

# Das Protolysegleichgewicht

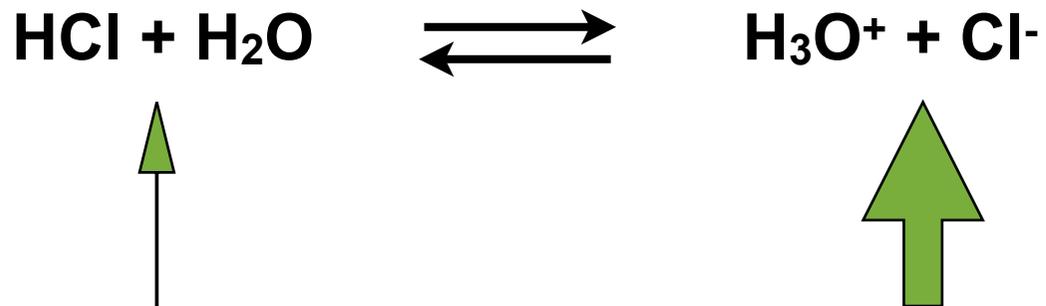
Wie könnte man die Stärke einer Säure quantitativ definieren?

# Das Protolysegleichgewicht

Starke Säuren

Wie könnte man die Stärke einer Säure quantitativ definieren?

Bei **starken** Säuren wie HCl liegt das Gleichgewicht der Protolyse weit auf der rechten Seite:

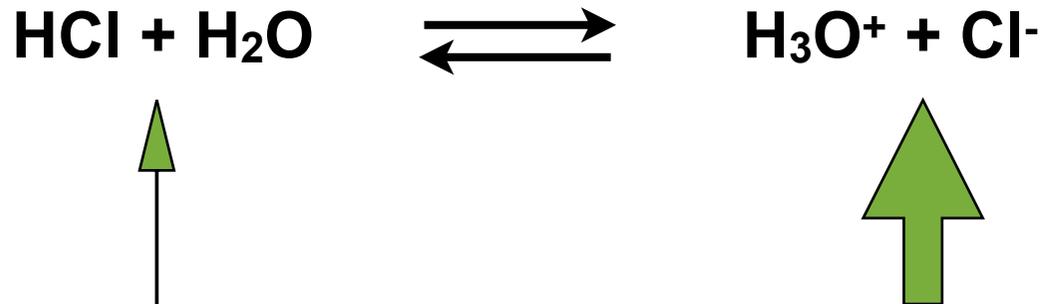


# Das Protolysegleichgewicht

Starke Säuren

Wie könnte man die Stärke einer Säure quantitativ definieren?

Bei **starken** Säuren wie HCl liegt das Gleichgewicht der Protolyse weit auf der rechten Seite:



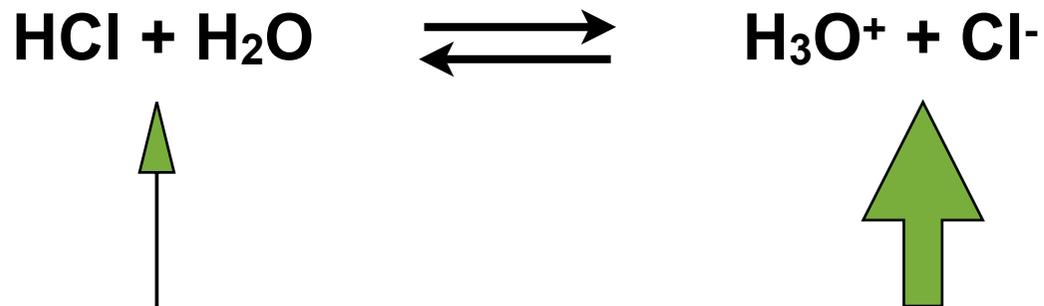
Anwendung des Massenwirkungsgesetzes:

# Das Protolysegleichgewicht

Starke Säuren

Wie könnte man die Stärke einer Säure quantitativ definieren?

