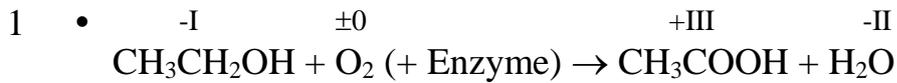
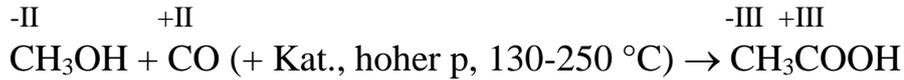


Aufgabe 1



C wird oxidiert von $-I$ nach $+III$,
O wird reduziert von ± 0 nach $-II$.



C in CO wird oxidiert von $+II$ nach $+III$,
C in CH₃OH wird reduziert von $-II$ nach $-III$.

- $\Delta_r H^0 (\text{CH}_3\text{OH}_g) = -201 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
- $S^0 (\text{CH}_3\text{OH}_g) = 240 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- $\Delta_r H^0 (\text{CO}_g) = -111 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
- $S^0 (\text{CO}_g) = 198 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- $\Delta_r H^0 (\text{CH}_3\text{COOH}_g) = -433 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
- $S^0 (\text{CH}_3\text{COOH}_g) = 283 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

$$\begin{aligned} \Delta_R H^0 &= \Delta_r H^0 (\text{CH}_3\text{COOH}_g) - [\Delta_r H^0 (\text{CH}_3\text{OH}_g) + \Delta_r H^0 (\text{CO}_g)] \\ &= -433 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1} - (-201 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1} - 111 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}) \\ &= -433 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1} - (-312 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}) \\ &= -433 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1} + 312 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1} \\ &= \underline{\underline{-121 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_R S^0 &= S^0 (\text{CH}_3\text{COOH}_g) - [S^0 (\text{CH}_3\text{OH}_g) + S^0 (\text{CO}_g)] \\ &= 283 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1} - (240 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1} + 198 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}) \\ &= 283 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1} - 438 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1} \\ &= \underline{\underline{-155 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}}} \end{aligned}$$

Bei der industriellen Essigsäuresynthese entsteht aus zwei Molekülen, CH₃OH und CO, ein neues Molekül, CH₃COOH.

→ Die Teilchenzahl nimmt also ab,

→ die Ordnung steigt,

→ die Entropie sinkt,

→ $\Delta_R S^0 < 0$.

- $$K_C = \frac{c(\text{CH}_3\text{COOH})}{c(\text{CH}_3\text{OH}) \cdot c(\text{CO})}$$

Nach LE CHATELIER muss bei hohem Druck gearbeitet werden, weil die Bildung der Essigsäure unter Volumenverminderung (Druckabnahme!) abläuft. Hoher Druck begünstigt daher die druckmindernde Reaktion.

Ferner muss nach LE CHATELIER bei niedriger Temperatur gearbeitet werden,

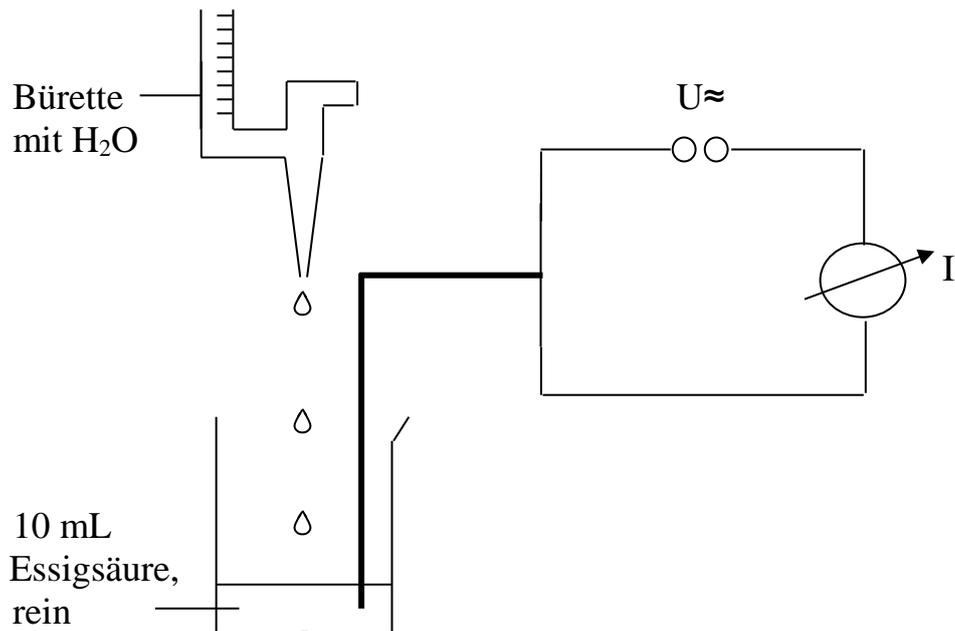
weil die Bildung der Essigsäure mit $-121 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ exotherm abläuft. Niedrige Temperatur begünstigt daher die Wärme liefernde Reaktion.

