E_i = \Delta H_R < 0 \Rightarrow$  Exotherm
- Energie wird freigesetzt

## Endotherm



- $\Delta E_i = \Delta H_R > 0 \Rightarrow$  Endotherm
- Energie wird aufgenommen

## Eigenschaften

- $E_i = H_R$
- $E_A$  bezeichnet die Aktivierungsenergie, die benötigt wird, um die Reaktion zu starten

# Reaktionsmechanismen - radikalische Substitution

- Wasserstoffatome werden von Alkanen abgespalten

# Reaktionsmechanismen - radikalische Substitution

- Wasserstoffatome werden von Alkanen abgespalten
- werden ersetzt/substituiert durch Halogenatome (Fluor (F), Chlor (Cl), Brom (Br), Iod (I))

# Reaktionsmechanismen - radikalische Substitution

- Wasserstoffatome werden von Alkanen abgespalten
- werden ersetzt/substituiert durch Halogenatome (Fluor (F), Chlor (Cl), Brom (Br), Iod (I))
- Benötigt zum Kettenstart externe Energie, um Radikale zu erzeugen (Sonnenlicht, Hitze, etc.)

# Reaktionsmechanismen - radikalische Substitution

## Kettenstart / Initiation

- Hydrolytische Aufbrechung vom Brom

### Examples



# Reaktionsmechanismen - radikalische Substitution

## Kettenstart / Initiation

- Hydrolytische Aufbrechung vom Brom
- Zuführung von Energie (Licht, Wärme)

### Examples



# Reaktionsmechanismen - radikalische Substitution

## Kettenstart / Initiation

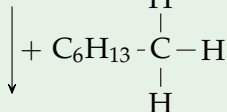
- Hydrolytische Aufbrechung vom Brom
- Zuführung von Energie (Licht, Wärme)
- Bindungspartner behalten Elektronen

### Examples



# Reaktionsmechanismen - radikalische Substitution

## Examples



## Kettenstart / Initiation

- Hydrolytische Aufbrechung vom Brom
- Zuführung von Energie (Licht, Wärme)
- Bindungspartner behalten Elektronen

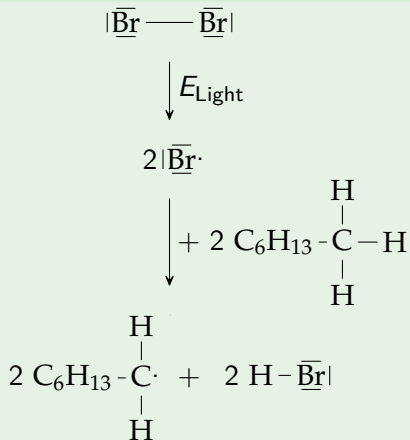
## Kettenfortschritt / Folgereaktion / Prolongation

- Reaktion mit Kohlenwasserstoff



# Reaktionsmechanismen - radikalische Substitution

## Examples



## Kettenstart / Initiation

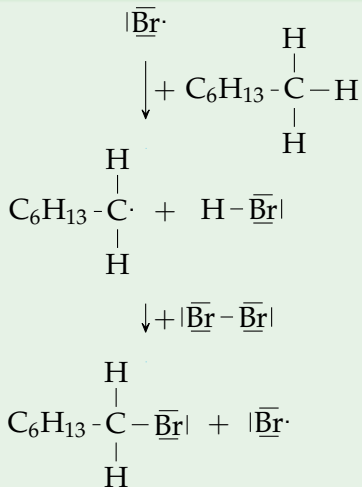
- Hydrolytische Aufbrechung vom Brom
- Zuführung von Energie (Licht, Wärme)
- Bindungspartner behalten Elektronen

## Kettenfortschritt / Folgereaktion / Prolongation

- Reaktion mit Kohlenwasserstoff
- Bildung weiterer Radikale, es entsteht  $\text{H} - \underline{\text{Br}}\cdot$  und ein Alkylradikal