Bei **starken** Säuren wie HCl liegt das Gleichgewicht der Protolyse weit auf der rechten Seite:



Anwendung des Massenwirkungsgesetzes:

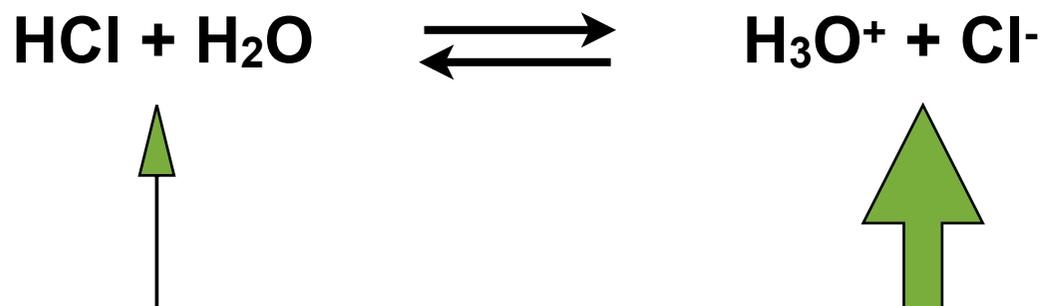
$$K = \frac{c(\text{H}_3\text{O}^+) \cdot c(\text{Cl}^-)}{c(\text{H}_2\text{O}) \cdot c(\text{HCl})}$$

# Das Protolysegleichgewicht

Starke Säuren

Wie könnte man die Stärke einer Säure quantitativ definieren?

Bei **starken** Säuren wie HCl liegt das Gleichgewicht der Protolyse weit auf der rechten Seite:



Anwendung des Massenwirkungsgesetzes:

$$K = \frac{c(\text{H}_3\text{O}^+) \cdot c(\text{Cl}^-)}{c(\text{H}_2\text{O}) \cdot c(\text{HCl})}$$

*hohe Konzentration* ←

*im Gleichgewicht*

← *sehr niedrige Konzentration < 0,00001 mol/l*

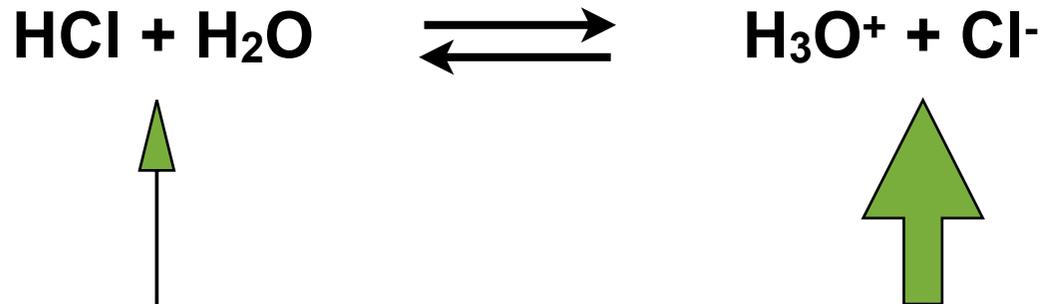
↑  
*Konzentration konstant 55,4 mol/l*

# Das Protolysegleichgewicht

Starke Säuren

Wie könnte man die Stärke einer Säure quantitativ definieren?

Bei **starken** Säuren wie HCl liegt das Gleichgewicht der Protolyse weit auf der rechten Seite:



Umstellung der Gleichung; beide Konstanten auf die linke Seite:

$$K * c(\text{H}_2\text{O}) = \frac{c(\text{H}_3\text{O}^+) * c(\text{Cl}^-)}{c(\text{HCl})}$$

*hohe Konzentration* ←  
*im Gleichgewicht*  
 ← *sehr niedrige Konzentration < 0,00001 mol/l*

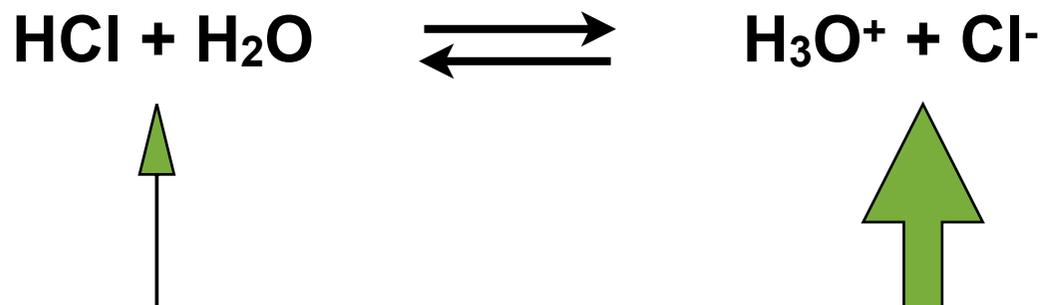
↑  
*Konzentration konstant 55,4 mol/l*

# Das Protolysegleichgewicht

Starke Säuren

Wie könnte man die Stärke einer Säure quantitativ definieren?

