

# Informationen zum LehrplanPLUS der Profil- und Leistungsstufe

**Chemie 12**  
**Chemie 13**

# Der Lehrplanüberblick

## Stundenausstattung

gA

eA

	<b>grundlegendes Anforderungsniveau (gA)</b> <i>3 Wochenstunden</i>	<b>erhöhtes Anforderungsniveau (eA)</b> <i>5 Wochenstunden</i>
Jahrgangsstufe 12	84	140
Jahrgangsstufe 13	63	105
<b>Gesamt</b>	<b>147</b>	<b>245</b>

### Lernbereich 1

für 12 und 13; gA /eA  
gleiche Kompetenzen  
jedoch Progression

# Lernbereiche 12



Lernbereiche		Stunden (ca.)	
2	Atombau [ zusätzlich im eA: ...und koordinative Bindung ]	Ergänzende Lehrplaninformation (eLPI) Fortbildungen werden wiederholt TERMIN XXX	
3	Analytik		
4	Chemische Bindung		
5	Kohlenwasserstoffe Energieträger und Reaktionspartner		
6	Reaktionsgeschwindigkeit – Ermittlung und Deutung auf Teilchenebene	Enthalpie Entropie	
7	Chemisches Gleichgewicht – Reversible Reaktion und dynamisches Gleichgewicht		
8	Redoxgleichgewichte – Energetik und technische Anwendung	18	25

# Lernbereiche 13



Lernbereiche		Stunden (ca.)	
		gA	eA
2	Farbigkeit [ zusätzlich	7	20
3	Säure-Base-Gleichge	14	20
4	Natürliche und synthe	<b>32</b>	<b>41</b>
	4. 1 Natürliche Makro	14	19
	4.2 Synthetische Mak	18	22
5	Chemie und Nachhalt	10	24

- Farbigkeit vs. Farbstoffe
- Chiralität
- künstliches Photosynthese
- elektrische Leitfähigkeit von Kunststoffen
- Wertstoffkreisläufe
- Wasserstoffspeicherung
- Faraday Gesetze
- Redox-Flow

# 12.5

## Kohlenwasserstoffe

### Energieträger und Reaktionspartner

Stundenthemen (gA + eA)	
1	Systeme: offen, geschlossen, isoliert, Änderungen von T und V
2	Energieformen
3	Energie vs. Enthalpie
4	Kalorimetrie: Ermittlung der Reaktionsenthalpie experimentell
5	Kalorimetrie: Ermittlung der Reaktionsenthalpie mit dem Satz von Hess, Bildungsenthalpien
6	Brennwert vs. Heizwert
7	Kalorimetrie: Zusammenhang zwischen Molekülbau (einfach/ doppel; polar/ unpolar) und Verbrennungswärme
8	Recherche der SuS von Energieträgern und Grundstoffen (fossil + nachwachsend)
9	Treibhauseffekt
10	Treibhauseffekt
} auch Bewerten von Quellen	
11	Klimawandel – Was tun? Power to gas etc.; Vergleich fossil vs. regenerativ
12	Halogen-KW
13	
14	Halogenierung: S <sub>R</sub> -Mechanismus
15	
16	Halogenierung: A <sub>E</sub> -Mechanismus
17	

**Stundenthemen (eA)**

18	Geschichte des Benzols: Das Rätsel um das Benzol
19	Aromatizität - Mesomerie
20	
21	Aromaten in Alltag und Technik – gesundheitliche Aspekte
22	elektrophile Substitution - Mechanismus
23	SSS und KKK
24	elektrophile Substitution - Zweitsubstitution
25	
26	Acidität von Benzylalkohol- und Phenol-Molekülen
27	Basizität von Methylamin- und Anilin-Molekülen
28	nukleophile Substitution
29	



- **Energiegewinnung**
  - **Energieverbrauch**
  - **Energieverschwendung**
- } **widerspricht dem 1. Hauptsatz der Thermodynamik**

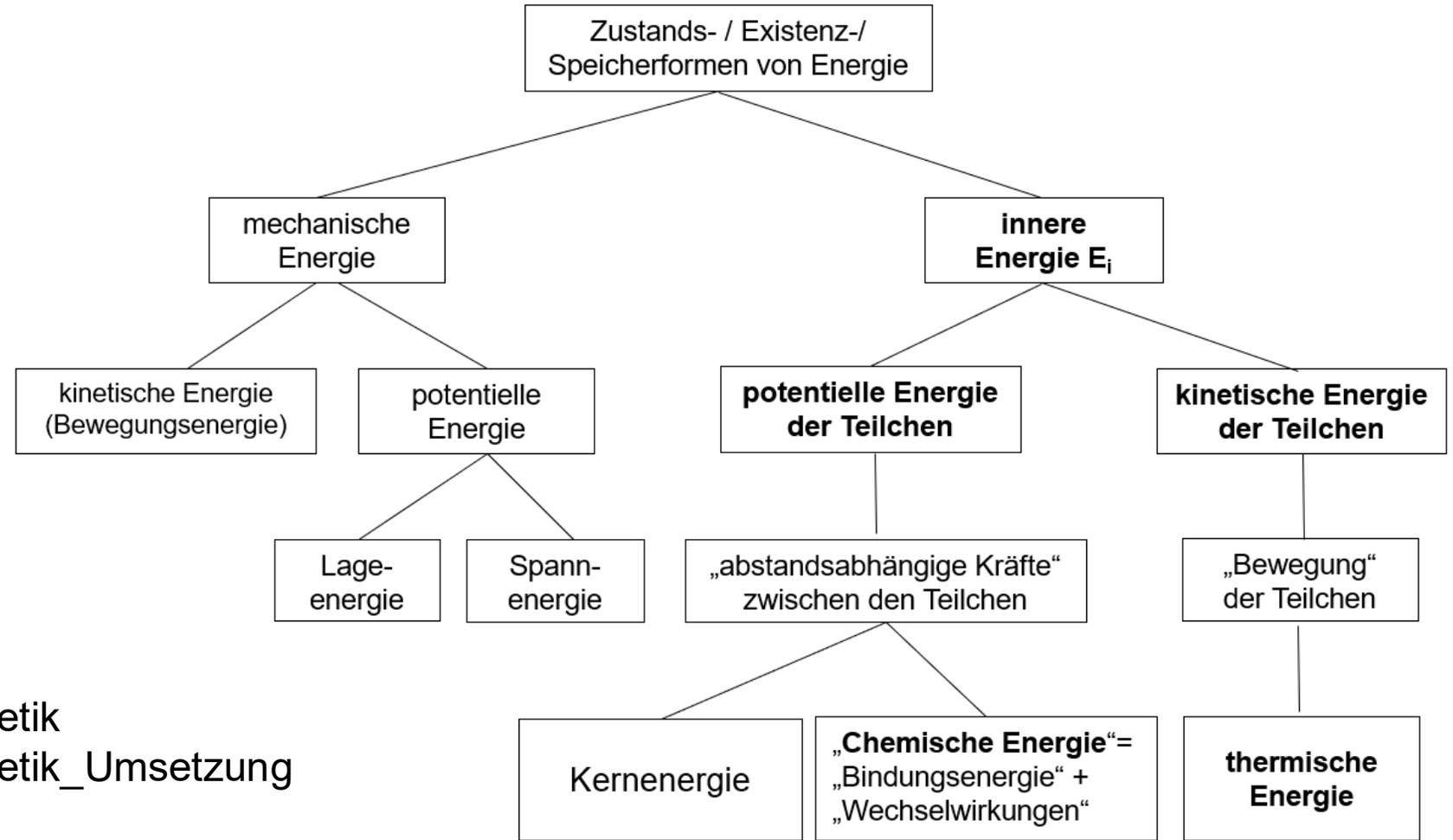
- **energiearmer Stoff**
  - **energiereicher Stoff**
- } **hängt vom Reaktionssystem ab!**

Beispiel: Die Reaktion von Kohlenstoff mit Sauerstoff oder mit Wasser



Folgende Begriffe werden stattdessen empfohlen:

- **Energieumwandlung**
- **Energieerhaltung**
- **Energiespeicherung**
- **Energietransport**
- **Energieentwertung**



LIS-Material:

- GYM\_C\_12\_LB\_5\_Energetik
- GYM\_C\_12\_LB\_5\_Energetik\_Umsetzung

## Energie mit Schokolade



- 100 g Schokolade auf dem 1m hohen Tisch haben gegenüber dem Boden **1 J Lageenergie**.
- 100 g Schokolade haben **1 J Bewegungsenergie**, wenn sie 1 m hinunterfallen und auf dem Boden auftreffen ( $v \cong 4.5 \text{ m/s}$ , 16 km/h).
- 100 g Wasser (1 dl) brauchen **33.500 J Wärme** um von 20 auf 100°C zu gelangen und **256.000 J**, um bei 100°C zu verdampfen.
- 100 g Schokolade haben ca. **2.350.000 J innere Energie** („chemische Energie“)

*Damit könnte sie auf 2'350 km Höhe angehoben*

*( $E = m \cdot g \cdot h$ ,  $g$  «konstant») oder auf 2170 m/s (7810 km/h)*

*beschleunigt werden ( $E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ ).*

*oder ich könnte auf ca. 2'350 m Höhe steigen.*

- 3700 km (z. B. Genf-Istanbul zurück) fliegen, braucht ca. 250 L Kerosin mit 8.000.000.000 J. Das entspricht dem Durchschnitt für Schweizer/innen.

<https://www.energie-umwelt.ch/mobilitaet/flugzeug> (18.9.2024)



## Zugang zur Enthalpie



Beeinflusst die **Höhe** und die **Geschwindigkeit** der Schokolade den Wert von Q?

Nein, nur die **Innere Energie!**

Beeinflusst die **Temperatur** der Schokolade den Wert von Q?

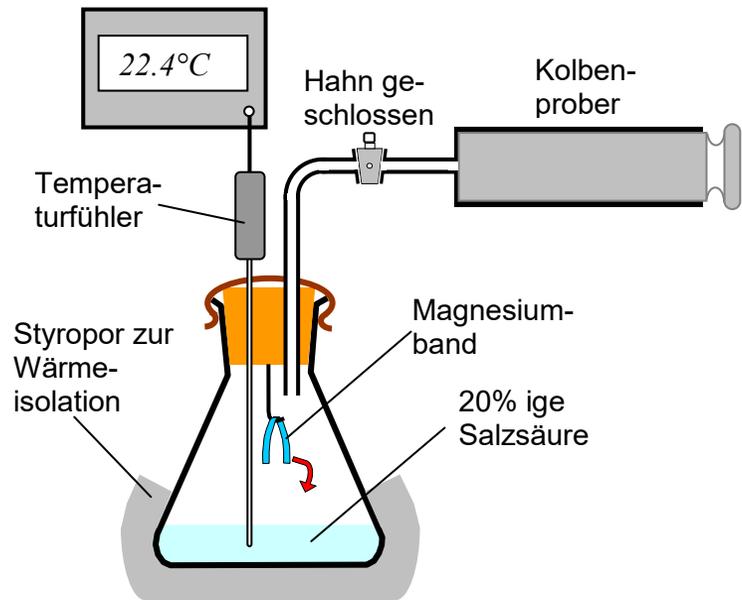
Ja, thermische Energie zählt zur Inneren Energie!

Beeinflusst der **Luftdruck** den Wert von Q?

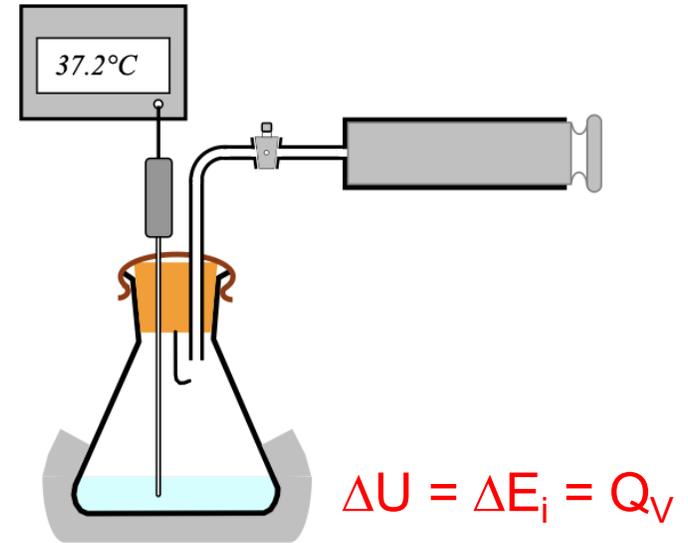
Ja, das wird in der **Enthalpie** berücksichtigt.

Rechnen mit **Enthalpie**  
bei Standardbedingungen

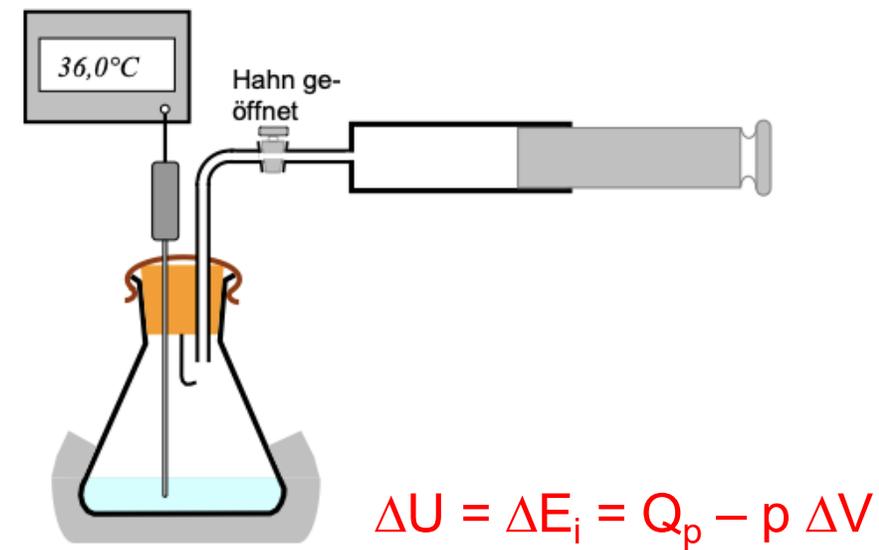
# Enthalpie – der Klassiker unter den Schulversuchen



Reaktion bei konstantem Volumen



Reaktion bei konstantem Druck



## Versuch zur Volumenarbeit



- kleine Plastiktüte werden mit je einer erbsengroßer Menge Zitronensäure und Soda gefüllt.
- verschließen und Stoffe vermischen
- sofort Münze auflegen



Zitronensäure

Soda

Wasser

Natriumcitrat

Kohlenstoffdioxid

Eine Volumenzunahme gegen den **Luftdruck** kostet Arbeit, also einen Teil der freigesetzten Energie.  
Das wird bei der **Enthalpie** berücksichtigt.



Viele Reaktionsenthalpien  $\Delta_r H$  können experimentell bestimmt werden:

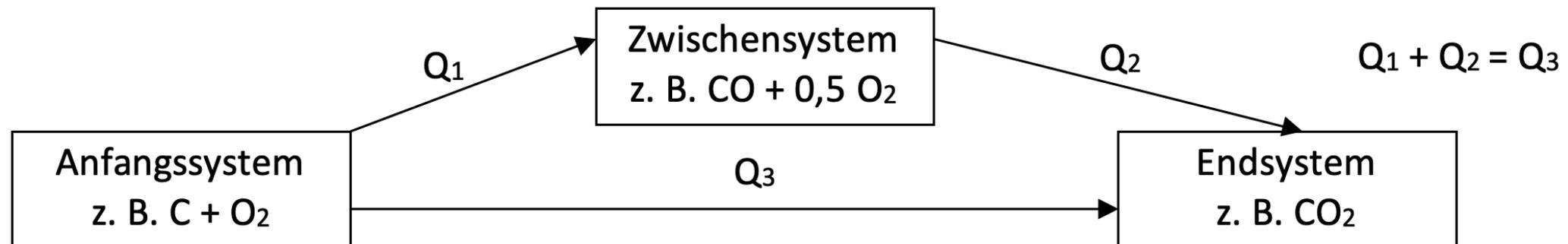
$$Q_p = \Delta_r H = -c \cdot m \cdot \Delta T \quad c: \text{spezifische Wärmekapazität}$$

Experimentell nicht zugänglichen Reaktionsenthalpien?

⇒ Rechnerische Ermittlung aus **Bildungsenthalpien**

**Satz von Hess:**

Die von einem chemischen System aufgenommenen oder abgegebenen Wärme ist unabhängig vom Weg der Reaktion





## Quantitätsgrößen:

beschreiben die absolute Energiemenge, die bei chemischen Reaktionen umgesetzt wird

- **Enthalpie-Änderung  $\Delta H$**
- **Reaktionsenthalpie  $\Delta_r H$**
- **Bildungsenthalpie  $\Delta_f H$**
- **Standard-Bildungsenthalpie  $\Delta_f H^0$**

LIS-Material:

- GYM\_C\_12\_LB\_5\_Energetik
- GYM\_C\_12\_LB\_5\_Energetik\_Umsetzung

## Umrechnungsgrößen:

beziehen die Energie auf eine bestimmte Stoffmenge (meist 1 Mol), um Reaktionen vergleichbar und rechnerisch handhabbar zu machen.