Der Katalysator

beschleunigt die Einstellung des Gleichgewichts.

8 VP

2 •



- Reine Essigsäure liegt undissoziiert als Dimeres vor.
 → Leitfähigkeit = Null, da keine Ionen vorliegen.
 Zugabe von Wasser: Essigsäure dissoziiert.
 → Leitfähigkeit steigt stark an, da H_3O^+ - und CH_3COO^- -Ionen vorliegen.
 Ab Erreichen des Gleichgewichtszustandes werden keine weiteren Ionen mehr gebildet.
 → Leitfähigkeit steigt nicht mehr an, da die maximale Ionenkonzentration erreicht wurde.
 Weiteres Wasser wird zugegeben.
 → Leitfähigkeit sinkt wieder in Folge des Verdünnungseffekts. 4 VP

- 3 • In 1000 mL 1 m NaOH ist 1 Mol NaOH enthalten.
 In 1 mL 1 m NaOH ist 0,001 Mol NaOH enthalten.
 In 15,3 mL 1 m NaOH sind 0,0153 Mol NaOH enthalten.
 15,3 mL 1 m NaOH neutralisieren 20 mL Speiseessig.
 In 20 mL Speiseessig sind 0,0153 Mol H_3O^+ enthalten.
 In 1 mL Speiseessig sind 0,000765 Mol H_3O^+ enthalten.
 In 1000 mL Speiseessig sind 0,765 Mol H_3O^+ enthalten.
 Der Speiseessig ist also bezüglich der Essigsäure 0,765-molar.

Massenanteil an Essig im Speiseessig: $w = 4,5 \%$

→ Von 1000 g Essig entfallen 45 g auf Essigsäure.

$$\begin{aligned} M(\text{CH}_3\text{COOH}) &= 2 \cdot 12 \text{ g} + 2 \cdot 16 \text{ g} + 4 \cdot 1 \text{ g} \\ &= 24 \text{ g} + 32 \text{ g} + 4 \text{ g} \\ &= 60 \text{ g} \end{aligned}$$

60 g Essigsäure \triangleq 1 Mol Essigsäure

1 g Essigsäure \triangleq 1/60 Mol Essigsäure

45 g Essigsäure \triangleq 45/60 Mol Essigsäure = 0,75 Mol Essigsäure

Die Titration ergab, dass die Essigsäure 0,765-molar ist. Dieses Ergebnis stimmt gut mit der Angabe des Herstellers überein. Umgekehrt ergibt sich mit 0,765 m Essigsäure ein Massenanteil an Essig von $w = 4,59 \%$, was ebenfalls eine weitgehende Übereinstimmung bedeutet.



$$K_S = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = 1,74 \cdot 10^{-5}; \quad \text{p}K_S (\text{CH}_3\text{COOH}) = 4,76$$

Weil Essigsäure nur eine schwache Säure ist, gilt:

$$\begin{aligned} [\text{H}_3\text{O}^+] &= \sqrt{K_S \cdot [\text{CH}_3\text{COOH}]} \\ \text{pH} &= \frac{1}{2} \cdot (\text{p}K_S - \lg c_0(\text{CH}_3\text{COOH})) \\ &= \frac{1}{2} \cdot (4,76 - \lg 0,765) \\ &= \frac{1}{2} \cdot (4,76 - (-0,12)) \\ &= \frac{1}{2} \cdot 4,88 \\ &= \underline{\underline{2,44}} \end{aligned}$$

Anders als die schwache Essigsäure liegt die starke Salzsäure vollständig dissoziiert vor.

$$c(\text{HCl}) = c(\text{H}_3\text{O}^+) = 0,765 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$\text{pH} = -\lg 0,765 = \underline{\underline{0,12}}$$

Die Differenz der pH-Werte trotz gleicher Ausgangskonzentration erklärt sich über die unterschiedlichen Säurestärken. 4 VP



Zugabe von Natriumacetat erhöht die Konzentration von CH_3COO^- auf der Produktseite.