Bei **starken** Säuren wie HCl liegt das Gleichgewicht der Protolyse weit auf der rechten Seite:



Vereinigung zu einer neuen Konstanten, der Säurekonstante  $K_S$

$$K_S = \frac{c(\text{H}_3\text{O}^+) * c(\text{Cl}^-)}{c(\text{HCl})}$$

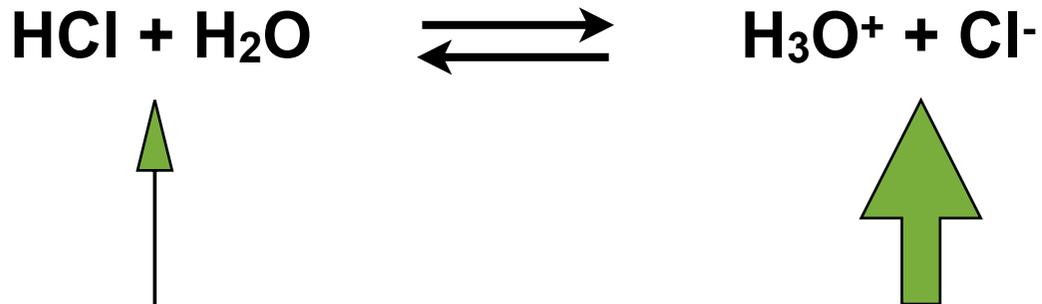
*hohe Konzentration* ←  
*im Gleichgewicht*  
← *sehr niedrige Konzentration < 0,00001 mol/l*

# Das Protolysegleichgewicht

Starke Säuren

Wie könnte man die Stärke einer Säure quantitativ definieren?

Bei **starken** Säuren wie HCl liegt das Gleichgewicht der Protolyse weit auf der rechten Seite:



Berücksichtigung der Tatsache, dass  $c(\text{H}_3\text{O}^+) = c(\text{Cl}^-)$  ist:

$$K_S = \frac{c(\text{H}_3\text{O}^+)^2}{c(\text{HCl})}$$

*sehr großer Wert* (pointing to the numerator)

*im Gleichgewicht* (pointing to the fraction)

*extrem kleiner Wert* (pointing to the denominator)

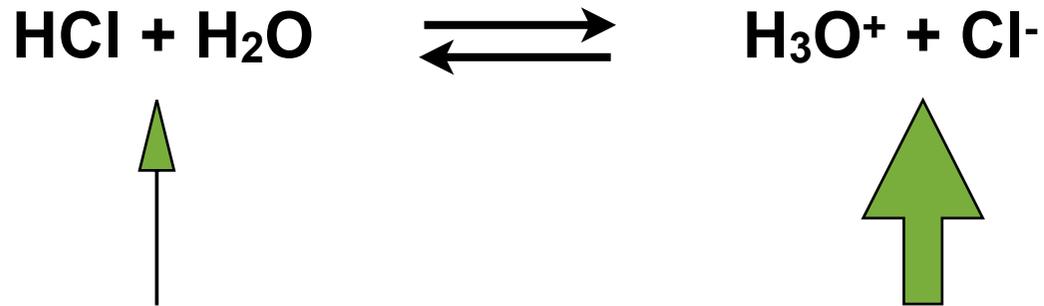
*extrem großer Wert* (pointing to  $K_S$ )

# Das Protolysegleichgewicht

Starke Säuren

Wie könnte man die Stärke einer Säure quantitativ definieren?

Bei **starken** Säuren wie HCl liegt das Gleichgewicht der Protolyse weit auf der rechten Seite:



Berücksichtigung der Tatsache, dass  $c(\text{H}_3\text{O}^+) = c(\text{Cl}^-)$  ist:

$$K_S = \frac{c(\text{H}_3\text{O}^+)^2}{c(\text{HCl})}$$

*sehr großer Wert* (pointing to the numerator)  
*im Gleichgewicht*  
*extrem kleiner Wert* (pointing to the denominator)