- **Molare Enthalpie-Änderung  $\Delta H_m = \frac{\Delta H}{n}$**
- **Molare Standard-Reaktionsenthalpie  $\Delta_r H_m^0$**
- **Molare Standard-Bildungsenthalpie  $\Delta_f H_m^0$**

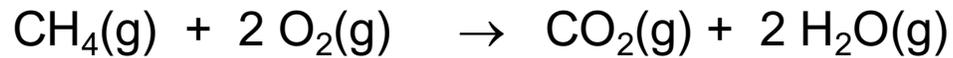
# Molekülbau und Verbrennungswärme



Inhalt aus dem LB 12.5:

„... Abschätzen des Zusammenhangs zwischen Molekülbau (Einfach- oder Mehrfachbindung, polare oder unpolare Elektronenpaarbindung) und Verbrennungswärme“

Beispiel: Verbrennung von Methan:

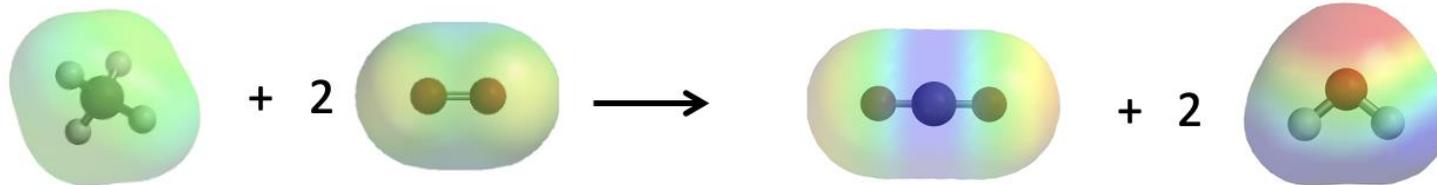


zu spaltende Bindungen:	4 x C-H:	4 x 414 kJ/mol =	1656 kJ/mol
	2 x O=O:	2 x 498 kJ/mol =	996 kJ/mol
sich ausbildende Bindungen:	2 x C=O:	2 x -804 kJ/mol =	-1608 kJ/mol
	4 x O-H:	4 x -463 kJ/mol =	-1852 kJ/mol

---

**freiwerdende Energie:**

**- 808 kJ/mol**





# Heizwert und Brennwert



Beispiel Brennstoff Methan



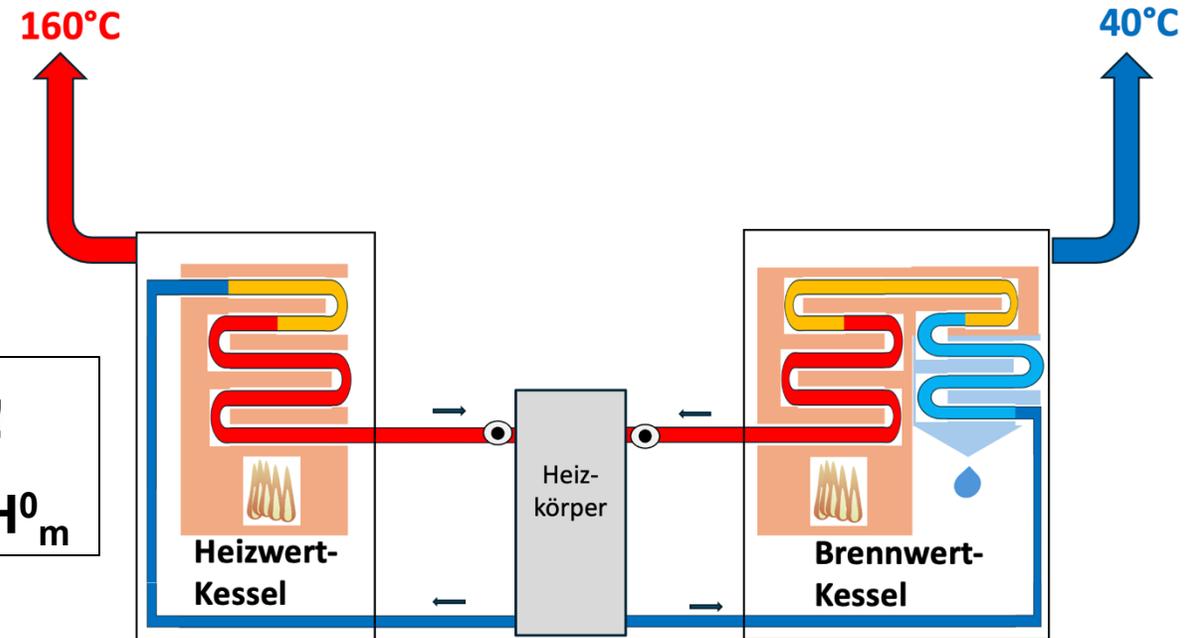
Bei Methan liegt der Brennwert 11% über dem Heizwert:

Heizwert: 50,013MJ/kg

Brennwert: 55,498 MJ/kg

**Bei Standardbedingungen ist Wasser flüssig!**

**Brennwert ~ Standard-Reaktionsenthalpie  $\Delta_r H^0_m$**



# Halogenkohlenwasserstoffe in Alltag und Technik



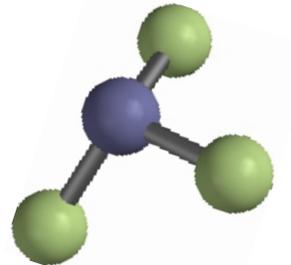
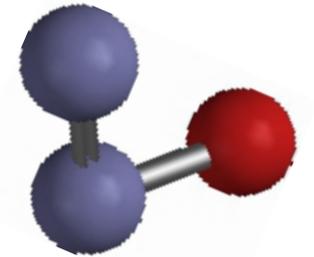
*Die Schülerinnen und Schüler...*

*... recherchieren und bewerten den Einsatz von Halogenkohlenwasserstoffen in Alltag und Technik, indem sie Auswirkungen auf Mensch und Umwelt bei deren Freisetzung abwägen. Dabei prüfen sie die Vertrauenswürdigkeit der verwendeten Informationen, belegen diese durch Quellen und kennzeichnen Zitate.*

Viele Treibgase sind Halogen-KW: FKW, HFKW,  $\text{NF}_3$ ,  $\text{SF}_6$

Was macht einen Stoff zum Treibhausgas?

- Stoff muss gasförmig sein!
- Moleküle müssen polare Elektronenpaarbindungen besitzen!
- Molekülbau muss viele Schwingungstypen ermöglichen!



# Treibhausgase

Zusätzlich zu Kohlenstoffdioxid tragen auch andere Gase im erheblichen Maße zur Klimaerwärmung bei.

## KOHLSTOFFDIOXID CO<sub>2</sub>



Industrie  
Energieerzeugung  
Verkehr

## METHAN CH<sub>4</sub>



Rinderhaltung  
Biogas  
Nassreisbau

## DISTICKSTOFFMONOXID N<sub>2</sub>O



Stickstoffdünger  
Lachgas

## FKW CF<sub>4</sub> / HFWK C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>F<sub>4</sub>



Kältemittel  
Klimaanlagen

## STICKSTOFFTRIFLUORID NF<sub>3</sub>



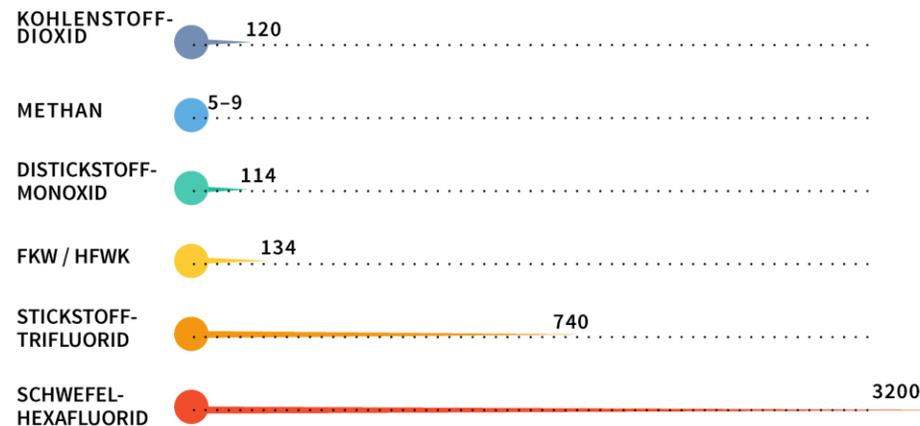
Flachbildschirm  
Solarzellen

## SCHWEFELHEXAFLUORID SF<sub>6</sub>



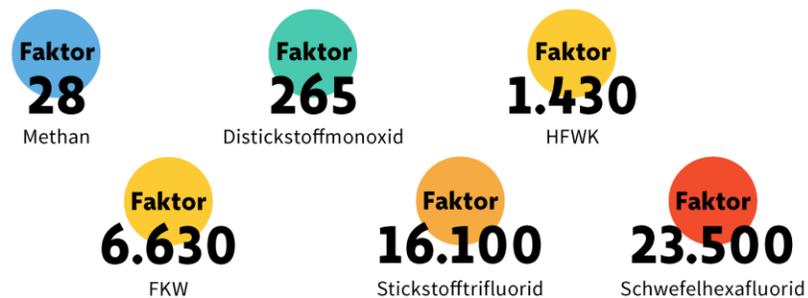
Gasolierte  
Schaltanlagen

## Verweildauer in der Atmosphäre in Jahren



## Treibhausgas-Potenzial

Die Wirkung von einer Tonne CO<sub>2</sub> ist für die anderen Treibhausgase höher um den Faktor ...



Zahlen: Treibhausgaspotentiale IPCC-AR5

# 12.8

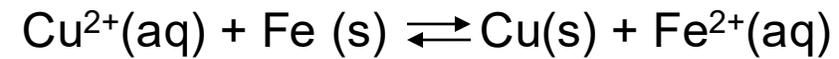
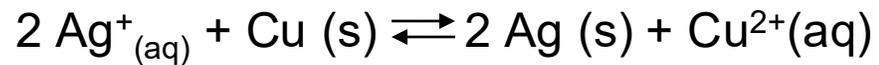
## Redoxgleichgewichte – Energetik und technische Anwendung

Stundenthema gA(18) + eA(25)		
1	Galvanische Zelle: Wiederholung Grundprinzip, Einfluss der Bauweise auf Spannung und Stromstärke. <b>SExp</b>	<b><u>zusätzlich eA 5h</u></b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Anwendung chemisches GG</li> <li>• Konzentrationszelle</li> <li>• Nernst-Gleichung</li> </ul>
2		
3		
4		
5		
6	Brennstoffzellen <b>SExp</b>	
7	Brennstoffzellen	
8	Reaktionsenthalpie und elektrische Arbeit: Vergleich von Redoxreaktion mit und ohne räumliche Trennung der Oxidation und Reduktion <b>SExp</b>	
9		
10	Entropie und gebundene Energie	
11	exergone und endergone Reaktionen mit Gibbs-Helmholtz ohne Einfluss der Temperatur	
12	energetische Kopplung, Entropieerzeugung bei der Elektrolyse	
13	Wertigkeit von Energieformen: Energieentwertung, Vergleich von Gaskraftwerk mit Brennstoffzelle	<b><u>zusätzlich eA 2h</u></b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Berechnen von <math>\Delta G</math></li> <li>• Einfluss von T auf <math>\Delta G</math></li> <li>• Einfluss von T auf Reaktionsrichtung</li> </ul>
14		
15	Akku SExp	
16	Li-Ionen-Akku	
17	E-Mobilität	
18		

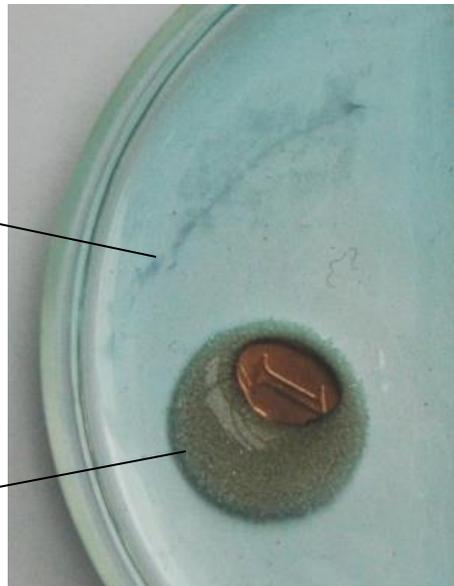
## Die Schülerinnen und Schüler ...

- wenden das Energiekonzept auf Donator-Akzeptor-Reaktionen an und führen dazu thermometrische Messungen durch.
- erklären die räumliche Trennung von Oxidation und Reduktion in galvanischen Zellen als Voraussetzung für die Nutzung der Reaktionsenthalpie als elektrische Energie und ermitteln die von galvanischen Zellen leistbare elektrische Arbeit anhand von Spannungs- und Stromstärkemessungen.
- *wenden das Prinzip von Le Chatelier zur Optimierung galvanischer Zellen an und begründen die Auswirkungen der gewählten Veränderungen auf Teilchenebene.*
- treffen Vorhersagen über den Verlauf von Redoxreaktionen und ermitteln die Leerlaufspannung/Zellspannung galvanischer Zellen mithilfe der elektrochemischen Spannungsreihe und der Nernst-Gleichung.

# Einstieg und Wiederholung Redox, Redoxpotential und Redoxreihe

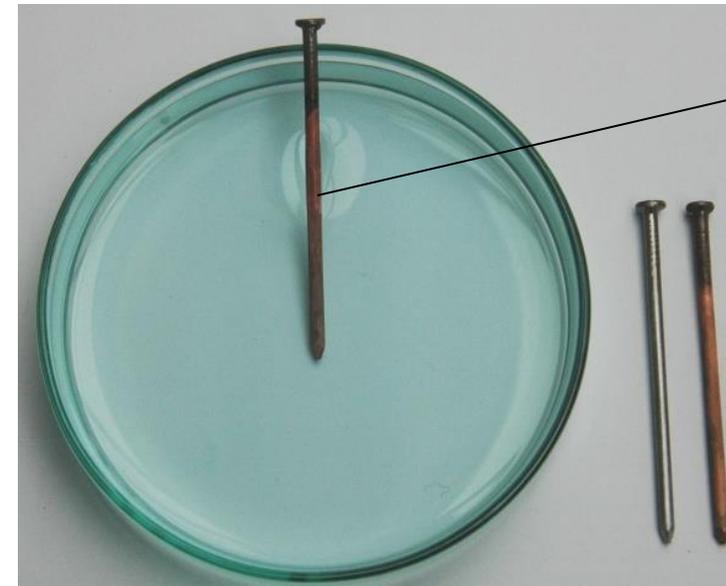


Blaufärbung  
durch gebildete  
 $\text{Cu}^{2+}$ -Ionen (aq)



amorphes  
Silber

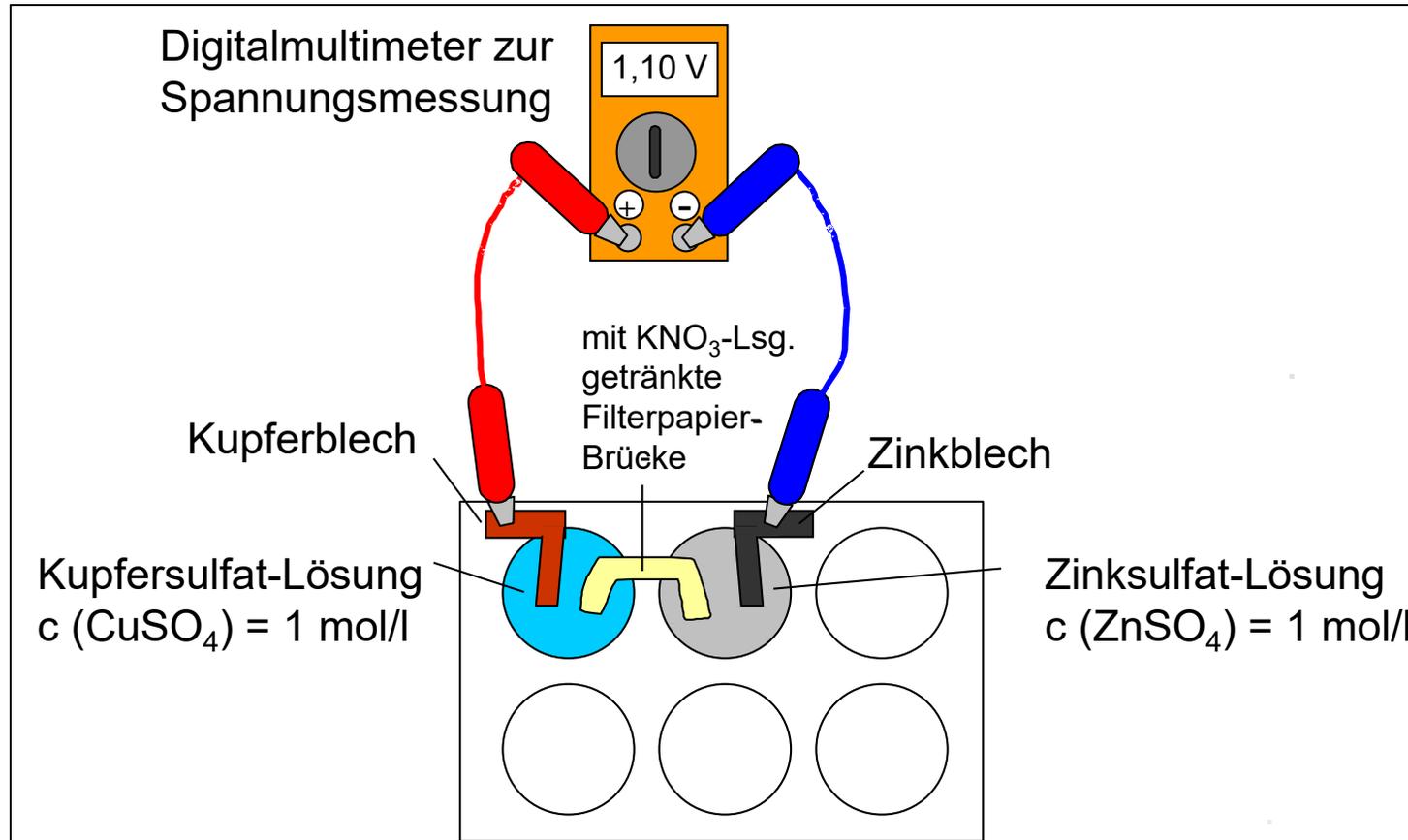
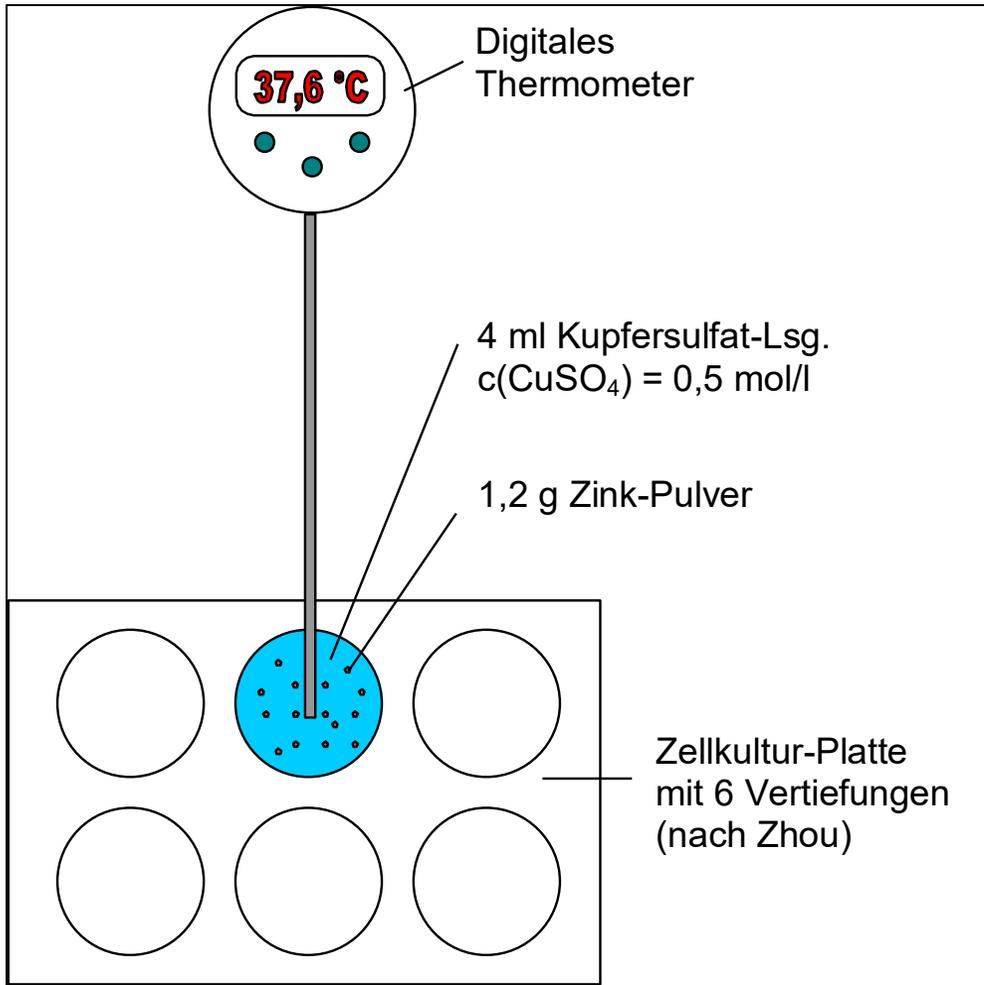
zusätzliches Experiment:  
Silberdraht in  $\text{CuSO}_4$ -Lsg.  
⇒ keine Reaktion