Nach LE CHATELIER wird durch Zugabe von H_3O^+ die CH_3COO^- -Konzentration wieder erniedrigt durch Verschiebung des Gleichgewichts auf die Seite der undissoziierten Essigsäure. Zugegebene H_3O^+ -Ionen werden somit aus dem Gleichgewicht entfernt.

Nach LE CHATELIER werden zugegebene OH^- -Ionen entfernt durch Reaktion mit undissoziierten Essigsäuremolekülen gemäß $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CH}_3\text{COO}^-$.

- Ein Puffer arbeitet am besten, wenn die schwache Säure und ihre konjugierte Base äquimolar vorliegen.

$$\begin{aligned} M(\text{CH}_3\text{COONa}) &= 2 \cdot 12 \text{ g} + 3 \cdot 1 \text{ g} + 2 \cdot 16 \text{ g} + 23 \text{ g} \\ &= 24 \text{ g} + 3 \text{ g} + 32 \text{ g} + 23 \text{ g} \\ &= 82 \text{ g} \end{aligned}$$

$$82 \text{ g CH}_3\text{COONa} \triangleq 1 \text{ Mol CH}_3\text{COONa}$$

$$1 \text{ g CH}_3\text{COONa} \triangleq 1/82 \text{ Mol CH}_3\text{COONa}$$

$$\begin{aligned} 6,15 \text{ g CH}_3\text{COONa} &\triangleq 6,15/82 \text{ Mol CH}_3\text{COONa} \\ &= 0,075 \text{ Mol CH}_3\text{COONa} \end{aligned}$$

In 100 mL der 0,75 m Essigsäure sind 0,075 Mol CH_3COOH enthalten. Somit gilt:

$$n(\text{CH}_3\text{COOH}) = n(\text{CH}_3\text{COO}^-) = 0,075 \text{ Mol (äquimolar!).}$$

Berechnung der $[\text{H}_3\text{O}^+]$ im Puffersystem:

$$K_s = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = K_s \cdot \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}$$

Da der Puffer äquimolar ist, also $[\text{CH}_3\text{COOH}] = [\text{CH}_3\text{COO}^-]$, gilt:

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = K_s$$

$$\text{pH} = \text{p}K_s$$

$$\text{pH} = \underline{\underline{4,76}}$$

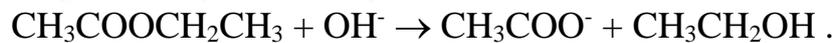
$\frac{4 \text{ VP}}{20 \text{ VP}}$

Aufgabe 2

- 1
- - Die DNA besteht aus 2 Strängen.
 - Diese verlaufen antiparallel (3' und 5')
 - und sind als Doppelhelix angeordnet.
 - Verbunden sind die Stränge ("Holme") durch Basenpaare ("Sprossen"), so dass das Molekül wie eine Strickleiter aufgebaut ist.
 - Die Basen sind paarweise komplementär (AT, GC).
 - Zwischen A und T bestehen 2 Wasserstoffbrücken, zwischen G und C deren 3.

- Die beiden gesuchten Bausteine sind der Zucker Desoxyribose und Phosphorsäure. Beide sind über Esterbindungen miteinander verknüpft.

Esterbindungen können durch alkalische Hydrolyse gespalten werden. In einem Reaktionsgefäß wird dem Ester portionsweise (z.B. aus einer Bürette) Natronlauge zugesetzt. Dabei läuft (z.B. bei Essigsäureethylester) folgende Reaktion ab:



Will man den Reaktionsverlauf mitverfolgen, so eignet sich hierfür z.B. eine Leitfähigkeitsmessung. Die Leitfähigkeit nimmt kontinuierlich ab, weil die gut beweglichen OH^- -Ionen im Verhältnis 1:1 durch langsamere CH_3COO^- -Ionen ersetzt werden.