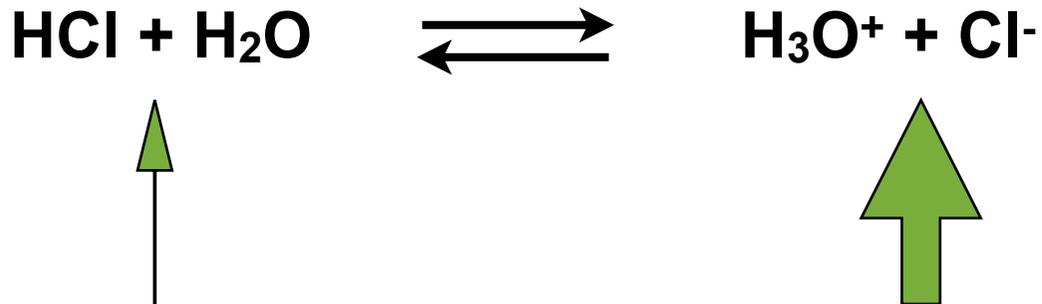
Bei starken Säuren hat die Säurekonstante  $K_S$  einen extrem hohen Wert, beispielsweise  $K_S = 10^{4.2}$ .

# Das Protolysegleichgewicht

Starke Säuren

Wie könnte man die Stärke einer Säure quantitativ definieren?

Bei **starken** Säuren wie HCl liegt das Gleichgewicht der Protolyse weit auf der rechten Seite:



Berücksichtigung der Tatsache, dass  $c(\text{H}_3\text{O}^+) = c(\text{Cl}^-)$  ist:

$$K_S = \frac{c(\text{H}_3\text{O}^+)^2}{c(\text{HCl})}$$

*sehr großer Wert* (pointing to the numerator)  
*im Gleichgewicht* (pointing to the fraction)  
*Wert = 0* (pointing to the denominator)  
*extrem großer Wert* (pointing to  $K_S$ )

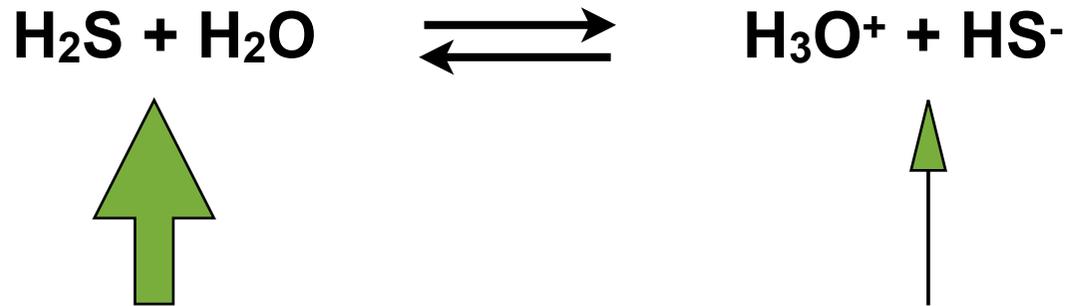
Bei sehr starken Säuren ist  $K_S$  unendlich hoch. Eine Angabe von  $K_S$  macht dann keinen Sinn.

# Das Protolysegleichgewicht

Schwache Säuren

Wie könnte man die Stärke einer Säure quantitativ definieren?

Bei **schwachen** Säuren wie  $\text{H}_2\text{S}$  liegt das Gleichgewicht der Protolyse weit auf der linken Seite:

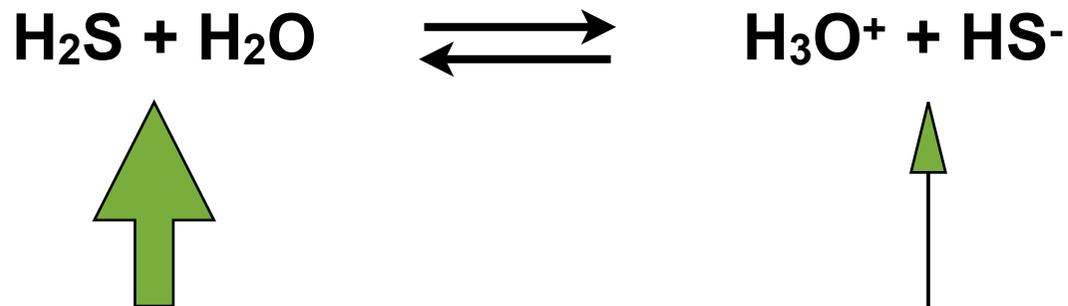


# Das Protolysegleichgewicht

Schwache Säuren

Wie könnte man die Stärke einer Säure quantitativ definieren?