# Reaktionsmechanismen - radikalische Substitution

## Examples



## Kettenstart / Initiation

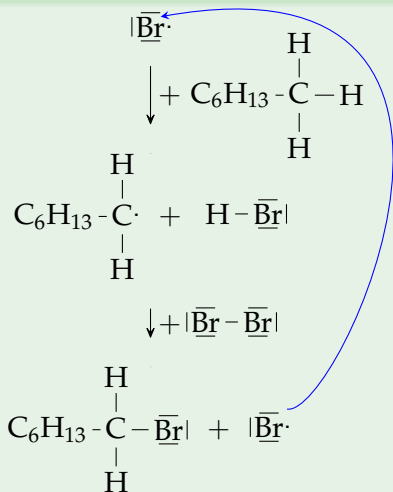
- Hydrolytische Aufbrechung vom Brom
- Zuführung von Energie (Licht, Wärme)
- Bindungspartner behalten Elektronen

## Kettenfortschritt / Folgereaktion / Prolongation

- Reaktion mit Kohlenwasserstoff
- Bildung weiterer Radikale, es entsteht  $\text{H}-\text{Br}\cdot$  und ein Alkylradikal
- Reaktion mit unreaktierten Halogenmolekül, es entsteht ein Halogenalkan

# Reaktionsmechanismen - radikalische Substitution

## Examples



## Kettenstart / Initiation

- Hydrolytische Aufbrechung vom Brom
- Zuführung von Energie (Licht, Wärme)
- Bindungspartner behalten Elektronen

## Kettenfortschritt / Folgereaktion / Prolongation

- Reaktion mit Kohlenwasserstoff
- Bildung weiterer Radikale, es entsteht  $\text{H}-\text{Br}\cdot$  und ein Alkylradikal
- Reaktion mit unreaktierten Halogenmolekül, es entsteht ein Halogenalkan
- Wiederholen dieses Schrittes bis kein Edukt mehr vorliegt

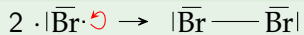
## Examples

### Kettenabbruch

- Rekombination der Radikale (Bildung von Konvalenten Bindungen):

# Reaktionsmechanismen - radikalische Substitution

## Examples

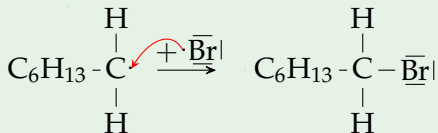
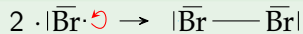


## Kettenabbruch

- Rekombination der Radikale (Bildung von Konvalenten Bindungen):
- Zwei Halogenradikale treffen aufeinander

# Reaktionsmechanismen - radikalische Substitution

## Examples

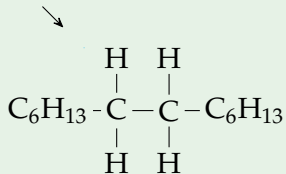
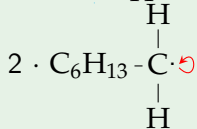
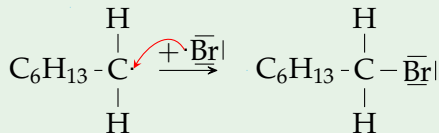


## Kettenabbruch

- Rekombination der Radikale (Bildung von Konvalenten Bindungen):
- Zwei Halogenradikale treffen aufeinander
- Ein Halogenradikal und ein Alkylradikal treffen aufeinander

# Reaktionsmechanismen - radikalische Substitution

## Examples

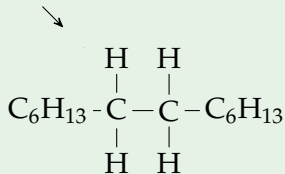
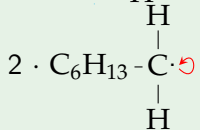
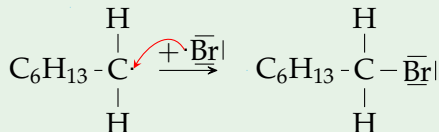
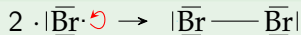


## Kettenabbruch

- Rekombination der Radikale (Bildung von Konvalenten Bindungen):
- Zwei Halogenradikale treffen aufeinander
- Ein Halogenradikal und ein Alkylradikal treffen aufeinander
- Zwei Alkylradikale treffen aufeinander

# Reaktionsmechanismen - radikalische Substitution

## Examples



## Kettenabbruch

- Rekombination der Radikale (Bildung von Konvalenten Bindungen):
- Zwei Halogenradikale treffen aufeinander
- Ein Halogenradikal und ein Alkylradikal treffen aufeinander
- Zwei Alkylradikale treffen aufeinander
- Notiz: Da die Rekombination energetisch ungünstig ist, spielt der Kettenabbruch bis die Edukte verbraucht sind meist eine untergeordnete Rolle.