- Wegen der Basenkomplementarität muss der Anteil der Adenin-Basen ebenfalls 19 % betragen. Adenin und Thymin zusammen machen damit 38 % aller Basen aus. Die restlichen 62 % der Basen entfallen zu jeweils gleichen Teilen (31 %) auf Guanin und Cytosin.

7 VP

2.3 Denaturierung durch

- Hitze:

Bindungen geraten ins Schwingen und reißen. Dadurch kann die ursprüngliche Tertiärstruktur nicht mehr aufrecht erhalten werden.

- Veränderung des pH-Werts:

* basische Aminosäuren mit Aminogruppen in der Seitenkette werden in saurem Medium protoniert und liegen kationisch vor ($R-NH_3^+$),

* saure Aminosäuren mit Carboxylgruppen in der Seitenkette werden in basischem Medium deprotoniert und liegen anionisch vor ($R-COO^-$);

durch die veränderten Ladungen in den Seitenketten der Aminosäuren werden Anziehungskräfte aufgelöst und neue gebildet.

- Schwermetallionen:

Die oft mehrfach geladenen Kationen stören das Gefüge der Anziehungskräfte im Protein und verändern dieses nachhaltig.

3 VP

(Nur zwei Antworten brauchen genannt zu werden.)

- 2.4 *Qualitativer Nachweis von α -Aminosäuren mit dem Ninhydrintest:*
Die zu untersuchende Probenlösung wird auf ein Chromatografiepapier aufgetropft, welches anschließend in das Laufmittelgemisch gestellt wird (ggf. zweidimensionales Chromatogramm!). An den verschiedenen Flecken auf dem Papier erkennt man, dass die Auftrennung erfolgreich war. Die Flecken werden mit einem Föhn getrocknet und das Papier anschließend mit der Ninhydrinlösung besprüht. Danach wird das Chromatogramm etwa 10 min. im Trockenschrank bei 110 °C erhitzt. Die Flecken verfärben sich hierbei blau. Durch Bestimmung der R_f -Werte kann man die Aminosäuren jetzt identifizieren.

Grundlage des Nachweises ist die Reaktion von Ninhydrin mit α -Aminosäuren in der Hitze zu einer blau gefärbten Verbindung. (Die Reaktion kann auch zur quantitativen Aminosäurebestimmung durch fotometrische Analyse genutzt werden.)

Qualitativer Nachweis von aromatischen Aminosäuren mit der Xanthoproteinreaktion:

Die zu untersuchende Probenlösung wird im Reagenzglas vorsichtig mit konzentrierter Salpetersäure erhitzt. Tritt hierbei eine Gelbfärbung auf, so liegen aromatische Aminosäuren vor.

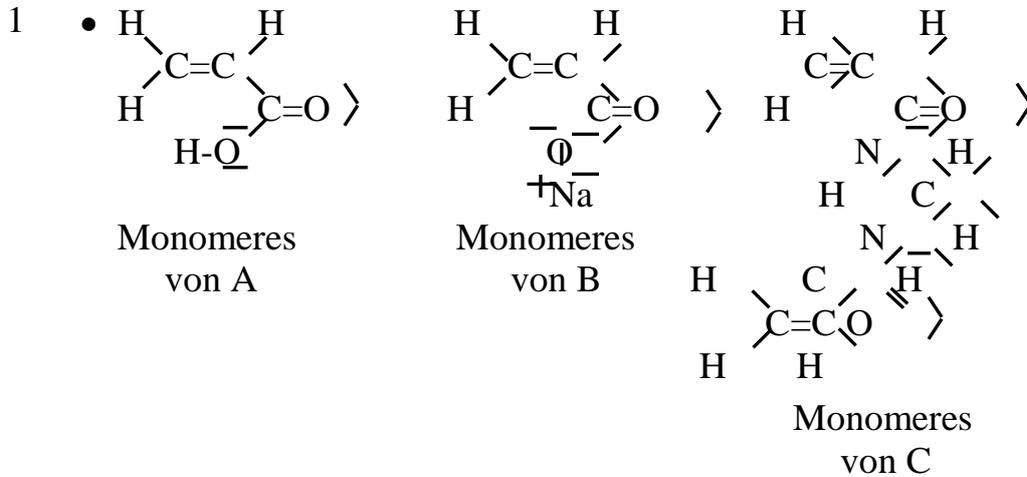
Die Gelbfärbung beruht auf der Nitrierung der aromatischen Anteile der Aminosäuren. Nichtaromatische Aminosäuren werden durch diesen Nachweis nicht erfasst.