Bei **schwachen** Säuren wie  $\text{H}_2\text{S}$  liegt das Gleichgewicht der Protolyse weit auf der linken Seite:



Anwendung des Massenwirkungsgesetzes, Vereinigung der beiden Konstanten:

$$K * c(\text{H}_2\text{O}) = \frac{c(\text{H}_3\text{O}^+) * c(\text{HS}^-)}{c(\text{H}_2\text{S})}$$

← *sehr niedrige Konzentration*  
*im Gleichgewicht*  
 ← *nahezu gleiche Konzentration wie die Anfangskonzentration  $c_0(\text{H}_2\text{S})$*

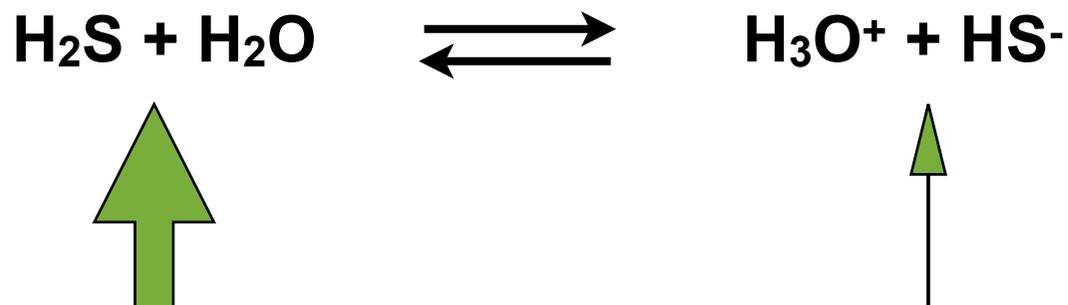
↑  
*Konzentration konstant 55,4 mol/l*

# Das Protolysegleichgewicht

Schwache Säuren

Wie könnte man die Stärke einer Säure quantitativ definieren?

Bei **schwachen** Säuren wie  $\text{H}_2\text{S}$  liegt das Gleichgewicht der Protolyse weit auf der linken Seite:



Berechnung der Säurekonstanten:

$$K_S = \frac{c(\text{H}_3\text{O}^+)^2}{c_0(\text{H}_2\text{S})}$$

*sehr niedrige Konzentration*

*im Gleichgewicht*

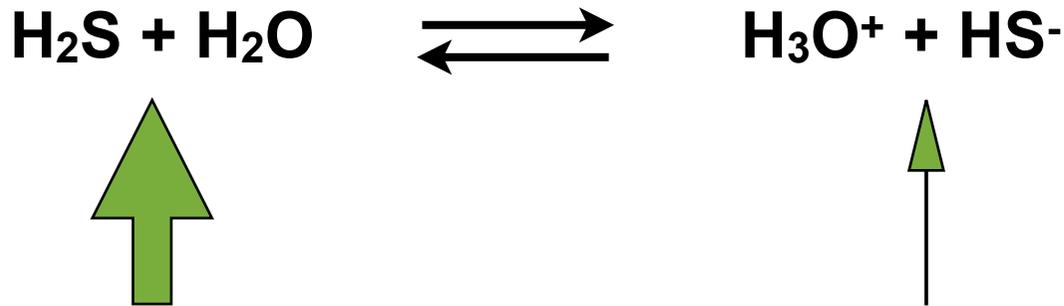
*nahezu gleiche Konzentration wie die Anfangskonzentration  $c_0(\text{H}_2\text{S})$*

# Das Protolysegleichgewicht

Schwache Säuren

Wie könnte man die Stärke einer Säure quantitativ definieren?

Bei **schwachen** Säuren wie  $\text{H}_2\text{S}$  liegt das Gleichgewicht der Protolyse weit auf der linken Seite:



Berechnung der Säurekonstanten:

$$K_S = \frac{c(\text{H}_3\text{O}^+)^2}{c_0(\text{H}_2\text{S})}$$

*sehr niedrige Konzentration*  
*im Gleichgewicht*  
*nahezu gleiche Konzentration*  
*wie die Anfangskonzentration*  
 $c_0(\text{H}_2\text{S})$

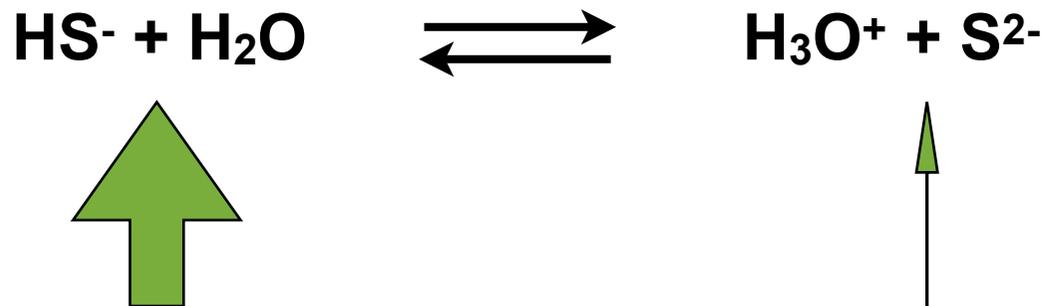
Bei schwachen Säuren hat die Säurekonstante  $K_S$  einen sehr kleinen Wert, beispielsweise  $K_S = 10^{-6,9}$ .