# Reaktionsmechanismen - elektrophile Addition

## Mechanismus

- Ungesättigte Kohlenwasserstoffe wie Alkene oder Alkine reagieren mit Halogenen

# Reaktionsmechanismen - elektrophile Addition

## Mechanismus

- Ungesättigte Kohlenwasserstoffe wie Alkene oder Alkine reagieren mit Halogenen
- Halogene greifen Doppelbindung im Substrat an

# Reaktionsmechanismen - elektrophile Addition

## Mechanismus

- Ungesättigte Kohlenwasserstoffe wie Alkene oder Alkine reagieren mit Halogenen
- Halogene greifen Doppelbindung im Substrat an
- Unterteilung in mehrere Schritte (siehe folgendes Beispiel)

# Reaktionsmechanismen - elektrophile Addition

## Mechanismus

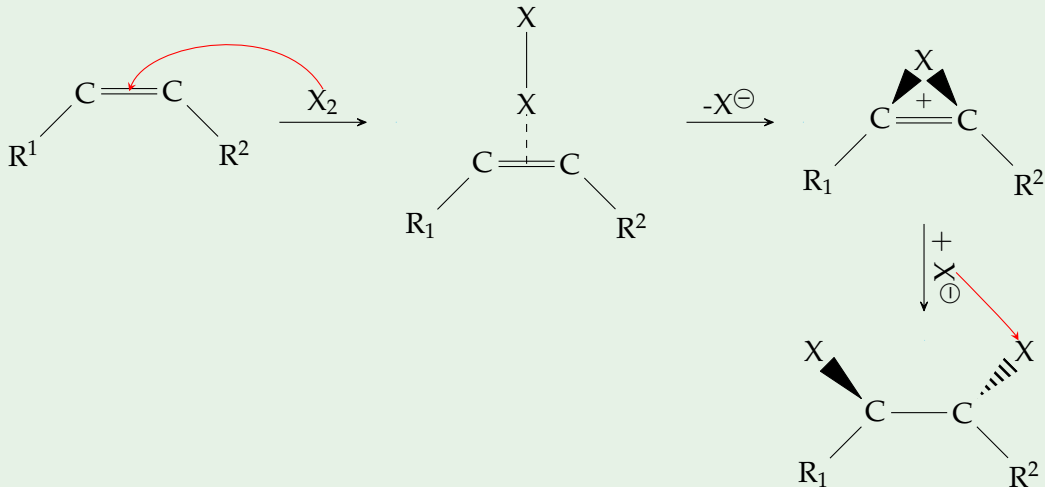
- Ungesättigte Kohlenwasserstoffe wie Alkene oder Alkine reagieren mit Halogenen
- Halogene greifen Doppelbindung im Substrat an
- Unterteilung in mehrere Schritte (siehe folgendes Beispiel)

## Halogene

Die elektrophile Addition funktioniert ausschließlich mit Chlor (Cl), Brom (Br) und Iod (I), da Fluor (F) so elektronegativer ist, dass es die C—C-Bindung und die C—H-Bindung im Alken/Alkin angreift.