Der *Nachweis über die Biuretreaktion* ist für Aminosäuren nicht geeignet. Diese Reaktion weist nur Proteine nach und Peptide, die mindestens zwei Amidgruppen enthalten. Auf Aminosäuren spricht die Reaktion nicht an.

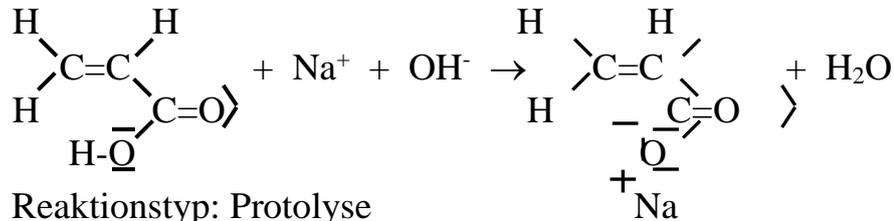
(Nur eine Nachweismethode braucht beschrieben zu werden.)

$\frac{3 \text{ VP}}{20 \text{ VP}}$

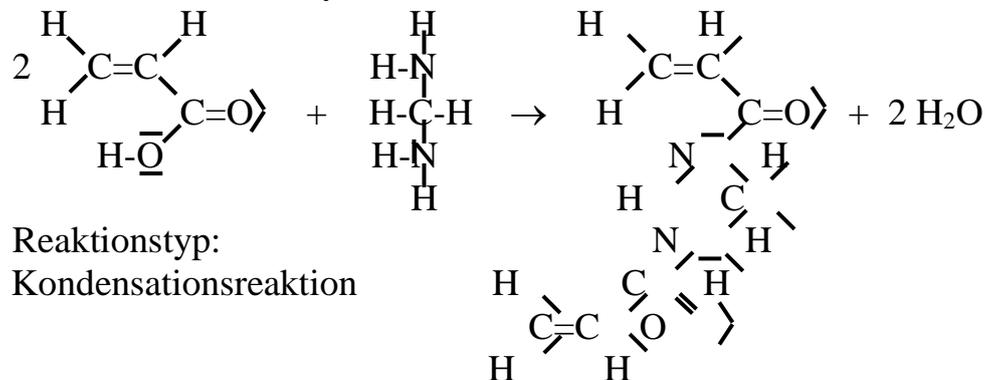
Aufgabe 3



- Monomeres von B, synthetisiert aus dem Monomeren von A:



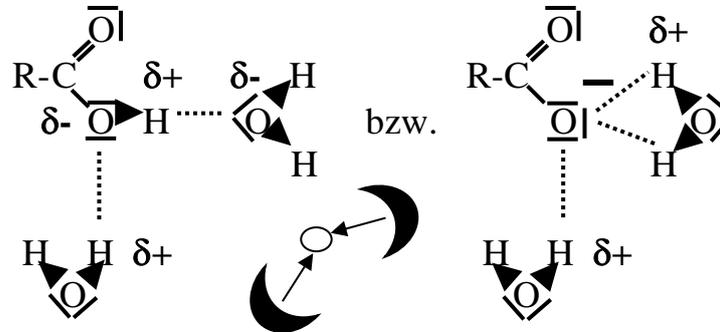
- Monomeres von C, synthetisiert aus dem Monomeren von A:



- Die Monomeren sind alle drei ungesättigt.
→ Verknüpfung untereinander durch Polymerisation.
- Je mehr C-Monomeren zugegeben werden, desto höher wird der Vernetzungsgrad.
Grund: Da diese Monomeren zweifach ungesättigt sind, sind auch Quervernetzungen möglich.

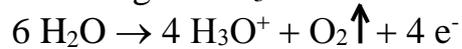
7 VP

- 2 • Zwischen Carboxylgruppen bzw. Carboxylatanionen und Wasser können Wasserstoffbrücken ausgebildet werden.