# Das Protolysegleichgewicht

Schwache Säuren

Wie könnte man die Stärke einer Säure quantitativ definieren?

Bei **sehr schwachen** Säuren wie HS<sup>-</sup> liegt das Gleichgewicht der Protolyse sehr weit links:



Berechnung der Säurekonstanten:

$$K_S = \frac{c(\text{H}_3\text{O}^+)^2}{c_0(\text{HS}^-)}$$

*im Gleichgewicht*

*Konzentration fast 0.* (pointing to the numerator)

*gleiche Konzentration wie die Anfangskonzentration  $c_0(\text{HS}^-)$*  (pointing to the denominator)

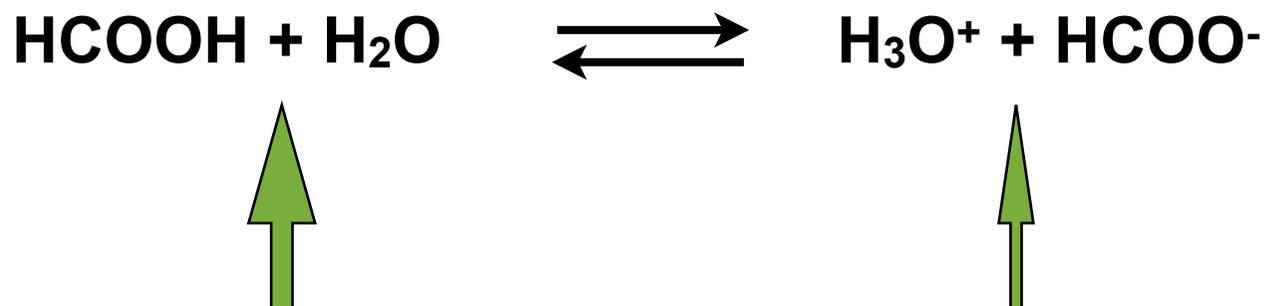
*Bei sehr schwachen Säuren hat  $K_S$  einen Wert, der nahe bei 0 liegt.*

# Das Protolysegleichgewicht

Mittelstarke Säuren

Wie könnte man die Stärke einer Säure quantitativ definieren?

Bei **mittelstarken** Säuren wie HCOOH liegt das Gleichgewicht der Protolyse auf der linken Seite:



Berechnung der Säurekonstanten (nach Umstellung des MWG):

$$K_S = \frac{c(\text{H}_3\text{O}^+)^2}{c(\text{HCOOH})}$$

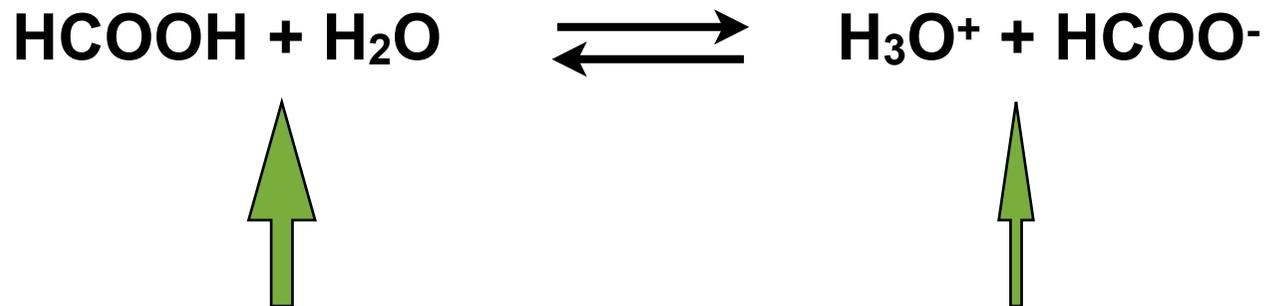
*messbare Konzentration (pH-Wert)* (pointing to  $c(\text{H}_3\text{O}^+)^2$ )  
*im Gleichgewicht*  
*deutlich geringere Konzentration als Anfangskonzentration  $c_0(\text{HCOOH})$*  (pointing to  $c(\text{HCOOH})$ )

# Das Protolysegleichgewicht

Mittelstarke Säuren

Wie könnte man die Stärke einer Säure quantitativ definieren?