Kupfer

zusätzliches Experiment:  
Eisenwolle (-pulver) in  $\text{CuSO}_4$ -Lsg.  
⇒ Umfärbung in Richtung blassgrün

# Hinführung zur Galvanischen Zelle





- Halbzelle:** z. B. Metall und die Metallsalz-Lösung
- Galvanische Zelle:** zwei Halbzellen durch eine Ionenbrücke leitend verbunden, elektrische Gleichspannungsquelle!
- Donatorhalbzelle:** Halbzelle mit negativerem Redoxpotential
- Akzeptorhalbzelle:** Halbzelle mit positiverem Redoxpotential
- Leerlaufspannung:** Spannung einer galvanischen Zelle ohne Stromfluss.

$$U = \Delta E = E (\text{Akzeptorhalbzelle}) - E (\text{Donatorhalbzelle})$$

- Spannung** einer galvanischen Zelle:                    Abhängig vom Redoxpot. der Halbzellen
- Stromfluss** einer galvanischen Zelle:                    Abhängig von der Oberfläche der Elektroden

# Standard-Wasserstoff-Halbzelle

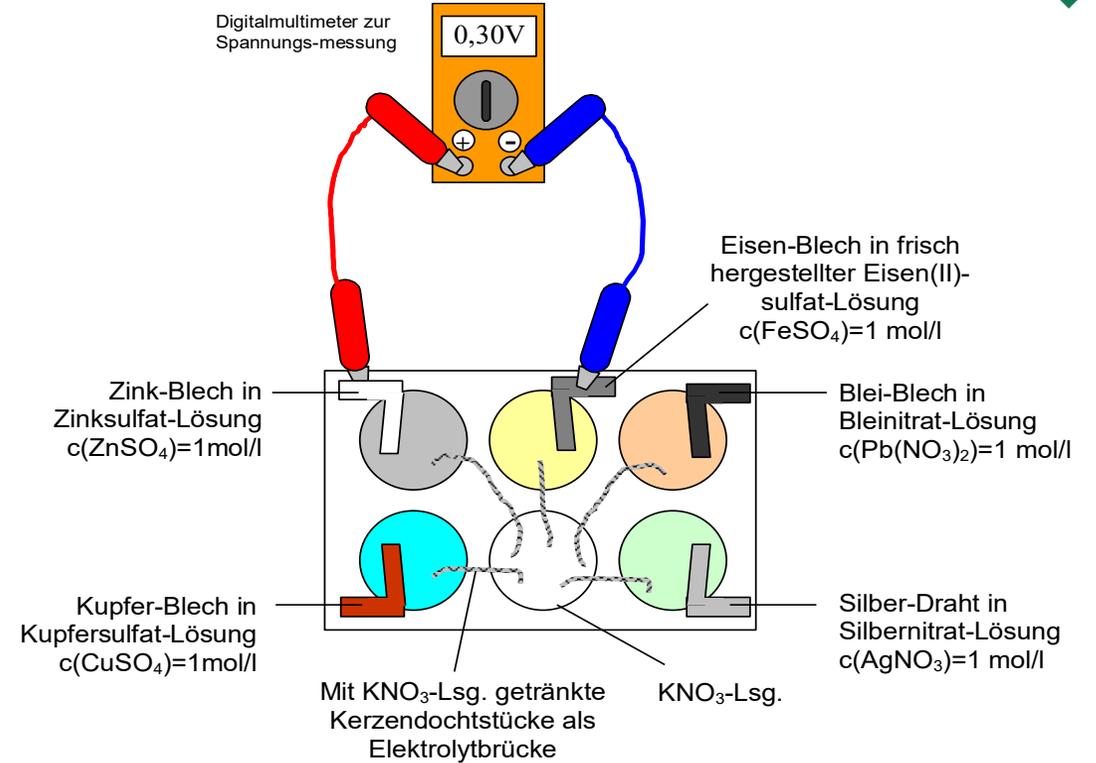
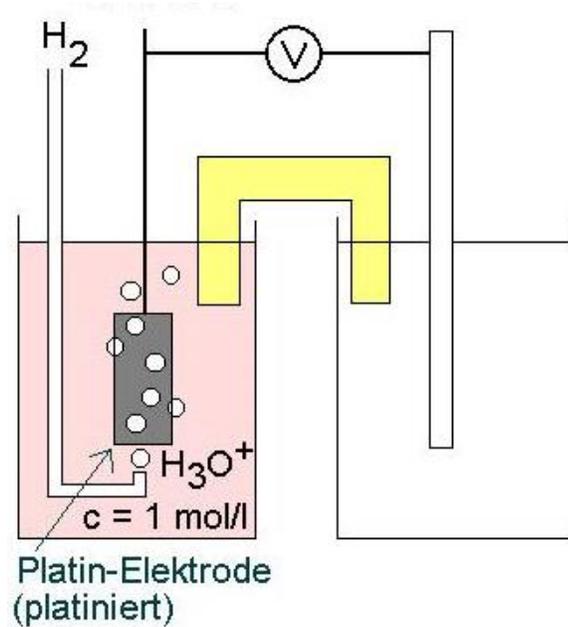


Standard-Bedingungen:

$T = 298\text{K}$  bzw.  $25^\circ\text{C}$

$c = 1\text{mol/L}$

$p = 101,1\text{kPa}$



## Aufgabe

Ergänzen Sie die rechte Halbzelle so, dass man das Standardredoxpotenzial  $\text{Cu}/\text{Cu}^{2+}$  bestimmen kann.

## Aufgabe

Berechnen Sie die Leerlaufspannungen aller hier denkbaren galvanischen Zellen mithilfe der Standardpotenziale! Überprüfen Sie experimentell.



Die Schülerinnen und Schüler...

...beschreiben die Unmöglichkeit, Wärme vollständig in Arbeit umzuwandeln, um Alltagsbegriffe wie "Energieverbrauch" und "Energieverlust" zu erklären.

Gibbs-Helmholtz-Gleichung  $\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S$

$$\Delta H = \Delta G + T \cdot \Delta S$$

nutzbarer  
Energieanteil

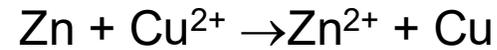
nicht nutzbarer  
Energieanteil  
bzw.  
gebundene Energie

Unterschied zwischen der Reaktionsenthalpie  $\Delta_r H$  und der freien Enthalpie  $\Delta G$  - experimentell gezeigt



Beispiel: Reaktion von Zink mit einer Kupfersulfat-Lösung

folgende Redoxreaktion läuft ab:



Zink-Atome werden oxidiert:



Kupfer(II)-Ionen werden reduziert:



Durchführung der Redoxreaktion kalorimetrisch:  
**die gesamte Reaktionsenergie wird als Wärme frei!**

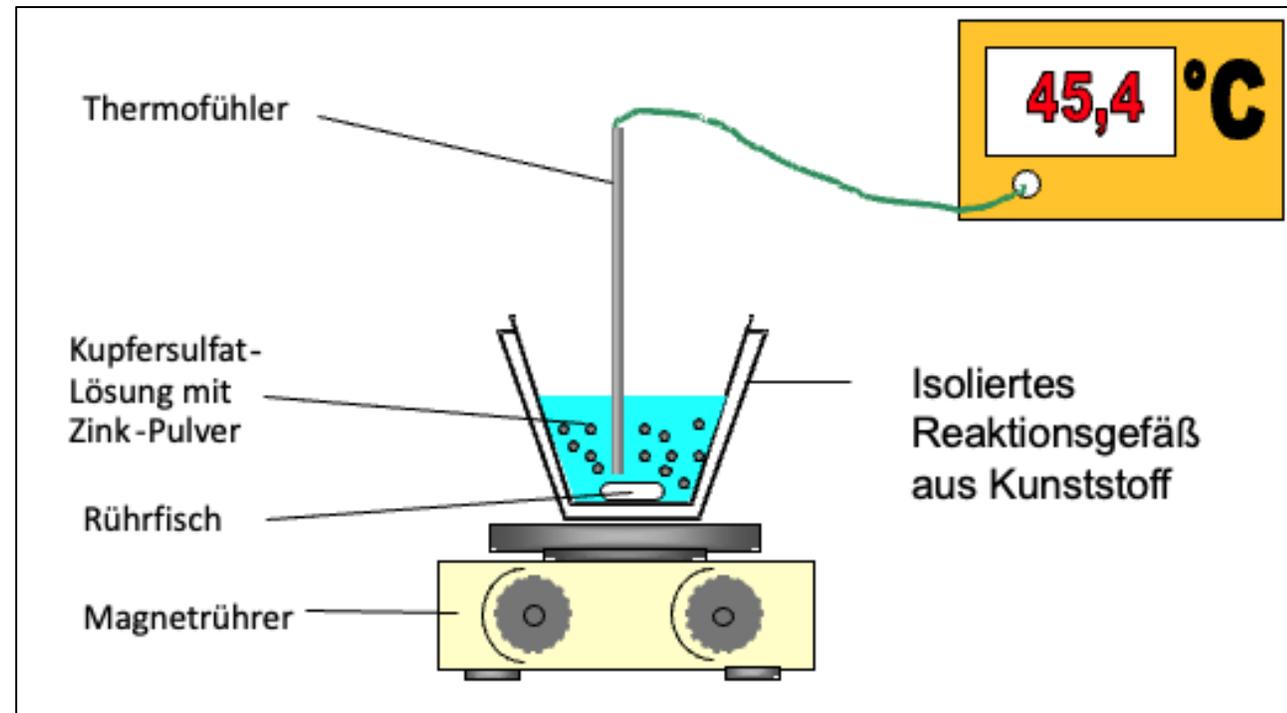
Berechnung der Reaktionswärme Q:

$$Q = -\Delta T \cdot [c_p(\text{H}_2\text{O}) \cdot m(\text{H}_2\text{O}) + c_p(\text{Zn}) \cdot m(\text{Zn}) + c_p(\text{Cu}) \cdot m(\text{Cu})]$$

Berechnung der molaren Reaktionsenthalpie  $\Delta_r H_m$

$$\Delta_r H_m = \frac{Q}{n(\text{Cu})}$$

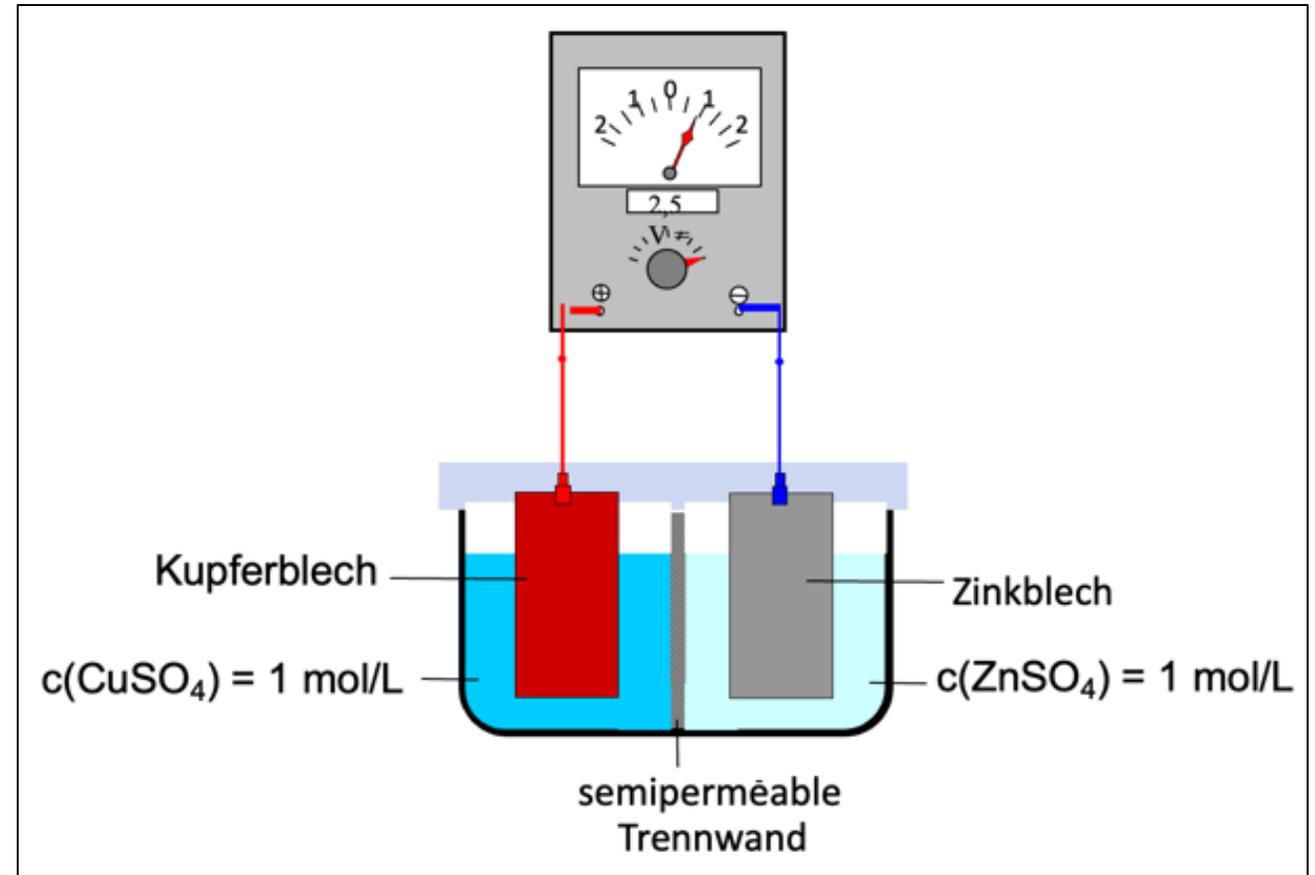
$$\Delta_r H_m = -218,77 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$



Durchführung der Redoxreaktion als Galvanische Zelle  
unter Standardbedingungen ( $c = 1 \text{ mol/L}$ )

Berechnung der elektrischen Arbeit  $W_{\text{el}}$

$$\begin{aligned} W_{\text{el}} &= -z \cdot F \cdot \Delta E \\ &= -2 \cdot 96485 \text{ A} \cdot \text{s} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot 1,1 \text{ V} \\ &= -212,27 \text{ kJ} \end{aligned}$$