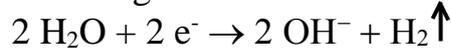


- Mit zunehmendem Vernetzungsgrad nimmt infolge der Kondensationsreaktion die Zahl der freien Carboxylgruppen ab, damit auch die Quellfähigkeit und die elastischen Eigenschaften. 4 VP
- 3 • Ungequollenes SAP wird gewogen und anschließend zur Quellung in eine wässrige Lösung eines bestimmten pH-Werts gelegt. Die Differenz beider Wägungen gibt an, wieviel Wasser das SAP aufgenommen hat.
- Bis pH 4,5 ist keine Gewichtszunahme festzustellen, es findet keine nennenswerte Wasseraufnahme statt. SAP liegt im stark sauren Bereich (bis pH 4,5) fast ausschließlich protoniert vor.
Ab pH > 4,5 werden die Carboxylgruppen zunehmend deprotoniert, vor allem im basischen Bereich. Durch die dadurch entstehenden Carboxylat-Anionen steigt die Quellfähigkeit stark an. Dies zeigt sich in einem linearen Anstieg der Werte für die Massenvervielfachung. 4 VP

- 4 • An der Anode weist die Rotfärbung des Indikators auf die Bildung von H_3O^+ -Ionen hin.



An der Kathode weist die Blaufärbung des Indikators auf die Bildung von OH^- -Ionen hin.



- Der an der Anode gebildete Sauerstoff wird durch die Glimmspanprobe nachgewiesen: ein glimmender Span flammt bei Sauerstoffanwesenheit hell auf.

Der an der Kathode gebildete Wasserstoff wird durch die Knallgasprobe nachgewiesen: bringt man ein Reagenzglas mit dem aufgefangenen Gas an eine Brennerflamme, so ist (im Falle von Wasserstoff) ein Pfeif- oder Plopp-Geräusch zu hören.

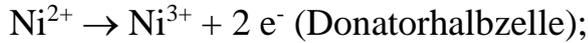
Beim Auffangen des Gases ist darauf zu achten, dass alle Luft verdrängt wird.

$\frac{5 \text{ VP}}{20 \text{ VP}}$

Aufgabe 4

1 • *Ladevorgang:*

an der Nickelelektrode = Pluspol:



an der Metallhydridelektrode = Minuspol:



Entladungsvorgang:

Ni^{3+} wird zu Ni^{2+} reduziert (Akzeptorhalbzelle),

H_2 (gespeichert vom Elektrodenmaterial) wird zu H_2O oxidiert (Donatorhalbzelle).

Die Polung ist umgekehrt wie beim Ladevorgang.

- $U_Z = E_H^0 \text{ (Akzeptorhalbzelle)} - E_H^0 \text{ (Donatorhalbzelle)}$
 $= 0,49 \text{ V} - (-0,059 \text{ V} \cdot \text{pH})$
 $= 0,49 \text{ V} + 0,826 \text{ V}$
 $= \underline{\underline{1,316 \text{ V}}}$

- $1,316 \text{ V} = 0,49 \text{ V} + 0,826 \text{ V}$
 $1,200 \text{ V} = 0,49 \text{ V} + 0,710 \text{ V}$

Nach NERNST errechnet sich die Zellspannung eines Galvanischen Elements bei 25 °C wie folgt:

$$U_Z = U_H^0(\text{Me}^{n+}/\text{Me}) + (0,059/n) \text{ V} \cdot \lg [c(\text{Ox})/c(\text{Red})],$$

im vorliegenden Fall also

$$U_Z = U_H^0(\text{Ni}^{2+}/\text{Ni}^{3+}) + 0,059 \text{ V} \cdot \lg \{1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}/c(\text{Ni}^{2+})\}.$$

$$0,059 \text{ V} \cdot \lg \{1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}/c(\text{Ni}^{2+})\} = 0,710 \text{ V}$$

Damit der Term $0,059 \text{ V} \cdot \lg \{1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}/c(\text{Ni}^{2+})\}$ einen niedrigeren Wert annehmen kann (0,710 V statt 0,826 V), muss der Faktor $\lg \{1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}/c(\text{Ni}^{2+})\}$ kleiner werden. Dies ist der Fall, wenn sich die $c(\text{Ni}^{2+})$ erhöht.