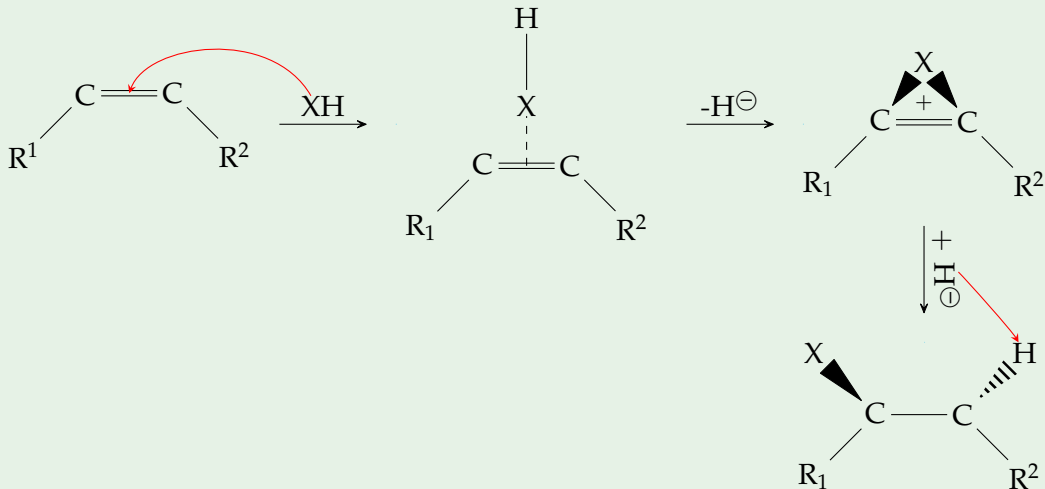
# Reaktionsmechanismen - elektrophile Addition

## Examples (+ X<sub>2</sub>)



# Reaktionsmechanismen - elektrophile Addition

## Examples (+ XH)



# Reaktionsmechanismen - Eliminierung

- “elektrophile Addition rückwärts”
- Spaltet  $X-H$  ab

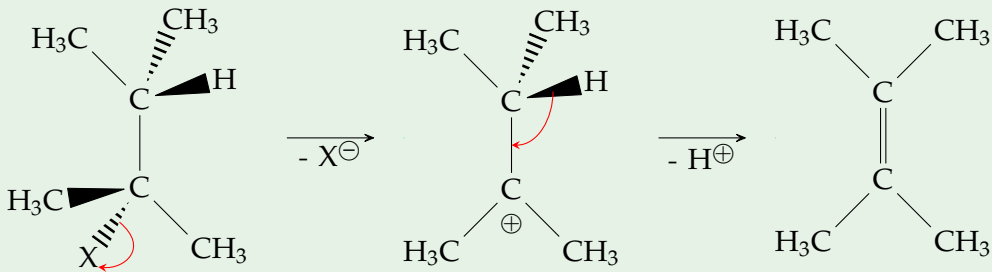
# Reaktionsmechanismen - Eliminierung

- “elektrophile Addition rückwärts”
- Spaltet X–H ab
- 3 verschiedene Mechanismen:  $E_1$ ,  $E_1cB$ ,  $E_2$



# Reaktionsmechanismen - Eliminierung - $E_1$

## Examples

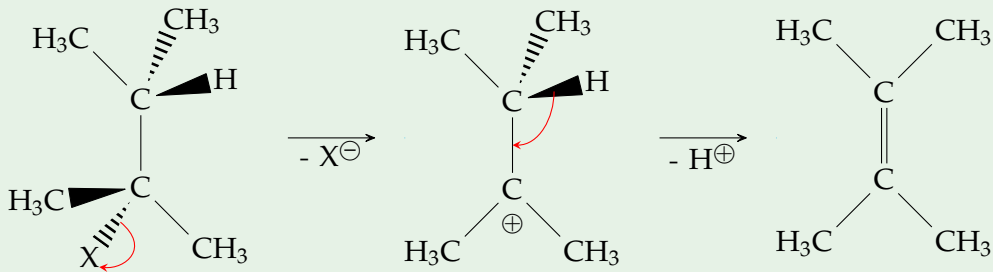


## Vorgang

- Das Halogen-Atom wird im ersten Schritt abgespalten

# Reaktionsmechanismen - Eliminierung - $E_1$

## Examples

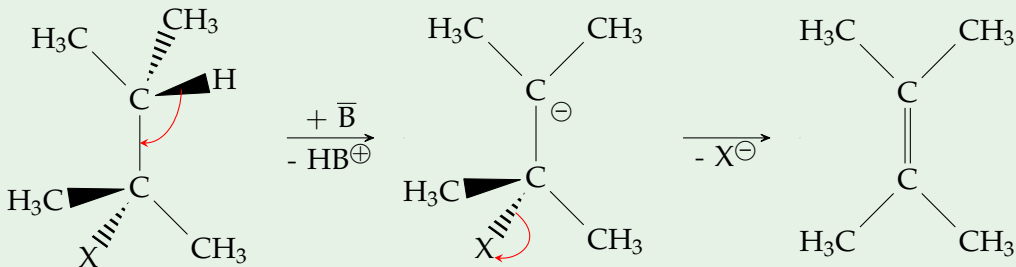


## Vorgang

- Das Halogen-Atom wird im ersten Schritt abgespalten
- Das Wasserstoff-Atom wird im zweiten Schritt abgespalten