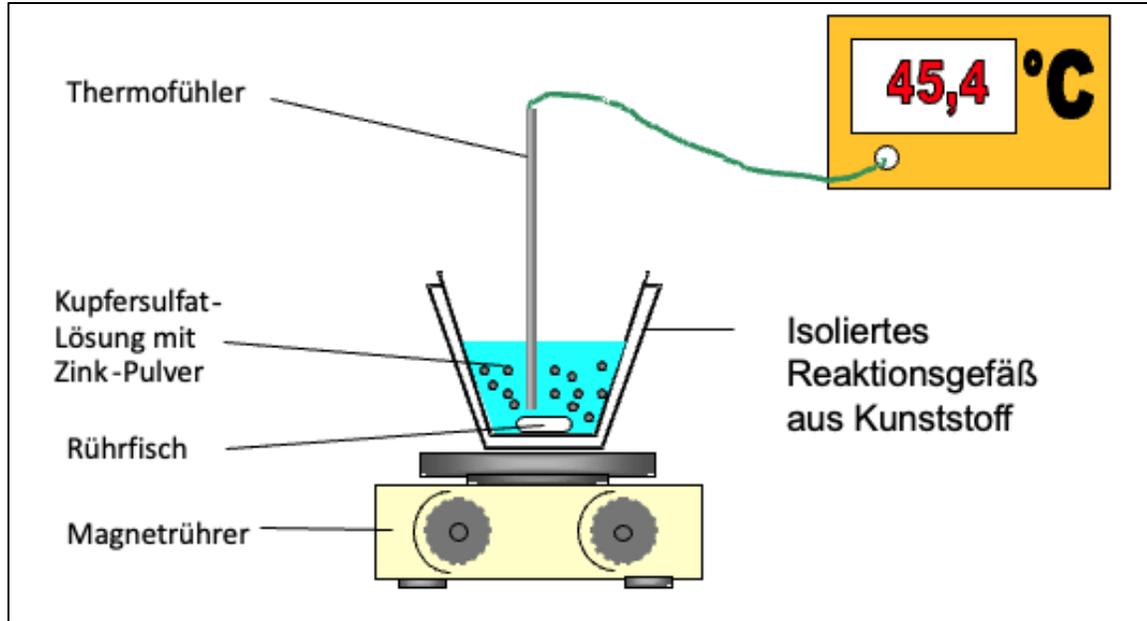
Molare Reaktionsenthalpie

$$\Delta_r H_m = \frac{-5,4693 \text{ kJ}}{0,025 \text{ mol}} = -218,77 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

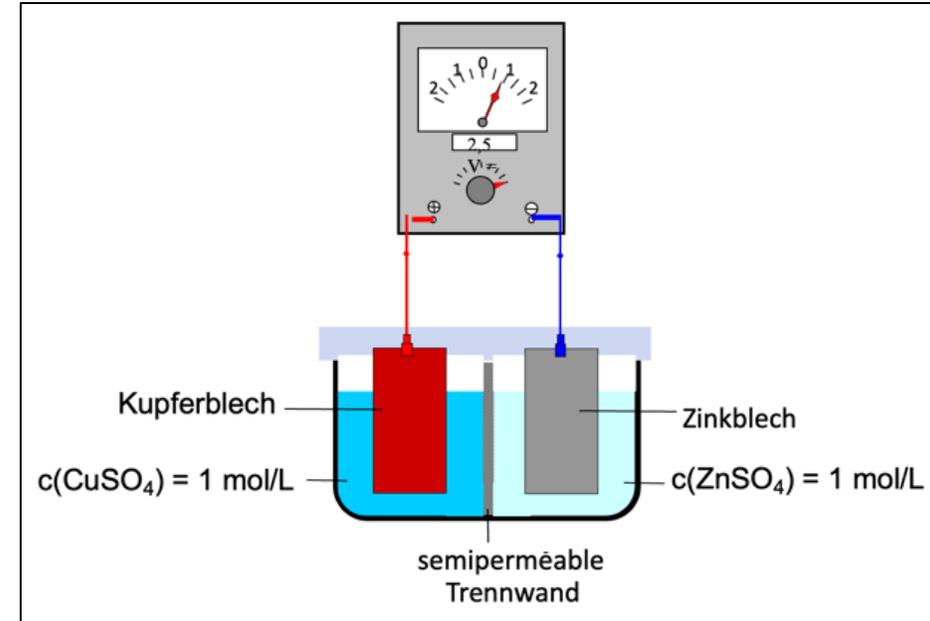
elektrische Arbeit

$$W_{\text{el}} = -212,27 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$|\Delta_r H_m| > |W_{\text{el}}|$$



Es wird keine elektrische Arbeit geleistet ( $W_{el} = 0$ ),  
deshalb gilt:  $\Delta H = Q$



Es wird elektrische Arbeit geleistet,  
zusätzlich wird nicht nutzbare Wärme frei:

$$\Delta H = W_{el} + E_{geb}$$

$$\Delta H = W_{el} + E_{geb}$$

**nicht nutzbar, deshalb kann  
Wärme nicht vollständig in  
Arbeit umgewandelt werden!**

$$\Delta H = W_{el} + E_{geb}$$

Verallgemeinerung →

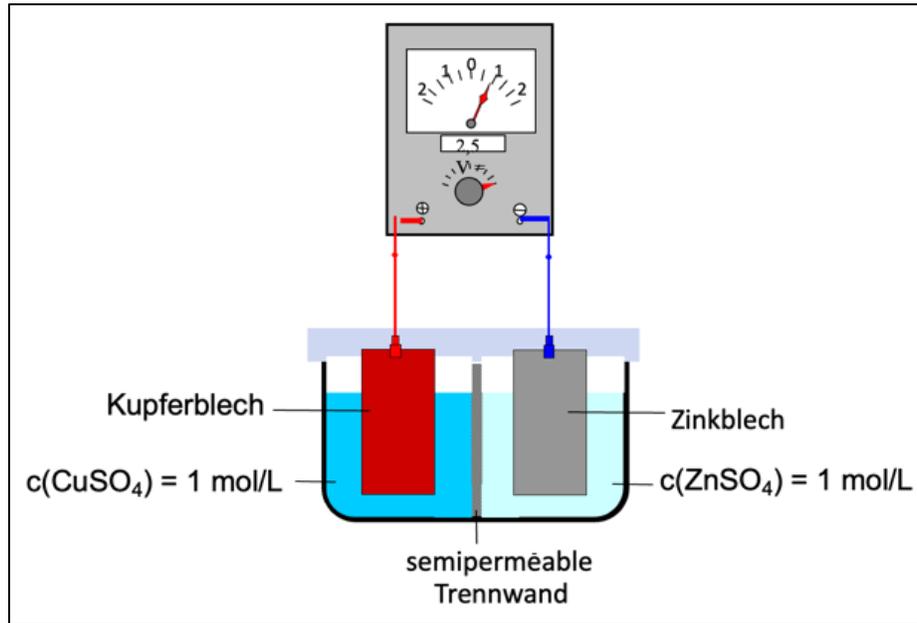
$$\Delta H = E_{frei} + E_{geb}$$

**Nutzbar!**

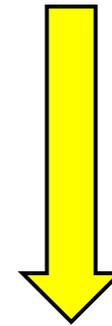
**„Energieverlust“**

**Energieverlust:** Bei der Energieumwandlung geht keine Energie verloren, nur wird aus **nutzbarer** Energie **nicht nutzbare** Energie.

⇒ **Energieentwertung!**



Mit einer Galvanischen Zelle kann über die elektrische Arbeit  $W_{el}$  einer Redoxreaktion der **nutzbare Teil der Reaktionsenthalpie** bestimmt werden!



**Freie Enthalpie  $\Delta G$**

$$\Delta H = W_{el} + E_{geb}$$

$$\Delta H = E_{frei} + E_{geb}$$

$$\Delta H = \Delta G + T \cdot \Delta S$$

Gibbs-Helmholtz-Gleichung  $\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S$

Die Schülerinnen und Schüler...

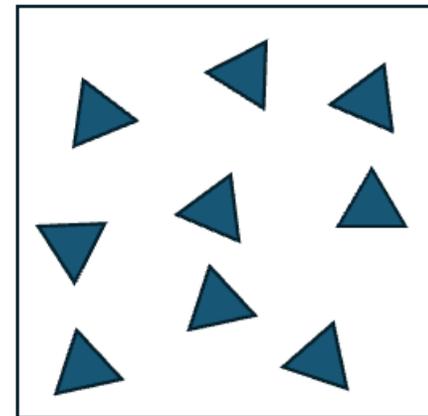
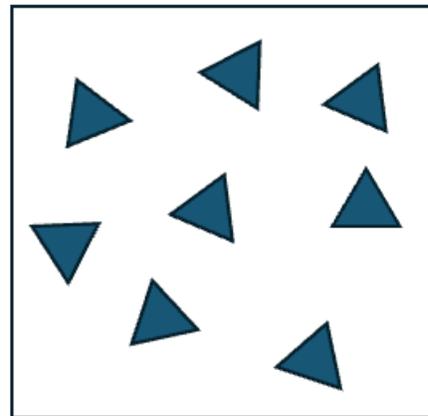
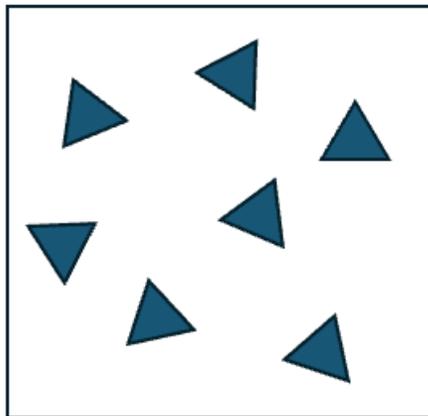
... schätzen die Entropieänderung bei ausgewählten chemischen Reaktionen ab, indem sie die Verteilung von Energie und Teilchen als Maß für die Entropie verwenden.

**S** steht für Entropie

$\Delta S$  ist die Entropiedifferenz

Einheit:  $\text{J K}^{-1}$

Die Entropie ist ein Maß für die Verteilung von Energie und Teilchen, sie beschreibt die Anzahl von Zuständen, die ein System annehmen kann.



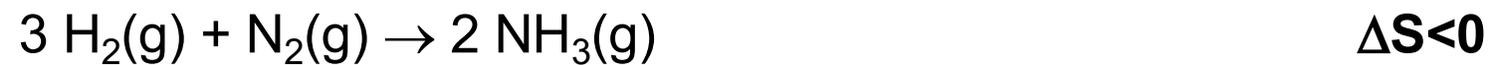
→ Entropiezunahme

Beispiel: brennenden Kerze

Teilchen in der Gasphase:

26

36

Beispiel: Ammoniaksynthese

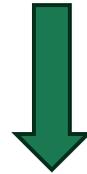
Teilchen in der Gasphase:

4

2



Energieumwandlung erzeugt Entropie



Anteil der nutzbaren Energie sinkt = Energieentwertung



Möglichst wenig Umwandlungsschritte = höherer Wirkungsgrad



Triebkraft chemischer Reaktionen:

- Das Prinzip der Enthalpie- oder Energieminimierung:  $\Delta H < 0$
- Das Prinzip der Entropiemaximierung:  $\Delta S > 0$

Gibbs-Helmholtz-Gleichung:  $\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S$

$\Delta G < 0$  exergon

$\Delta G > 0$  Endergon



## Die Schülerinnen und Schüler...

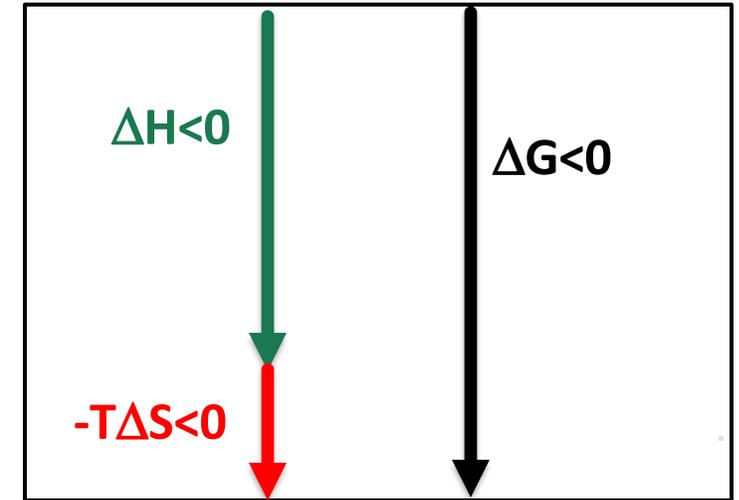
- schätzen mit Hilfe der Gibbs-Helmholtz-Gleichung qualitativ den Einfluss von Enthalpie- und Entropie-Änderungen auf den freiwilligen Ablauf chemischer Reaktionen ab.
- *berechnen mit Hilfe der Gibbs-Helmholtz-Gleichung den Einfluss von Enthalpie- und Entropieänderungen auf die Richtung chemischer Reaktionen.*
- *treffen Vorhersagen zur Freiwilligkeit des Ablaufs chemischer Reaktionen sowie zur Möglichkeit der Gleichgewichtseinstellung, indem sie die Gibbs-Helmholtz-Gleichung anwenden.*

# vier Typen chemischer Reaktionen

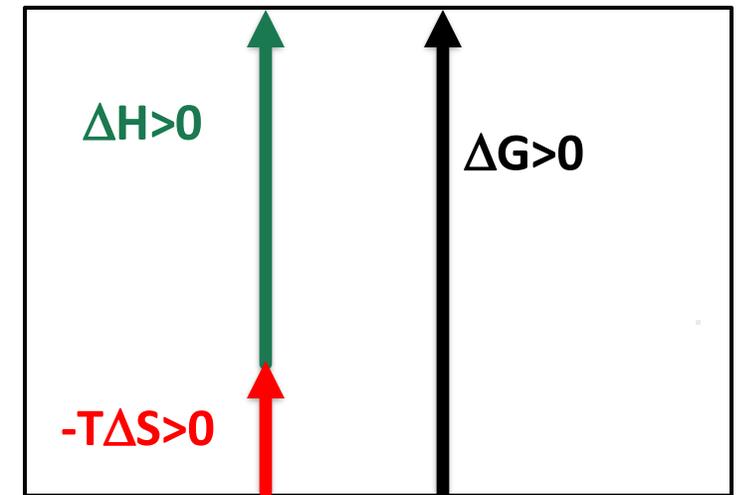


ISB

**Typ 1** Reaktion ist immer exergon:  $\Delta G < 0$ , da  $\Delta H < 0$  und  $\Delta S > 0$   
Beispiel:  $\text{C}_5\text{H}_{12}(\text{l}) + 8 \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 5 \text{CO}_2(\text{g}) + 6 \text{H}_2\text{O}(\text{g})$



**Typ 2** Reaktion ist immer endergon:  $\Delta G > 0$ , da  $\Delta H > 0$  und  $\Delta S < 0$   
Beispiel:  $3 \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{O}_3(\text{g})$



**Typ 3** Bei niedriger Temperatur ist  $\Delta G < 0$ , bei hoher ist  $\Delta G > 0$ !

Beispiel:  $2 \text{NO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$   $\Delta H < 0$  und  $T \cdot \Delta S < 0$

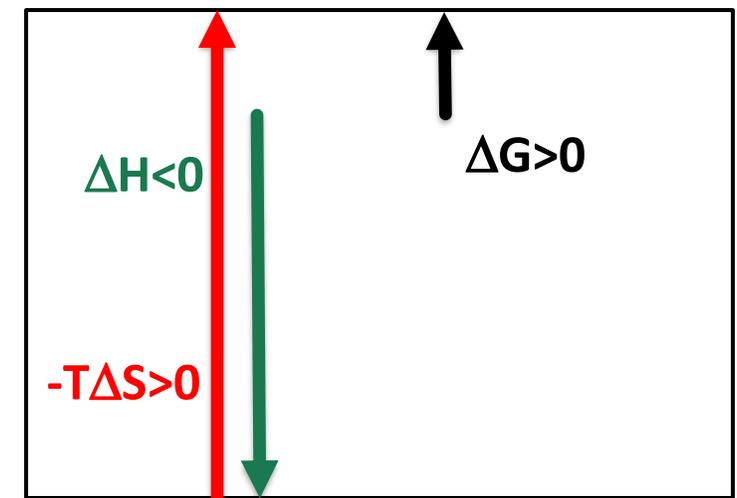
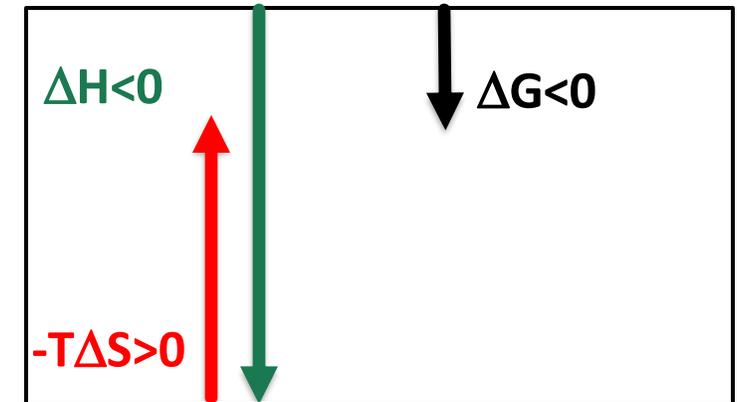
Bei **298K**:

$$\begin{aligned} \Delta_m H &= -57 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} & T \cdot \Delta_m S &= -52 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \\ \Delta_m G &= \Delta_m H - T \cdot \Delta_m S = -57 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - (-52 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) \\ \Delta_m G &= -5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} & & \text{exergon} \end{aligned}$$

**die Temperatur entscheidet über das Vorzeichen von  $\Delta G$**

Bei **1000K**:

$$\begin{aligned} \Delta_m H &= -57 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} & T \cdot \Delta_m S &= -70 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \\ \Delta_m G &= \Delta_m H - T \cdot \Delta_m S = -57 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - (-70 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) \\ \Delta_m G &= +13 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} & & \text{endergon} \end{aligned}$$