Bei **mittelstarken** Säuren wie HCOOH liegt das Gleichgewicht der Protolyse auf der linken Seite:



Berechnung der Säurekonstanten (nach Umstellung des MWG):

$$K_S = \frac{c(\text{H}_3\text{O}^+)^2}{c_0(\text{HCOOH}) - c(\text{H}_3\text{O}^+)}$$

*aus pH-Wert berechnen*

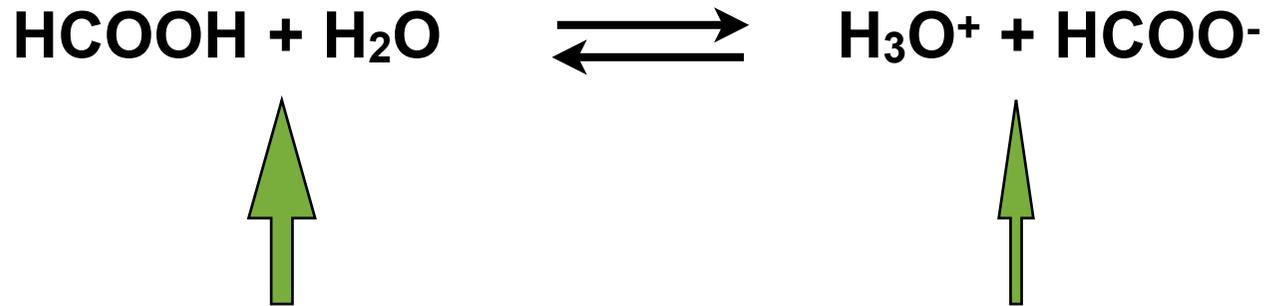
*Anfangskonzentration*

# Das Protolysegleichgewicht

Mittelstarke Säuren

Wie könnte man die Stärke einer Säure quantitativ definieren?

Bei **mittelstarken** Säuren wie HCOOH liegt das Gleichgewicht der Protolyse auf der linken Seite:



Berechnung der Säurekonstanten (nach Umstellung des MWG):

$$K_S = \frac{c(\text{H}_3\text{O}^+)^2}{c_0(\text{HCOOH}) - c(\text{H}_3\text{O}^+)}$$

aus pH-Wert berechnen

Anfangskonzentration

Bei mittelstarken Säuren hat  $K_S$  einen Wert, der im Bereich 0,01 bis 0,001 liegt.

## Berechnung des $K_S$ -Wertes von Essigsäure

Dies ist die Gleichung für den  $K_S$ -Wert einer mittelstarken Säure

$$K_S = \frac{c(\text{H}_3\text{O}^+)^2}{c_0(\text{CH}_3\text{COOH}) - c(\text{H}_3\text{O}^+)}$$

# Berechnung des $K_S$ -Wertes von Essigsäure

Dies ist die Gleichung für den  $K_S$ -Wert einer mittelstarken Säure

$$K_S = \frac{c(\text{H}_3\text{O}^+)^2}{c_0(\text{CH}_3\text{COOH}) - c(\text{H}_3\text{O}^+)}$$

*aus pH-Wert = 2,8 berechnen*

*Anfangskonzentration = 0,1 mol/l*

## Berechnung des $K_S$ -Wertes von Essigsäure

Dies ist die Gleichung für den  $K_S$ -Wert einer mittelstarken Säure

$$K_S = \frac{c(\text{H}_3\text{O}^+)^2}{c_0(\text{CH}_3\text{COOH}) - c(\text{H}_3\text{O}^+)}$$

*aus pH-Wert = 2,8 berechnen*

*Anfangskonzentration = 0,1 mol/l*

$$K_S = \frac{(10^{-2,8})^2}{0,1 - 10^{-2,8}} = \frac{10^{-5,6}}{0,1 - 10^{-2,8}}$$

## Berechnung des $K_S$ -Wertes von Essigsäure

Dies ist die Gleichung für den  $K_S$ -Wert einer mittelstarken Säure

$$K_S = \frac{c(\text{H}_3\text{O}^+)^2}{c_0(\text{CH}_3\text{COOH}) - c(\text{H}_3\text{O}^+)}$$

aus pH-Wert = 2,8 berechnen

Anfangskonzentration = 0,1 mol/l

$$K_S = \frac{(10^{-2,8})^2}{0,1 - 10^{-2,8}} = \frac{10^{-5,6}}{0,1 - 10^{-2,8}} = \frac{10^{-5,6}}{0,098} = \frac{0,0000025}{0,098} = 10^{-4,59}$$