# Reaktionsmechanismen - Eliminierung - $E_1cB$

## Examples

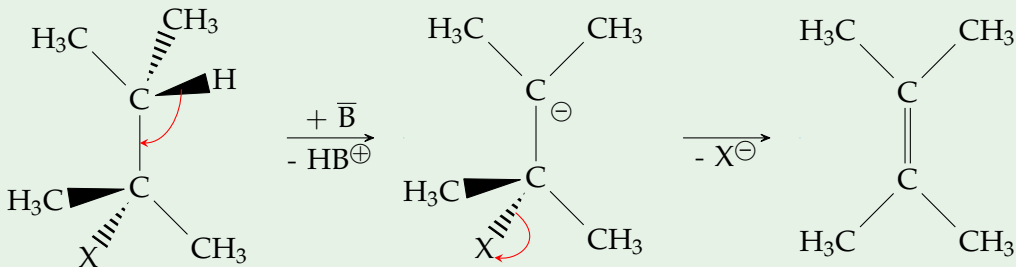


## Vorgang

- Das **Wasserstoff-Atom** wird im **ersten** Schritt abgespalten

# Reaktionsmechanismen - Eliminierung - $E_1cB$

## Examples

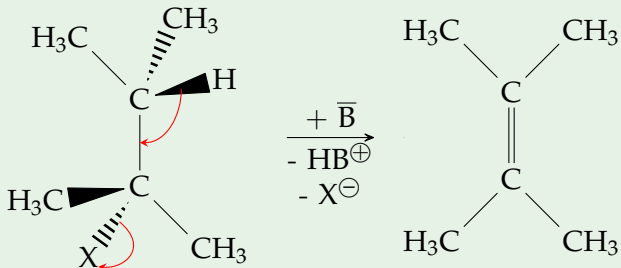


## Vorgang

- Das **Wasserstoff-Atom** wird im **ersten** Schritt abgespalten
- Das **Halogen-Atom** wird im **zweiten** Schritt abgespalten

# Reaktionsmechanismen - Eliminierung - $E_2$

## Examples



## Vorgang

- Das Wasserstoff-Atom und das Halogen-Atom wird in **einem Schritt** abgespalten

# Reaktionsmechanismen - Eliminierung - Reaktionsgeschwindigkeit

## $E_1 / E_1cB$

Da die  $E_1 / E_1cB$ -Reaktion in zwei Schritten verläuft, beeinflusst nur eine Konzentration die Reaktionsgeschwindigkeit (der 1. Schritt muss vollendet sein, damit der 2. Schritt passieren kann)

$$v = k_1 \cdot c[\text{Substrat}]$$

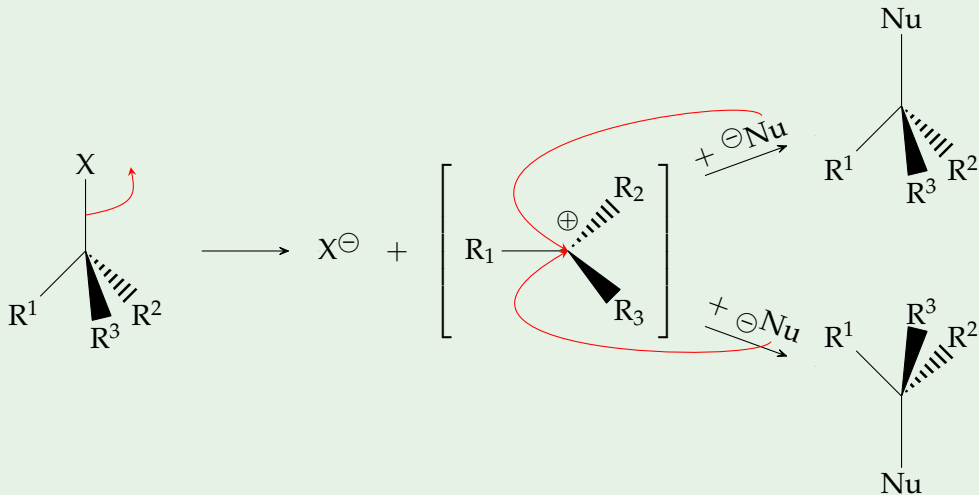
## $E_2 / E_1cB$

Da die  $E_2$ -Reaktion in einem Schritt verläuft, beeinflussen **beide** Konzentrationen die Reaktionsgeschwindigkeit (Beide Edukte sind am 1. Schritt beteiligt)