**Typ 4** Bei niedriger Temperatur ist  $\Delta G > 0$ , bei hoher ist  $\Delta G < 0$ !



$$\Delta H > 0 \text{ und } T \cdot \Delta S > 0$$

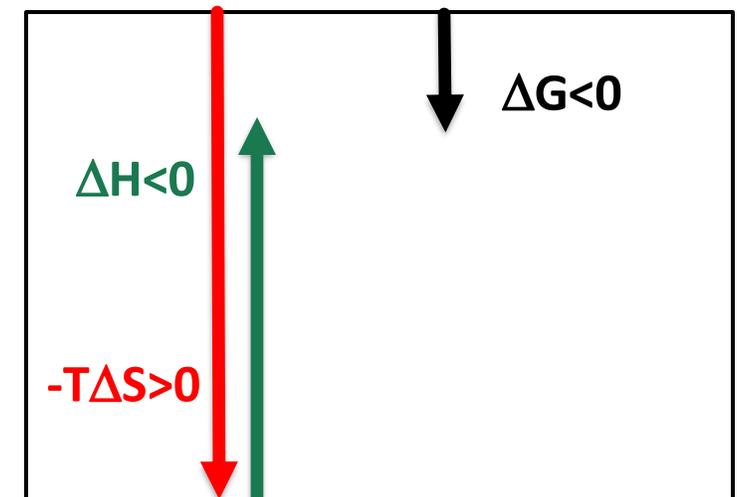
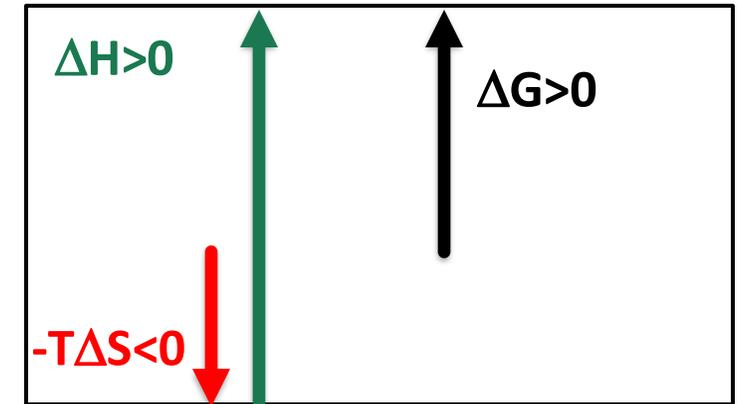
Bei **298K**:

$$\begin{aligned} \Delta_m H &= 131 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} & T \cdot \Delta_m S &= 39 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \\ \Delta_m G &= \Delta_m H - T \cdot \Delta_m S = 131 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - 39 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \\ \Delta_m G &= +92 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} & & \text{endergon} \end{aligned}$$

**die Temperatur entscheidet über das Vorzeichen von  $\Delta G$**

Bei **1000K**:

$$\begin{aligned} \Delta_m H &= 131 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} & T \cdot \Delta_m S &= 134 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \\ \Delta_m G &= \Delta_m H - T \cdot \Delta_m S = 131 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - 134 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \\ \Delta_m G &= -3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} & & \text{exergon} \end{aligned}$$

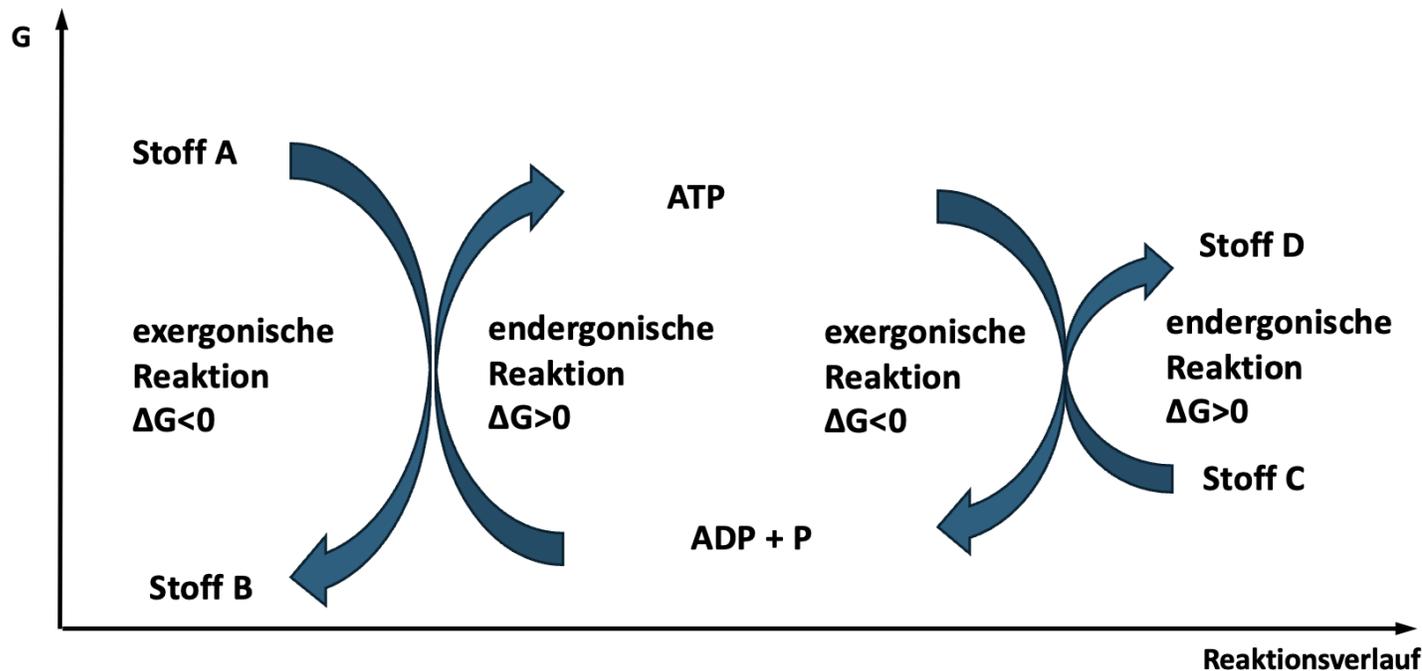


# Energetische Kopplung



Die Schülerinnen und Schüler...

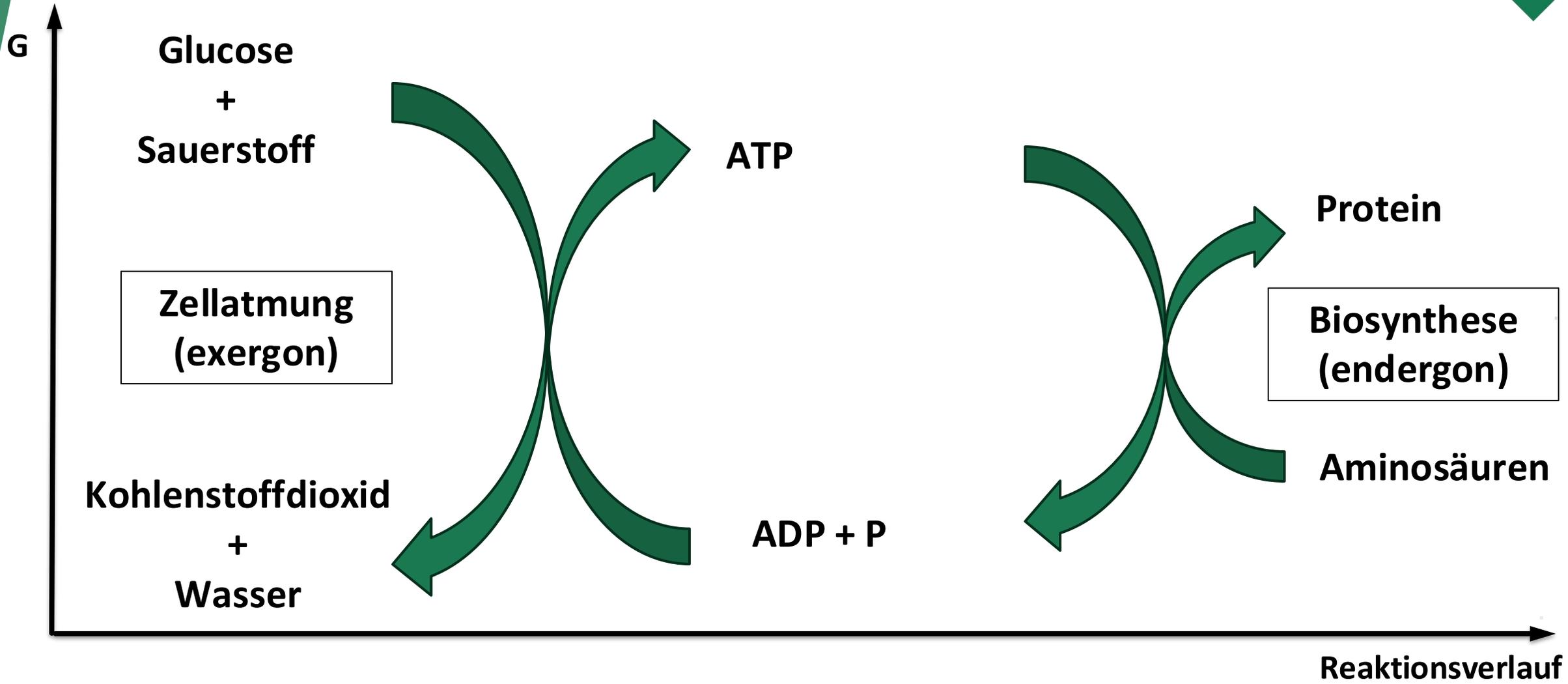
... erklären die Bedeutung der energetischen Kopplung einer endergonen mit einer exergonen Reaktion und interpretieren die dabei auftretenden Energieunterschiede als Entropieerzeugung.



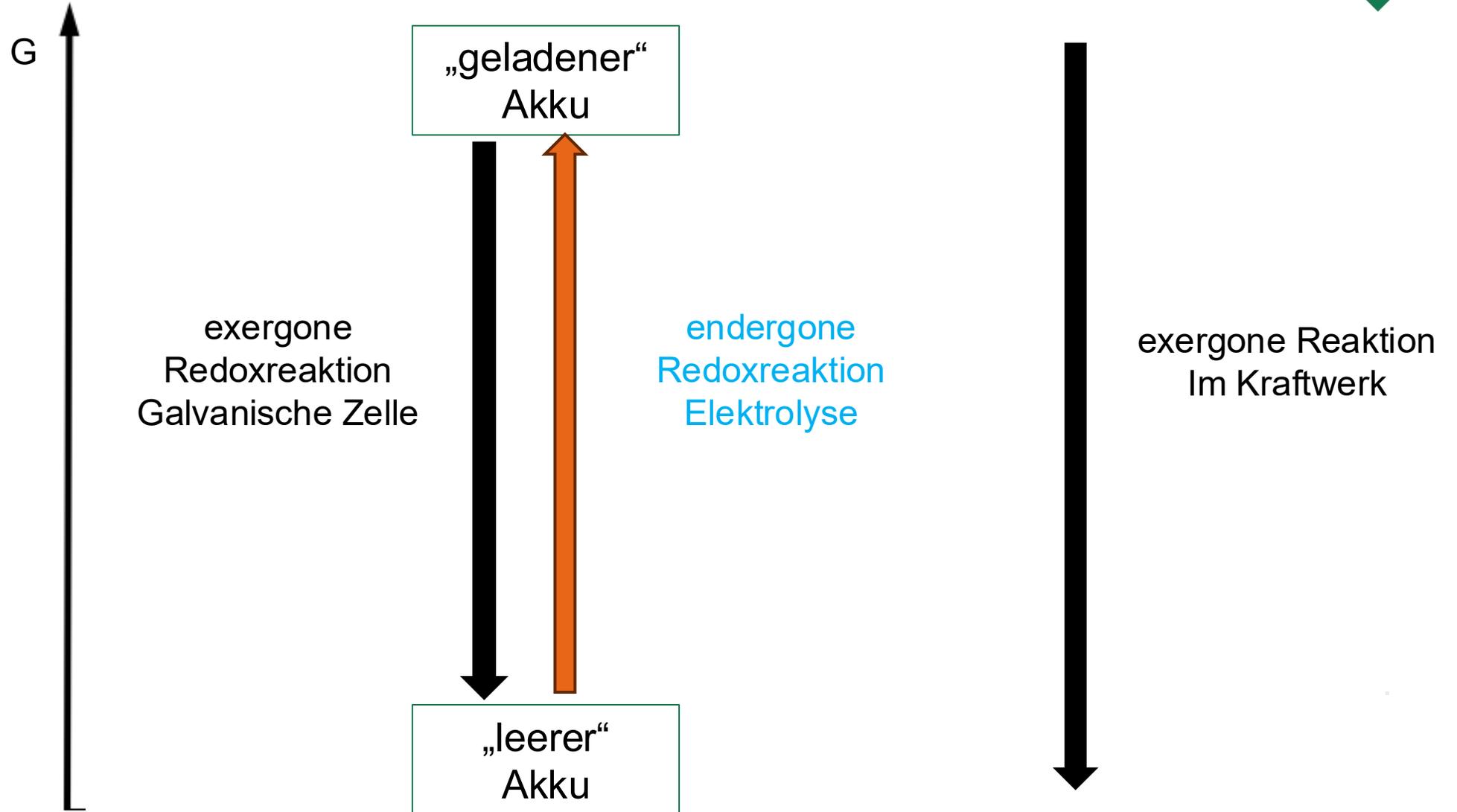
Da bei jeder Energieumwandlung Entropie erzeugt wird, gilt:

$$|\Delta G_{\text{exergon}}| > |\Delta G_{\text{endergon}}|$$

# Beispiel Proteinbiosynthese



# Beispiel Sekundärzelle („Akku“)



## 13.2

# Farbigkeit + Farbstoffe

## Kompetenzen im gA

### Kompetenzerwartungen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- unterscheiden zwischen der Emission und der Absorption verschiedener Wellenlängen des Lichts, um die Ursachen von **Farbigkeit** zu beschreiben.
- erklären die Absorption von Licht bestimmter Wellenlängen als Anregung von delokalisierten Elektronen und begründen die **Farbigkeit** von Stoffen mithilfe des Energiestufenschemas.
- erklären die **Farbigkeit** von Stoffen anhand des Zusammenhangs zwischen den Wellenlängen des absorbierten und des reflektierten Lichts.
- recherchieren und bewerten den Einsatz von ausgewählten **Farbstoffen** im Alltag.

## Zusätzliche Kompetenzen im eA

### Kompetenzerwartungen

Die Schülerinnen und Schüler ...

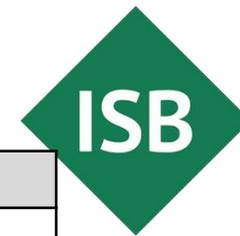
- wenden das Donator-Akzeptor-Konzept auf **Farbstoff-Moleküle** an, um den Einfluss funktioneller Gruppen auf die **Farbigkeit** der zugehörigen Stoffe zu erklären.
- werten Absorptionsspektren von **Farbstoffen** aus, um die Absorptionseigenschaften von **Farbstoff-Molekülen** zu beschreiben.
- stellen die Synthese von **Azofarbstoffen** und **Triphenylmethanfarbstoffen** auf der Teilchenebene mechanistisch dar.
- recherchieren und bewerten den Einsatz von ausgewählten **Farbstoffen** im Alltag und vergleichen und bewerten Auswirkungen der Verwendung von ausgewählten **Farbstoffen** im Hinblick auf die menschliche Gesundheit.
- beschreiben ausgewählte Bindungs- und Wechselwirkungstypen zwischen **Farbstoff-Molekülen** und Faser-Molekülen und beurteilen die Eignung von **Farbstoffen** als Textilfarbstoff.
- erklären das Prinzip der Küpenfärbung und führen eine Küpenfärbung durch und vergleichen diese ggfs. mit einer weiteren Färbemethode.
- beurteilen die wirtschaftliche Bedeutung der **Farbstoffe** für die Entwicklung der chemischen Industrie.
- beschreiben die Auswirkung von Veränderungen eines delokalisierten Elektronensystems durch eine Säure-Base- oder Redoxreaktion, um die Funktionsweise von Indikatoren zu erklären.

# Möglicher Stoffverteilungsplan im gA (7 WStd.)



Lehrplan	
1	Farbigkeit: additive und subtraktive Farbmischung, Komplementärfarben
2	absorbierte Wellenlänge und Farbigkeit: Energiedifferenz zwischen der höchsten besetzten und niedrigsten unbesetzten Energiestufe (HOMO, LUMO)
3	
4	Absorptionsspektren
5	
6	Verwendung von Farbstoffen und Farben in Alltagsprodukten (z. B. Textilfarben, Haarfarben, Tätowierfarben, Lacke, Lebensmittelfarben)
7	

## Möglicher Stoffverteilungsplan im eA (20 WStd.)



	Lehrplan
1	Farbigkeit: additive und subtraktive Farbmischung, Komplementärfarben
2	absorbierte Wellenlänge und Farbigkeit: Energiedifferenz zwischen der höchsten besetzten und niedrigsten unbesetzten
3	Energiestufe (HOMO, LUMO)
4	ausgewählte Farbstoffklassen: u. a. Polyene, Azofarbstoffe, Triphenylmethanfarbstoffe; Unterscheidung Farbstoffe und
5	Pigmente
6	Molekülbau und Absorption: Güte der Delokalisierung, Größe des mesomeren Systems, Chromophor
7	Einfluss von Substituenten: auxochrome Gruppe, antiauxochrome Gruppe
8	Absorptionsspektren: u. a. ausgewählter Azofarbstoffe und Triphenylmethanfarbstoffe
9	
10	Azofarbstoffe: Synthese in zwei Schritten (Diazotierung und Azokupplung; keine dirigierenden Effekte)
11	
12	Triphenylmethanfarbstoffe: Synthese als Kondensationsreaktion
13	Bindungs- und Wechselwirkungstypen: ionische Farbstoffe, Reaktivfarbstoffe, Direktfarbstoffe, Küpenfarbstoffe
14	Verwendung von und Gefährdung durch Farbstoffe und Farben in Alltagsprodukten (z. B. Textilfarben, Haarfarben,
15	Tätowierfarben, Lacke, Lebensmittelfarben)
16	Küpenfärbung: Färbung mit Indigo, Redoxreaktion, Löslichkeit
17	
18	
19	Funktionsprinzip von Indikatoren: Säure-Base-, Redox-Indikatoren
20	