# Der pK<sub>S</sub>-Wert

$$K_S = \frac{10^{-5,8} (\text{mol/l})^2}{0,1 \text{ mol/l}} = 10^{-4,8} \text{ mol/l}$$

**pK<sub>S</sub>-Wert = negativer dekadischer Logarithmus des K<sub>S</sub>-wertes.**

Der **pK<sub>S</sub>**-Wert von Essigsäure beträgt 4,8.

In der Tabelle stehen die **pK<sub>S</sub>**-Werte einiger Säuren.

Für die ersten drei Säuren kann kein **pK<sub>S</sub>**-Wert angegeben werden, weil sie die Protonen vollständig abgeben; c(HA) wäre dann 0, und durch 0 darf nicht dividiert werden.

	Säure	pK <sub>S</sub> -Wert
<b>starke Säuren</b>	HI	---
	HCl	---
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	---
	HNO <sub>3</sub>	-1,32
<b>mittelstarke Säuren</b>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	2,13
	HF	3,14
	HCOOH	3,75
	CH <sub>3</sub> COOH	4,75
<b>schwache Säuren</b>	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	6,52
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	9,25
	HCN	9,4
<b>sehr schwache Säuren</b>	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH	15,9
	CH <sub>4</sub>	34

# Beispiel aus einer Abituraufgabe NRW

## Abitur 2018, Leistungskurs

Den Schüler(innen) wurde eine Titrationskurve vorgegeben (Vanillin-Extrakt mit NaOH), und in der Aufgabe 2 wurde dann verlangt, aus dieser Kurve den pK<sub>S</sub>-Wert von Vanillin zu bestimmen.

# Beispiel aus einer Abituraufgabe NRW

## Abitur 2018, Leistungskurs

Den Schüler(innen) wurde eine Titrationskurve vorgegeben (Vanillin-Extrakt mit NaOH), und in der Aufgabe 2 wurde dann verlangt, aus dieser Kurve den pK<sub>S</sub>-Wert von Vanillin zu bestimmen.

Aus der Kurve konnte man entnehmen, dass der Vanillin-Extrakt einen pH-Wert von 4,2 hatte. Aus den Vorgaben ging hervor, dass die Konzentration des Extraktes 0,1 mol/l betrug.

# Beispiel aus einer Abituraufgabe NRW

## Abitur 2018, Leistungskurs

Den Schüler(innen) wurde eine Titrationskurve vorgegeben (Vanillin-Extrakt mit NaOH), und in der Aufgabe 2 wurde dann verlangt, aus dieser Kurve den pK<sub>S</sub>-Wert von Vanillin zu bestimmen.

Aus der Kurve konnte man entnehmen, dass der Vanillin-Extrakt einen pH-Wert von 4,2 hatte. Aus den Vorgaben ging hervor, dass die Konzentration des Extraktes 0,1 mol/l betrug.

Wir nehmen die bekannte Gleichung für den K<sub>S</sub>-Wert schwacher Säuren:

$$K_S = \frac{c(\text{H}_3\text{O}^+)^2}{c_0(\text{HA})}$$

# Beispiel aus einer Abituraufgabe NRW

## Abitur 2018, Leistungskurs

Den Schüler(innen) wurde eine Titrationskurve vorgegeben (Vanillin-Extrakt mit NaOH), und in der Aufgabe 2 wurde dann verlangt, aus dieser Kurve den pK<sub>S</sub>-Wert von Vanillin zu bestimmen.

Aus der Kurve konnte man entnehmen, dass der Vanillin-Extrakt einen pH-Wert von 4,2 hatte. Aus den Vorgaben ging hervor, dass die Konzentration des Extraktes 0,1 mol/l betrug.

Wir nehmen die bekannte Gleichung für den K<sub>S</sub>-Wert schwacher Säuren:

$$K_S = \frac{c(\text{H}_3\text{O}^+)^2}{c_0(\text{HA})} \quad \longrightarrow \quad K_S = \frac{10^{-8,4}}{10^{-1}} \quad \longrightarrow \quad K_S = 10^{-7,4}$$

und setzen die gegebenen Werte ein.

**Der pK<sub>S</sub>-Wert des Vanillins beträgt also 7,4.**