Beispiel:

$c(\text{Ni}^{2+})$ steigt auf das Zehnfache von 10^{-3} auf 10^{-2} .

Dann ist $\lg (1/10^{-3}) = \lg 10^3 = 3$ und $\lg (1/10^{-2}) = \lg 10^2 = 2$.

Der Term $0,059 \text{ V} \cdot \lg \{1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}/c(\text{Ni}^{2+})\}$ ändert sich dann von $0,059 \text{ V} \cdot 3 = 0,177 \text{ V}$ auf $0,059 \text{ V} \cdot 2 = 0,118$.

Niedrigere Konzentration (10^{-3}): $U_Z = 0,49 \text{ V} + 0,177 \text{ V} = 0,667 \text{ V}$,

höhere Konzentration (10^{-2}): $U_Z = 0,49 \text{ V} + 0,118 \text{ V} = 0,608 \text{ V}$.

Fazit: höhere $c(\text{Ni}^{2+}) \rightarrow$ verminderte U_Z .

Alternativ

kann auch über die Beeinflussung des Gleichgewichts nach LE CHATELIER durch Konzentrationsänderung (hier $c(\text{Ni}^{2+})$) argumentiert werden.

6 VP



$$M(\text{C}_8\text{H}_{18}) = 8 \cdot 12 \text{ g} + 18 \cdot 1 \text{ g} = 96 \text{ g} + 18 \text{ g} = 114 \text{ g}$$

$$M(\text{CO}_2) = 12 \text{ g} + 2 \cdot 16 \text{ g} = 12 \text{ g} + 32 \text{ g} = 44 \text{ g}$$

Benzinverbrauch
beim Benzinmodell

Benzinverbrauch
beim Hybridmodell

Jahresleistung jeweils 15.000 km

$$7,2 \text{ L} / 100 \text{ km}$$

$$4,8 \text{ L} / 100 \text{ km}$$

$$7,2 \text{ L} \cdot 150 = 1.080 \text{ L}$$

$$4,8 \text{ L} \cdot 150 = 720 \text{ L}$$

Einsparung:

$$(1.080 - 720) \text{ L} = 360 \text{ L}$$

Dichte von Oktan: $\rho(\text{C}_8\text{H}_{18}) = 0,703 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$

Oktananteil an 360 L Benzin: $0,703 \text{ kg} \cdot 360 = 253,08 \text{ kg}$

$$114 \text{ kg C}_8\text{H}_{18} \triangleq 1.000 \text{ Mol C}_8\text{H}_{18}$$

$$1 \text{ kg C}_8\text{H}_{18} \triangleq (1.000 / 114) \text{ Mol C}_8\text{H}_{18}$$

$$253,08 \text{ kg C}_8\text{H}_{18} \triangleq (253.080 / 114) \text{ Mol C}_8\text{H}_{18} = 2.220 \text{ Mol C}_8\text{H}_{18}$$

Berechnung der Masse des eingesparten CO_2 :

$$2.220 \text{ Mol C}_8\text{H}_{18} \text{ setzen } 8 \cdot 2.220 \text{ Mol CO}_2 \text{ frei} = 17.760 \text{ Mol CO}_2$$

$$1 \text{ Mol CO}_2 \triangleq 44 \text{ g CO}_2$$

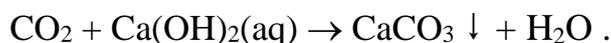
$$17.760 \text{ Mol CO}_2 \triangleq 17.760 \cdot 44 \text{ g CO}_2$$