# Elektromagnetisches Spektrum – additive/subtraktive Farbmischung



additiv = „Mischung von Licht“



subtraktiv = „Mischung von Farbstoffen“

# Elektromagnetisches Spektrum – Absorption/Farbeindruck

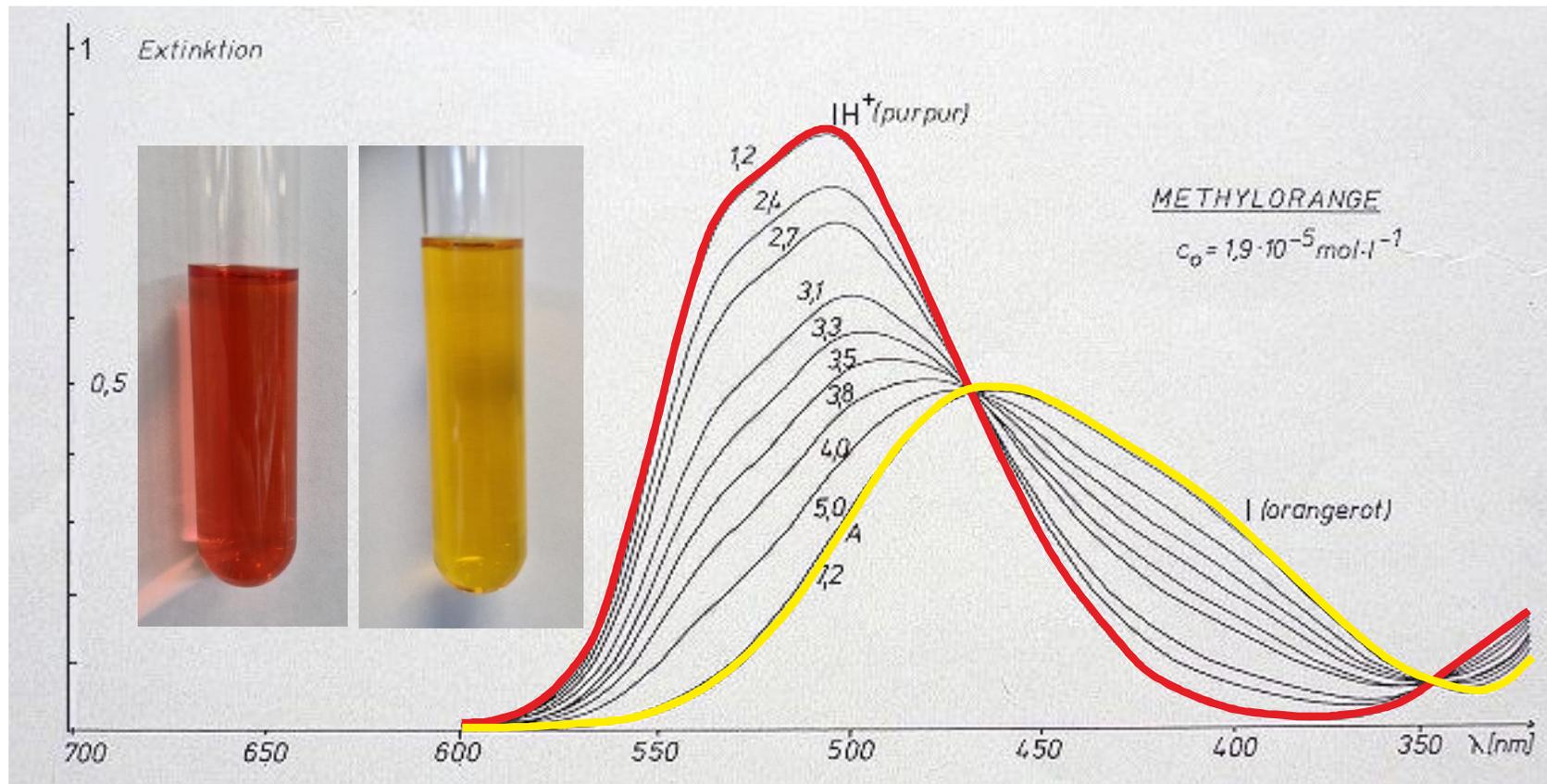


absorbierte Wellenlänge / Farbe



Farbeindruck = Komplementärfarbe

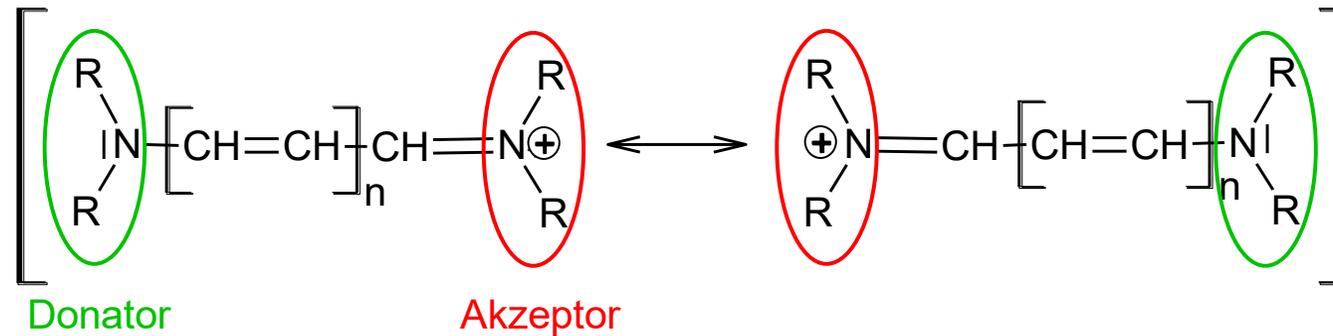
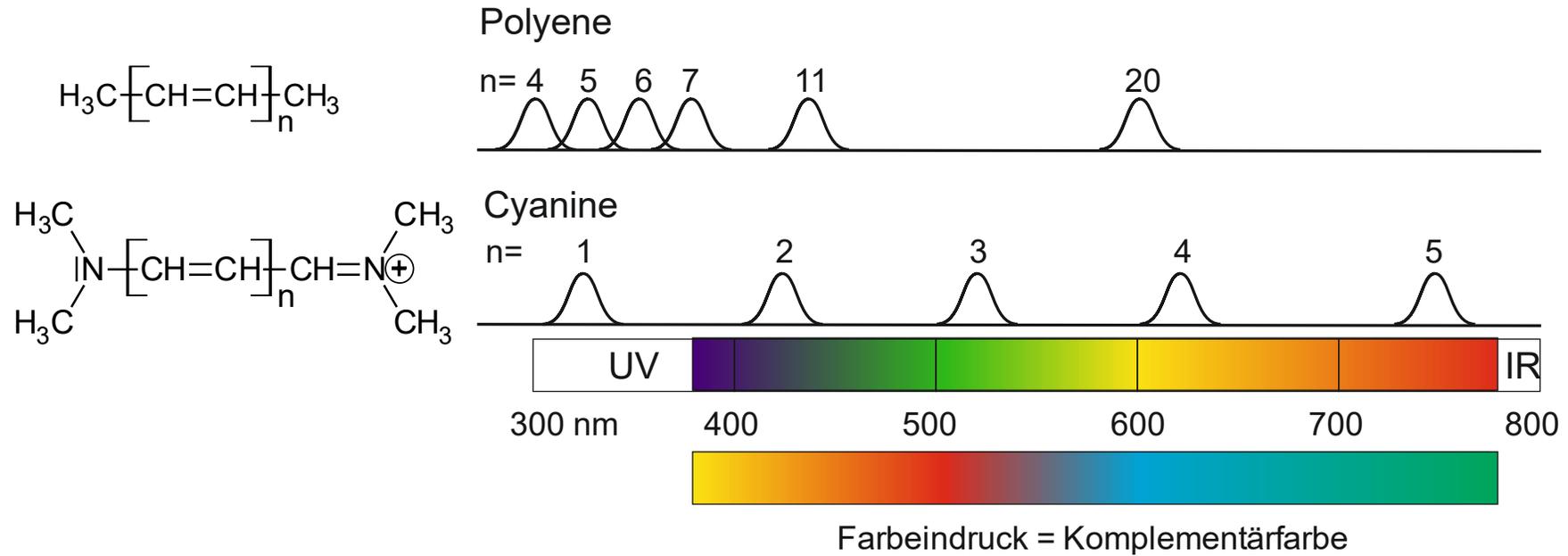
# Auswertung von Absorptionsspektren



Quelle: <http://www.chemieunterricht.de/dc2/phph/fotom-tk-1.htm>

# Donator-Akzeptor-Konzept: Polyene und Cyanine

eA

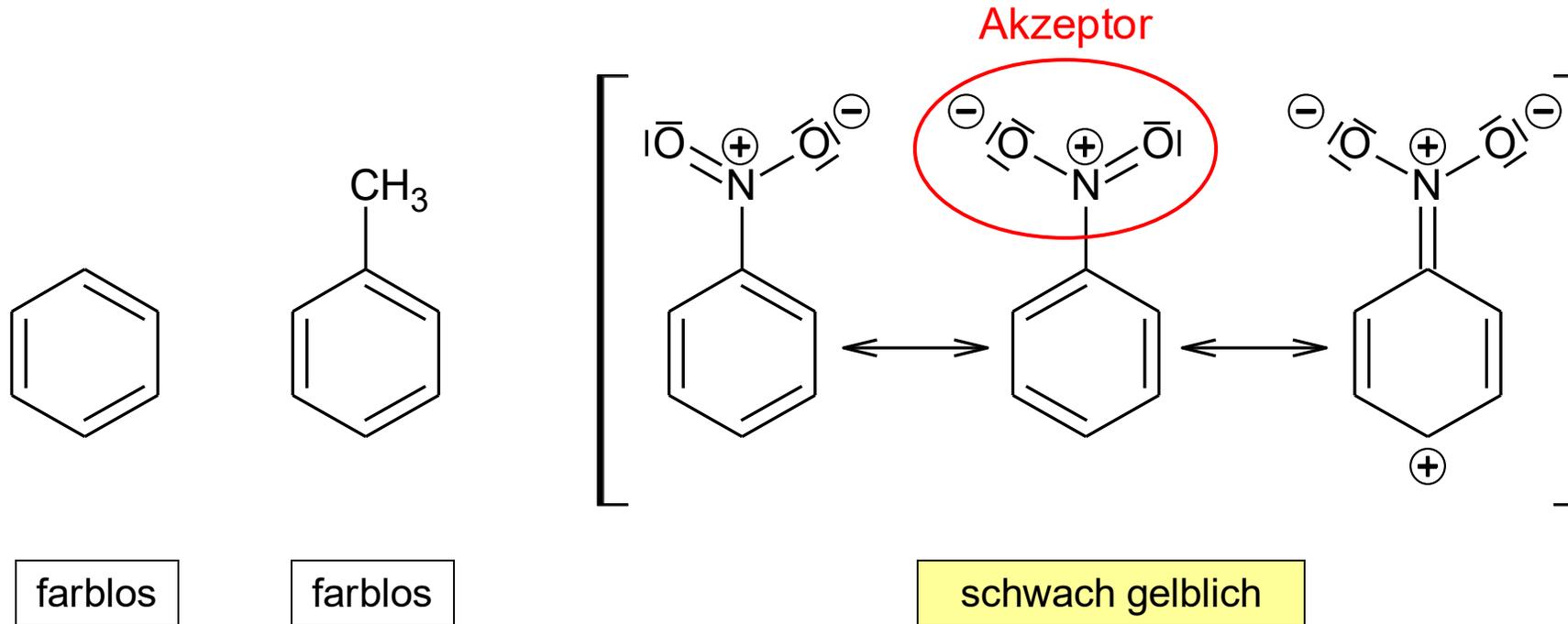


# Vergleich der Energiedifferenzen zwischen HOMO und LUMO

eV

ISB

Molekül	$\Delta E_{\text{HOMO-LUMO}}$ [eV]	Absorptionsmaximum [nm]
Ethen	11,99	185
Buta-1,3-dien	9,78	215
Hexa-1,3,5-trien	8,67	268
Octa-1,3,5,7-tetraen	8,01	304
Ethenamin	10,38	250
Nitroethen	10,99	230



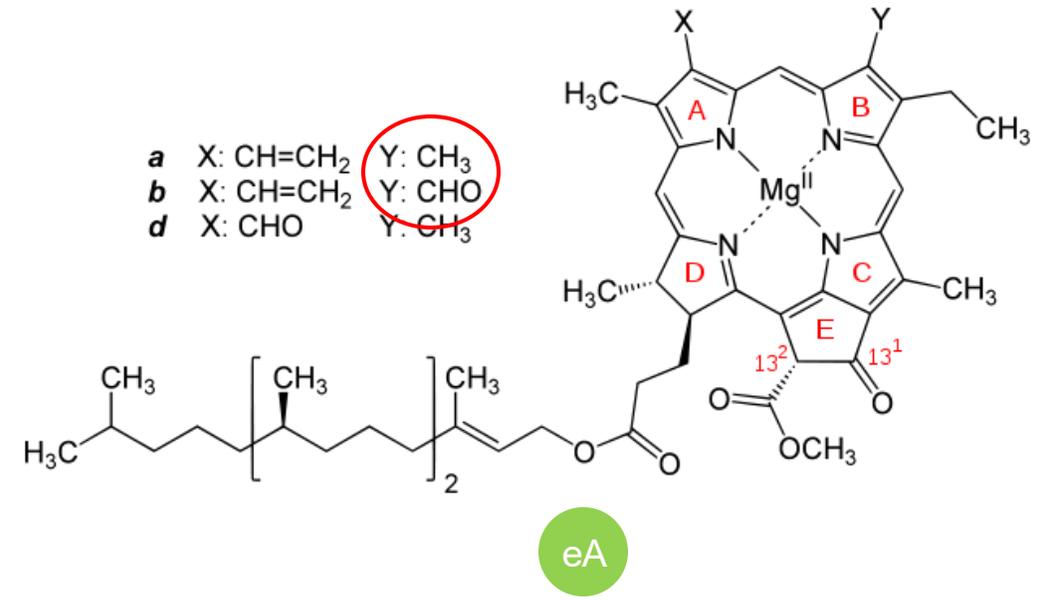
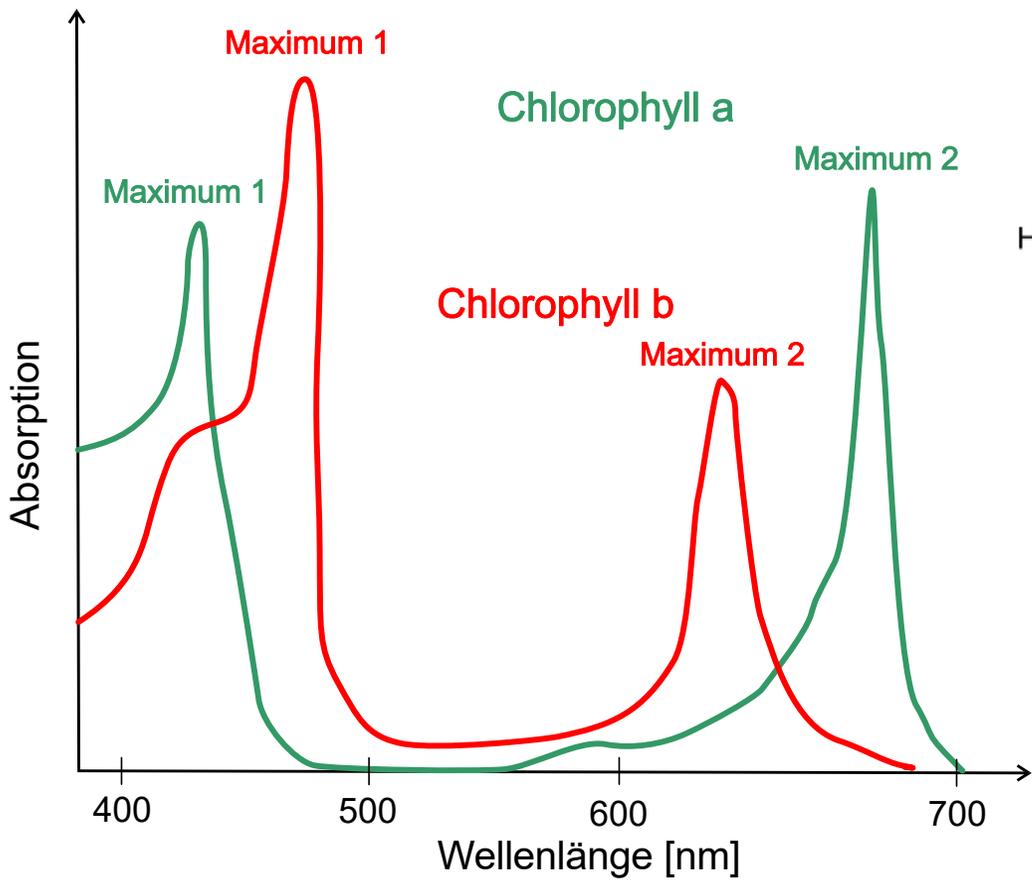
Beobachtung: Absorption verschiebt sich in den sichtbaren (längerwelligen) Bereich

Erklärung: **Vergrößerung des delokalisierten p-Elektronensystems und Verbesserung der Güte der Delokalisierung**

# Auswertung von Absorptionsspektren



gA eA



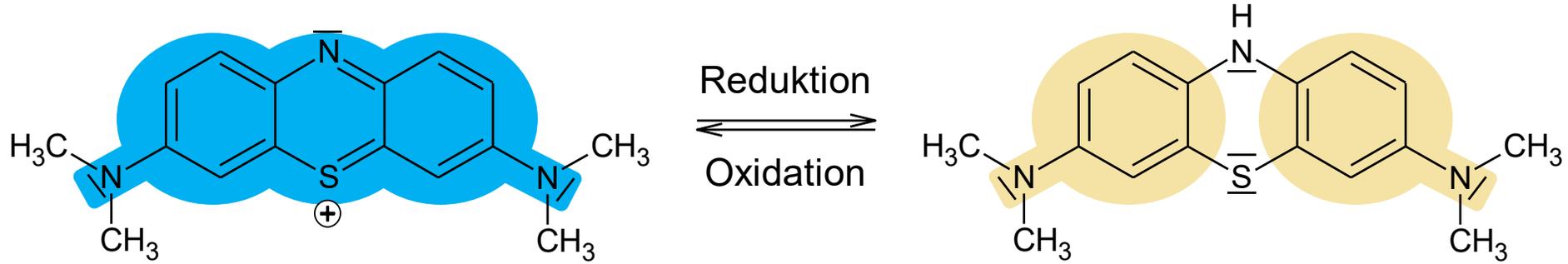
**Erklärung:**  
 Durch **CHO-Gruppe Vergrößerung** des **delokalisierten Elektronensystems**  
**Verschiebung** des 1. Absorptionsmaximums (Maximum 1) des **Chl b** in den **längerwelligen Bereich**.