$$v = k_2 \cdot c[\text{Substrat}] \cdot c[\text{Elektrophil}]$$

# Reaktionsmechanismen - nukleophile Substitution - $S_N1$

## Examples



# Reaktionsmechanismen - nukleophile Substitution - $S_N1$

## Schritte

Die  $S_N1$ -Reaktion verläuft 2-Schrittig

## Reaktionsgeschwindigkeit

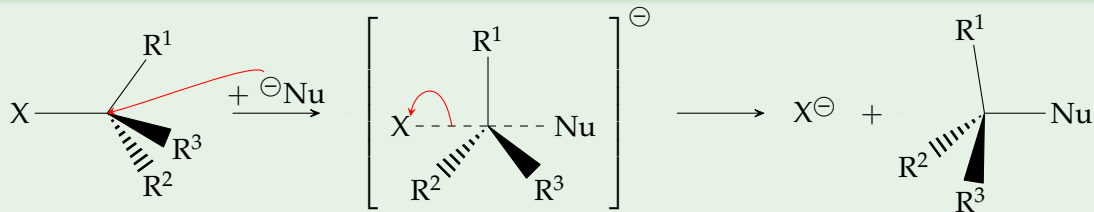
Bei einer  $S_N1$ -Reaktion beeinflusst **nur eine** Konzentration die Reaktionsgeschwindigkeit (weil sie in 2 Schritten verläuft)

$$v = k_1 \cdot c[\text{Substrat}]$$



# Reaktionsmechanismen - nukleophile Substitution - $S_N2$

## Examples



## Schritte

Die  $S_N2$ -Reaktion verläuft 1-Schrittig

## Reaktionsgeschwindigkeit

Bei einer  $S_N2$ -Reaktion beeinflussen **beide** Konzentrationen die Reaktionsgeschwindigkeit (weil sie in einem Schritt verläuft)

$$v = k_2 \cdot c[\text{Substrat}] \cdot c[\text{Nukleophil}]$$

- Einteilung von Stoffen

# Stoffklassen

- Einteilung von Stoffen
- funktionelle Gruppe ist charakteristisch für Stoffklasse

# Stoffklassen

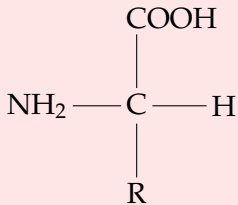
- Einteilung von Stoffen
- funktionelle Gruppe ist charakteristisch für Stoffklasse
- Atome in Molekülen bestimmen über chemische und physikalische Eigenschaften

# Stoffklassen

Funktionelle Gruppe	Stoffklasse
Halogen $R-X$	Halogenalkane
Amino-Gruppe $R-\overset{\text{H}}{\underset{\text{H}}{\text{N}}}$	Amine
Hydroxy-Gruppe $R-\overset{\text{H}}{\text{O}}-\text{H}$	Alkohole
Ether-Gruppe $R^1-\overset{\text{H}}{\text{O}}-R^2$	Ether
Aldehyd-Gruppe $R-\overset{\text{O}}{\underset{\text{H}}{\text{C}}}$	Aldehyde
Keto-Gruppe $\begin{matrix} R^1 \\ \diagdown \\ C=O \\ \diagup \\ R^2 \end{matrix}$	Ketone
Carboxy-Gruppe $\begin{matrix} & \text{O} \\ &    \\ R- & C \\ & \diagup \quad \diagdown \\ & \text{O} \quad \text{H} \end{matrix}$	Carbonsäure

## Mehrere Stoffklassen

Einige Moleküle können auch mehrere Stoffklassen haben, zum Beispiel:



Aminosäure