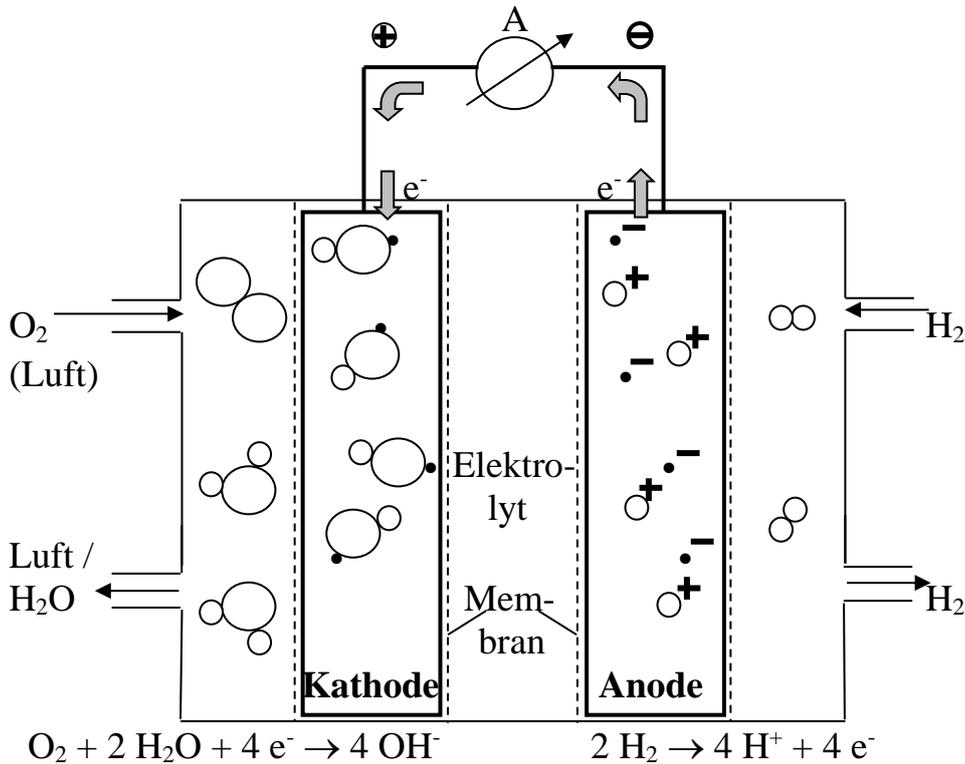
$$= 781.440 \text{ g CO}_2 = \underline{\underline{781,44 \text{ kg CO}_2}}$$

4 VP



- Um den Wasserstoff rein zu erhalten, muss er zuerst aus dem Gasgemisch CO_2 / H_2 abgetrennt werden. Dies geschieht durch Einleiten in Kalkwasser:





Der von CO₂ abgetrennte Wasserstoff wird am Minuspol (Anode!) oxidiert.

Die dabei freigesetzten Elektronen werden am Pluspol (Kathode!) zur Reduktion von Sauerstoff verwendet.

7 VP

4

- **Herkömmlicher Benzinmotor:**
deutlich höherer Benzinverbrauch als beim Hybridmotor, stärkerer Verbrauch der natürlichen Ressourcen (Erdöl), höherer Beitrag zum Treibhauseffekt (mehr CO₂-Emission), insgesamt schlechteste Umweltverträglichkeit aller verglichenen Systeme.
- **Hybridantrieb:**
wesentlich umweltfreundlicher, da erheblich geringerer Ressourcenverbrauch und deutlich weniger CO₂-Emission.
- **Brennstoffzelle mit vorgeschaltetem Reformier:**
Bei der Reaktion von Methanol mit Wasser entsteht CO₂, das durch Kalkwasser gefällt werden muss; ferner ist der Anbau von Pflanzen zur Methanolgewinnung in Ländern der Dritten Welt problematisch, weil die Anbauflächen zur Produktion von Nahrungsmitteln dringender benötigt werden;

ansonsten aber keine direkte Schädigung der Umwelt.

-

Aus ökologischer Sicht ist positiv,
dass die zur Methanolproduktion benötigten grünen Pflanzen
in der Fotosynthese CO_2 binden.

- Brennstoffzelle mit mitgeführtem Wasserstoff:

Zwar erfordern Betanken mit H_2 und dessen Transport hohe Sicherheitsstandards, jedoch aus ökologischer Sicht bestehen keine Bedenken. Als Abfallprodukt entsteht nur völlig unschädliches H_2O .

Somit ergibt sich folgende Reihenfolge der Umweltverträglichkeit:

herkömmlicher Benzinmotor

Hybridantrieb

Brennstoffzelle mit vorgeschaltetem Reformier

Brennstoffzelle mit mitgeführtem Wasserstoff

schlecht
*Umwelt-
verträglichkeit*
gut

$\frac{3 \text{ VP}}{20 \text{ VP}}$