(Die Banden des weiteren Anregungsniveaus (Maximum 2) sind für SuS mit ihrem Wissen nicht erklärbar)

# Naturfarbstoffe: Blue-Bottle-Experiment

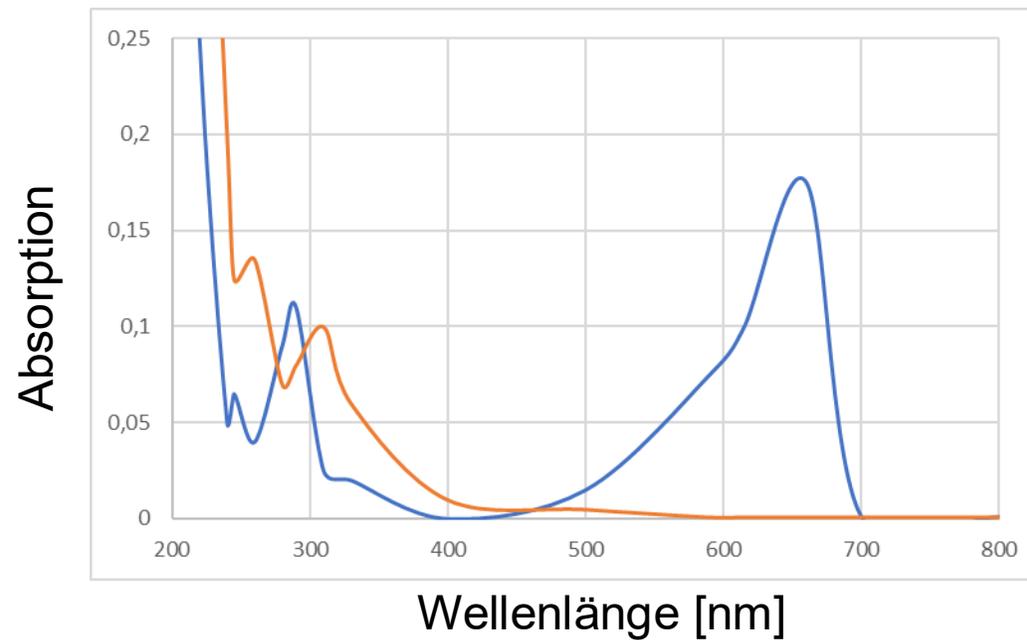
eA

ISB

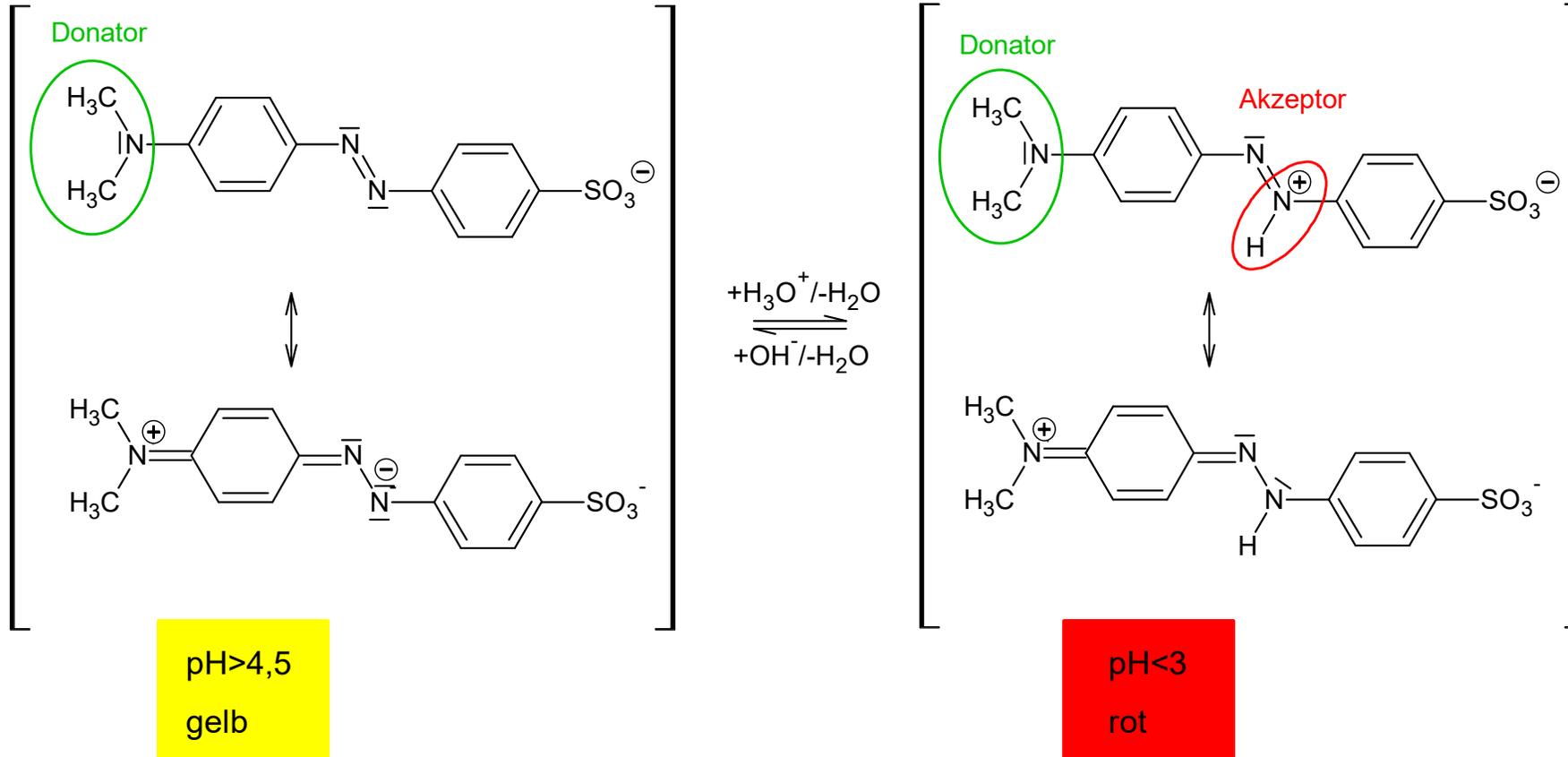


Methylenblau  
(blau)

Leuko-Methylenblau  
(farblos)



## Farbveränderung von Methylorange beim Protonieren / Deprotonieren

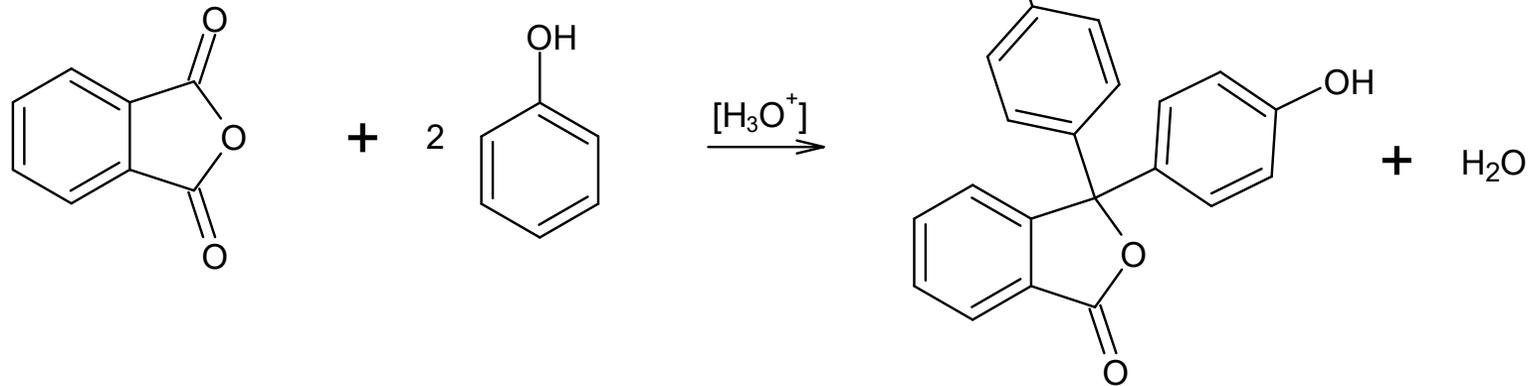


# Triphenylmethanfarbstoffe - Synthese

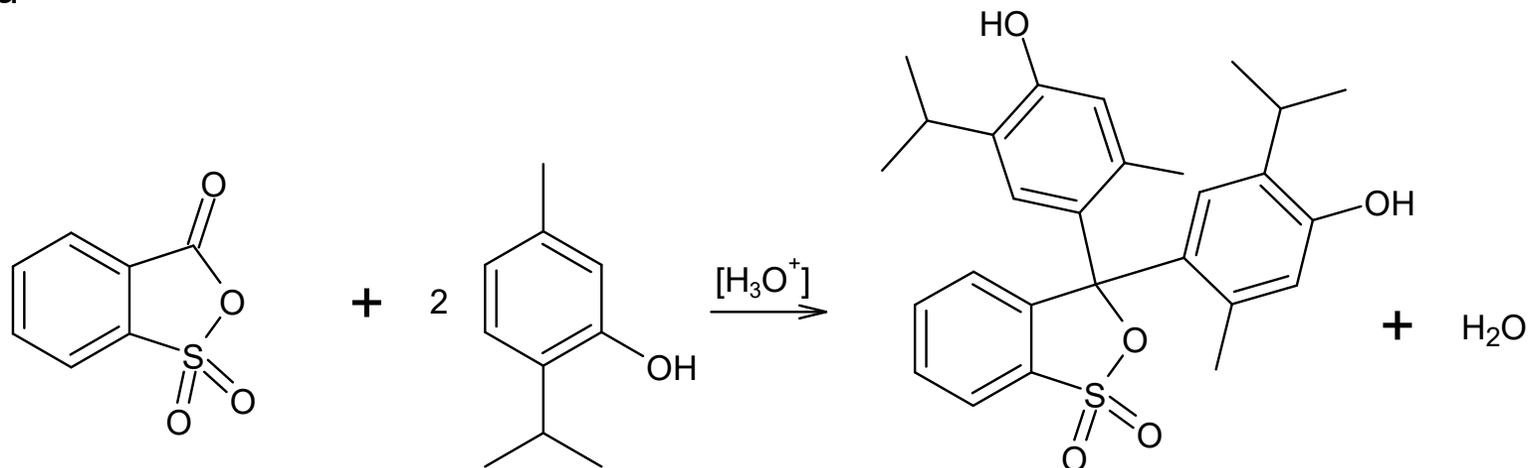
eA

ISB

## Phenolphthalein



## Thymolblau

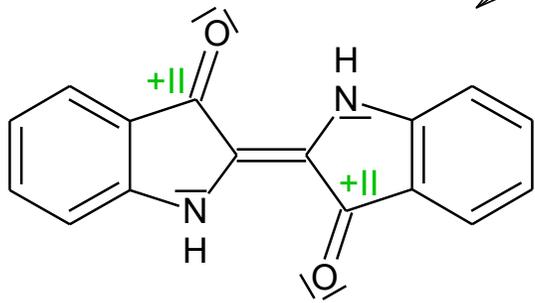


# Färbeverfahren: Küpenfärbung am Beispiel des Indigo

eA

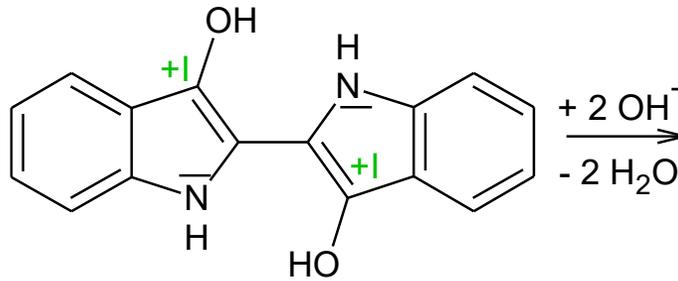


Oxidation mit Sauerstoff



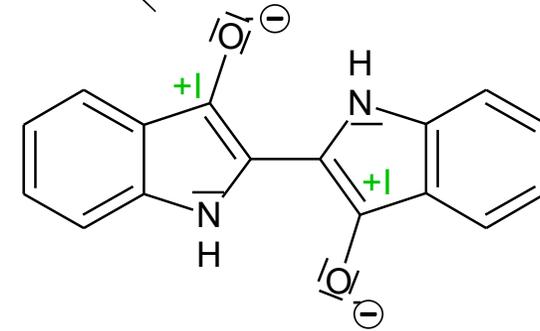
Indigo  
wasserunlöslich, blau

Red  
mit  
 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$



Leukoindigo  
schlecht wasserlöslich, gelb

+ 2 OH<sup>-</sup>  
- 2 H<sub>2</sub>O



Leukoindigo  
gut wasserlöslich, gelb

# 13.4

## Natürliche und synthetische Makromoleküle

**Hinweise zur Chiralität** 



# Kompetenzerwartungen und Inhalte

## Kompetenzerwartungen

*Die Schülerinnen und Schüler ...*

*erkennen in Molekülen asymmetrisch substituierte Kohlenstoff-Atome, um chirale von achiralen Molekülen zu unterscheiden und Enantiomere zu bestimmen.*

## Inhalte zu den Kompetenzen

Stereochemie am Beispiel der Aminocarbonsäure-Moleküle: asymmetrisches Kohlenstoff-Atom, Enantiomere, Fischer-Projektion, D- und L-Formen

## Hinweise

Die Erkennung der Achiralität von meso-Formen wird vom Lehrplan nicht gefordert.

# Zielsetzung

## ▶ **Bildungsstandards im Fach Chemie für die Allgemeine Hochschulreife:**

Inhaltsbereich: Stoffe, Strukturen, Eigenschaften

Strukturen ausgewählter organischer und anorganischer Stoffe: Chiralität

## ▶ **eng verknüpft mit dem Thema Aminocarbonsäuren**

▶ in der Regel wenige Stereozentren

▶ Einführung der Fischer-Projektion ausgehend von der Strukturformel anhand von Aminocarbonsäuren, nicht wie gewohnt anhand von Kohlenhydraten (Vorwissen aus der 11. Jahrgangsstufe kann nicht vorausgesetzt werden, da nur im NTG)

▶ Weinsäure nicht als Beispiel => keine meso-Form

## ▶ **keine Behandlung der optischen Aktivität**

▶ als Exkurs möglich unter Rückgriff auf eventuell vorhandenes Vorwissen aus Jahrgangsstufe 11 (nur NTG)

## Illustrierende Aufgaben zum LehrplanPLUS

Gymnasium, Chemie, Jahrgangsstufe 12

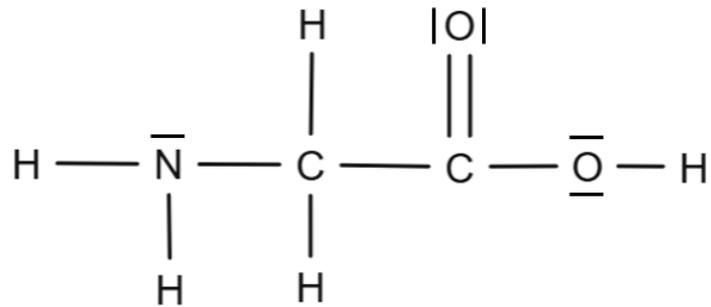
### Chiralität

Stand: Mai 2025

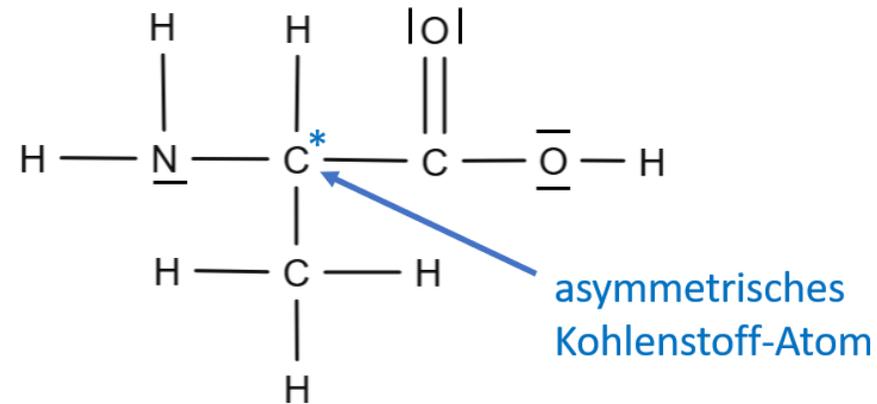
<b>Jahrgangsstufe</b>	13 eA
<b>Fach</b>	Chemie
<b>Übergreifende Bildungs- und Erziehungsziele</b>	
<b>Zeitrahmen</b>	45 min
<b>Benötigtes Material</b>	ggf. Periodensystem

# Aufgaben

1. Erstellen Sie die Valenzstrichformeln der beiden Aminocarbonsäuren Glycin (Aminoethansäure) und Alanin (2-Aminopropansäure) und begründen Sie jeweils, ob es sich um ein chirales oder achirales Molekül handelt.

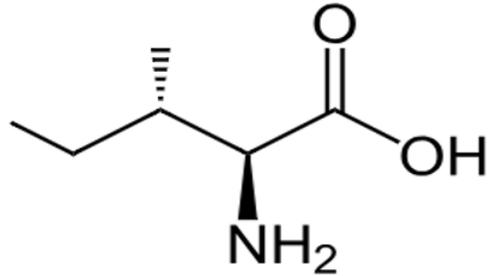


achirales Molekül

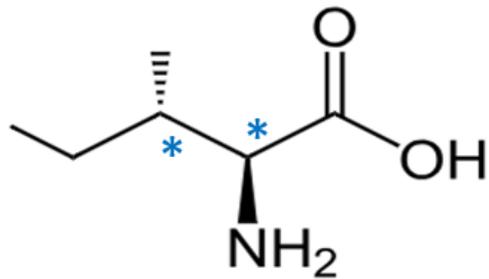


chirales Molekül

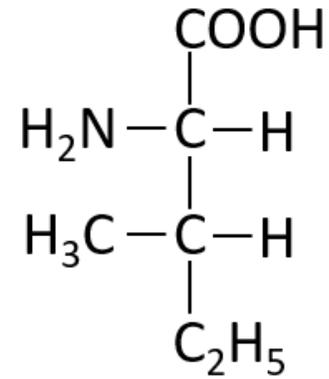
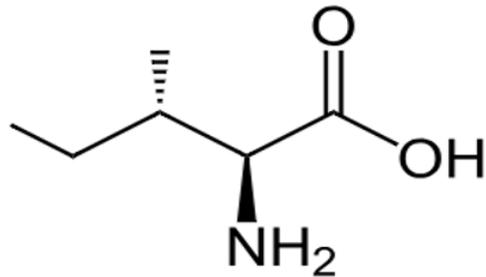
2. Die folgende Strukturformel zeigt das in der Natur am häufigsten vorkommende Enantiomer der Aminocarbonsäure Isoleucin.



- a) Markieren Sie alle asymmetrischen Kohlenstoff-Atome in der gegebenen Strukturformel.

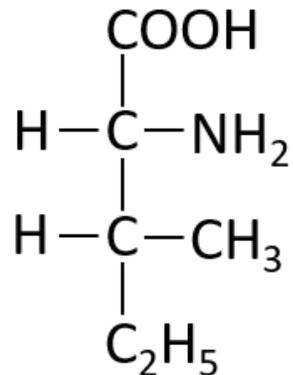


- b) Erstellen Sie die Fischer-Projektionsformel zu der gegebenen Strukturformel und geben Sie an, ob es sich um die D- oder die L-Form des Isoleucins handelt.

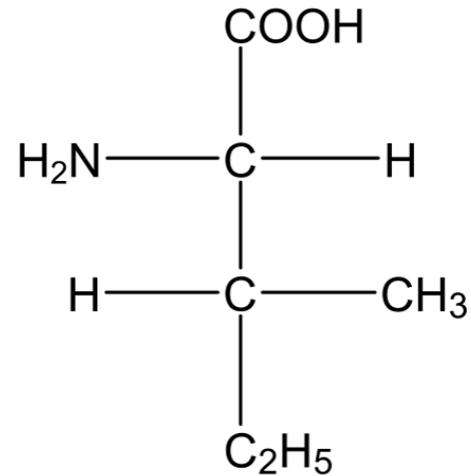


Es handelt sich um die L-Form.

- c) Zeichnen Sie die Fischer-Projektionsformel des anderen Enantiomers von Isoleucin.



3. Bei Menschen, die an der Ahornsirupkrankheit oder Leucinose leiden, kann im Blutplasma die Aminocarbonsäure L-Alloisoleucin nachgewiesen werden.



Begründen Sie anhand der Ergebnisse von 2., ob es sich bei L-Alloisoleucin um ein Enantiomer des L-Isoleucins handelt.

Es handelt sich nicht um ein Enantiomer des L-Isoleucins, da sich die beiden Moleküle nicht wie Bild und Spiegelbild verhalten.

# 13 4.2

## leitfähige Polymere und OLEDs

# Kompetenzerwartungen und Inhalte

- ▶ Kompetenzerwartungen:
  - ▶ Die Schülerinnen und Schüler...
    - ▶ begründen die elektrische Leitfähigkeit von Kunststoffen über das ausgedehnte konjugierte Elektronensystem der Polymer-Moleküle.
    - ▶ beschreiben die Einsatzmöglichkeiten elektrisch leitfähiger Kunststoffe und beurteilen Vorteile und Nachteile gegenüber metallischen Leitern.
- ▶ Inhalte:
  - ▶ Funktionsprinzip einer OLED: Kombination von Farbstoffen und elektrisch leitenden Polymeren, Energiestufenschema

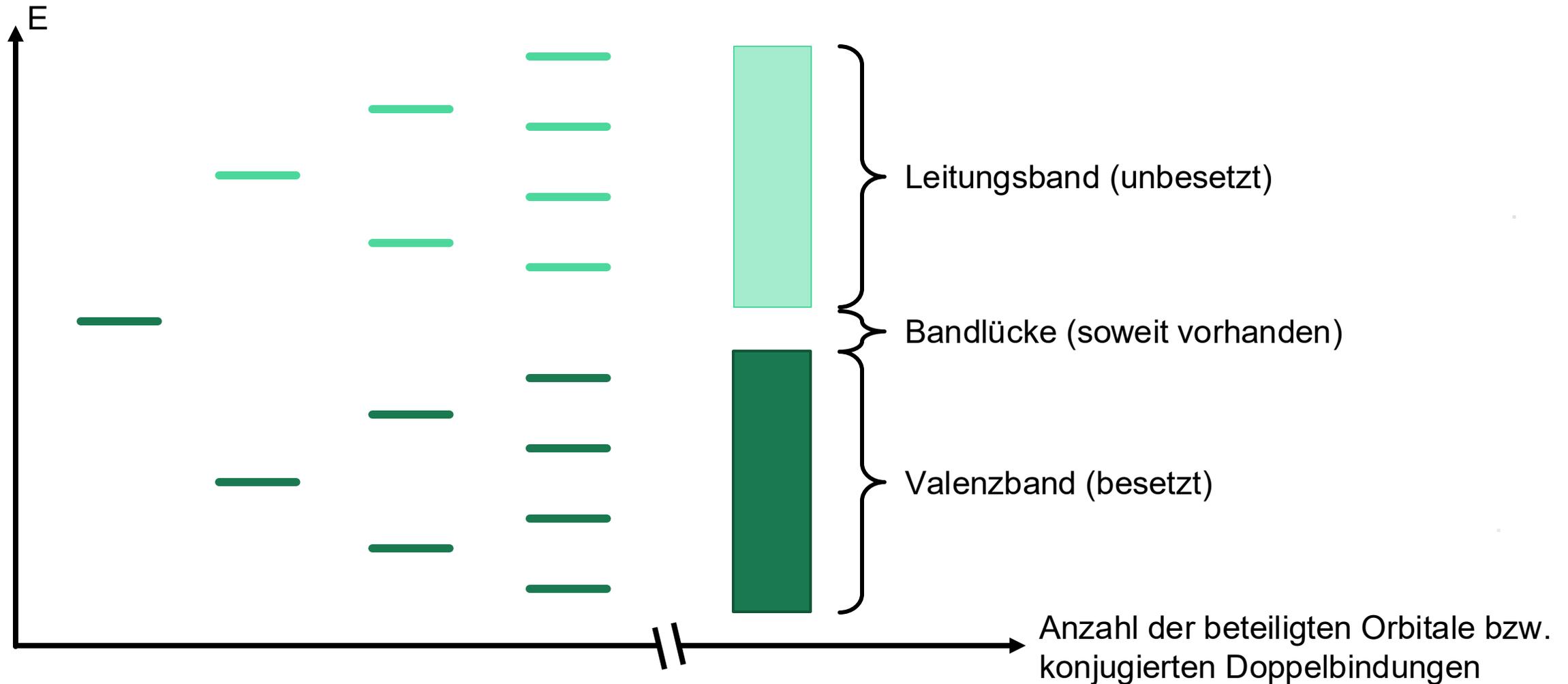
# Didaktische Überlegungen

- ▶ Voraussetzungen und Eignung zur Wiederholung von:
  - ▶ MO-Schemata, LB 12.4
  - ▶ Konjugierte Doppelbindungen, LB 12.4
  - ▶ Farbstoffe und Absorption LB 13.2
  - ▶ grundlegender Aufbau von Polymeren, LB 13.4.2
- ▶ Zielsetzungen:
  - ▶ Strukturelle Voraussetzungen für Leitfähigkeit bei Kunststoffen
  - ▶ Erklärung der Leitfähigkeit über Energiestufenschema (mit Valenz- und Leitungsband) sowie frei beweglichen Elektronen und Defektelektronen
  - ▶ Vor- und Nachteile von leitfähigen Polymeren gegenüber Metallen
  - ▶ Funktionsweise von OLEDs durch Kombination aus leitfähigen Polymeren und Farbstoffen

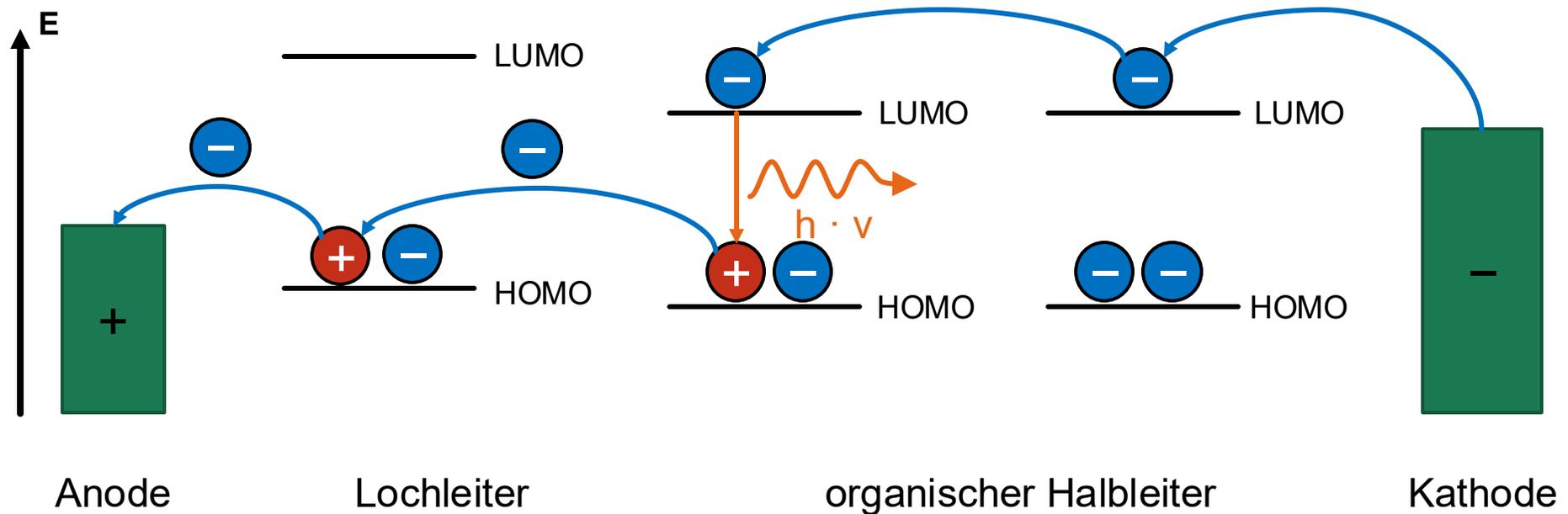
# Didaktische Überlegungen

- ▶ Hinweise:
  - ▶ Erörterung der Halbleiterthematik als Grundlage für OLEDs lt. Lehrplantext nicht zwingend nötig aber gut möglich
  
- ▶ Anknüpfungspunkte für Folgethemen:
  - ▶ Problematik der Ressourcenknappheit bei Halbleitermaterialien
  - ▶ Recycling bzw. vollständige thermische Verwertung möglich
  - ▶ Grundlagen der photokatalytischen Spaltung von Wasser teilweise hier schon erarbeitet

# Inhaltliche Grundlagen: Leitfähigkeit bei intrinsisch leitfähigen Polymeren



# Inhaltliche Grundlagen: Emission von Photonen durch Rekombination



## Vorschlag für eine Unterrichtseinheit (ca. 3x 45 Minuten) – 1. Stunde

- ▶ Einführung z. B. über faltbare/biegsame Smartphonedisplays
- ▶ Wiederholung: Erstellung des MO-Schemas von Wasserstoff
- ▶ Erarbeitung 1: Theorie von Valenz- und Leitungsband bei Metallen
- ▶ Erarbeitung 2: Erklärung von Leitfähigkeit mithilfe von Valenz- und Leitungsband bei Metallen
- ▶ Erarbeitung 3: Übertragung des Prinzips auf Halbleiter – Einführung „Elektron-Loch-Paar“

## Vorschlag für eine Unterrichtseinheit (ca. 3x 45 Minuten) – 2. Stunde

- ▶ Wiederholung
- ▶ Erarbeitung 1: MO-Schema der p-Orbitale von Buta-1,3-dien und Hexa-1,3,5-trien
- ▶ Erarbeitung 2: strukturelle Merkmale von leitfähigen Polymeren – konjugierte Doppelbindungen
  - ▶ Bsp. PPV, Polythiophen, Polypyrrol
- ▶ Erarbeitung 3: Vor- und Nachteile von leitfähigen Polymeren gegenüber Metallen

## Vorschlag für eine Unterrichtseinheit (ca. 3x 45 Minuten) – 3. Stunde

- ▶ Wiederholung
- ▶ Erarbeitung 1: Schematischer Aufbau einer OLED
- ▶ Erarbeitung 2: Funktionsweise einer OLED
  - ▶ Rekombination von Elektronen (Leitungsband) und Defektelektronen/Lochstellen (Valenzband)
  - ▶ Anregung eines Farbstoff-Moleküls
  - ▶ Emission eines Photons bei Rückkehr in den Grundzustand
- ▶ Erarbeitung 3:

## mögliche Zusatzstunden bei vorhandener Zeit

- ▶ Bau + Test eigener OLEDs
  - ▶ fertige Bausätze über Prof. Banerji
    - ▶ 50 Durchführungen, 639 €
    - ▶ Nachfüllpack, 100 Durchführungen, 195 €
    - ▶ förderfähig über FCI

# Literatur + weitere Informationen

- ▶ A. Banerji, M. W. Tausch (2010). Elektrolumineszenz in organischen Leuchtdioden. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule*, 59(4), 42–45.
- ▶ Banerji, A., Dörschelln, J., & Schwarz, D. (2017). Organische Leuchtdioden im Chemieunterricht. *Chemie in Unserer Zeit*, 52(1), 34–41.  
<https://doi.org/10.1002/ciuz.201700795>
- ▶ Banerji, A., Schönbein, A., & Wolff, J. (2017). OLED Reloaded: Die Synthese des Halbleiterpolymers MEH-PPV als Schulversuch. *CHEMKON*, 24(4), 251–256.  
<https://doi.org/10.1002/ckon.201790008>
- ▶ Organic photo electronics – boxperiment (Prof. Banerji, Uni Potsdam)
  - ▶ Bausätze
  - ▶ Unterrichtsmaterial, inkl. Animationen zur Funktionsweise (auch zur Selbsterarbeitung durch Schüler geeignet)
- ▶ OLED – Uni Wuppertal (Prof. Tausch, Prof. Banerji)
  - ▶ Animationen zur Funktionsweise (auch zur Selbsterarbeitung durch Schüler geeignet)

# 13.5

## Chemie und Nachhaltigkeit

## Neue Kompetenzerwartungen:

gA

*...beschreiben das Grundprinzip der Photosynthese als lichtabhängige Spaltung der Wasser-Moleküle und anschließende Reduktion von Kohlenstoffdioxid-Molekülen.*

*... vergleichen die elektrochemische und photokatalytische Spaltung der Wasser-Moleküle, sowie die Möglichkeiten zur physikalischen und chemischen Wasserstoffspeicherung in technischen Verfahren und beurteilen diese im Hinblick auf die Realisierung einer „künstlichen Photosynthese“. Dabei bewerten sie den Bedarf an Grundstoffen und Katalysatoren und das Potenzial zur Energiespeicherung aus ökonomischer und ökologischer Sicht.*

## Neue Kompetenzerwartungen: eA

*... beschreiben das Grundprinzip der Photosynthese als lichtabhängige Spaltung der Wasser-Moleküle und anschließende Reduktion von Kohlenstoffdioxid-Molekülen.*

*... vergleichen die elektrochemische und photokatalytische Spaltung der Wasser-Moleküle, sowie die Möglichkeiten zur physikalischen und chemischen Wasserstoffspeicherung in technischen Verfahren und beurteilen diese im Hinblick auf die Realisierung einer „künstlichen Photosynthese“. Dabei bewerten sie den Bedarf an Grundstoffen und Katalysatoren und das Potenzial zur Energiespeicherung aus ökonomischer und ökologischer Sicht.*

***... wenden das Donator-Akzeptor-Prinzip und das Energie-Konzept an, um aktuelle Technologien zur Energiebereitstellung und -speicherung zu erklären.***

***... wenden die Faraday-Gesetze an, um Elektrolysen quantitativ zu beschreiben.***

***... reflektieren die Verwendung von Kunststoffen und Metallen unter Einbezug diverser analoger und digitaler Quellen und bewerten die Verwendung von Kunststoffen und Metallen im Hinblick auf eine nachhaltige Entwicklung.***

Neue Inhalte zu den Kompetenzerwartungen:

gA

*Grundprinzip der Photosynthese: Photolyse der Wasser-Moleküle, Reduktion von Kohlenstoffdioxid-Molekülen*

*elektrochemische und photokatalytische Spaltung der Wasser-Moleküle im Vergleich, Materialien für elektrochemische und photokatalytische Prozesse, „künstliche Photosynthese“*

*physikalische und chemische Wasserstoffspeicher, z. B. Metallhydridspeicher, „Power-to-Gas“, „Power-to-Liquid“*

## Neue Inhalte zu den Kompetenzerwartungen:

eA

*Grundprinzip der Photosynthese: Photolyse der Wasser-Moleküle, Reduktion von Kohlenstoffdioxid-Molekülen*

*elektrochemische und photokatalytische Spaltung der Wasser-Moleküle im Vergleich, **Grätzel-Zelle**, (Nano-)Materialien für elektrochemische und photokatalytische Prozesse, „künstliche Photosynthese“*

*physikalische und chemische Wasserstoffspeicher, z. B. Metallhydridspeicher, „Power-to-Gas“, „Power-to-Liquid“, **LOHC***

### **Faraday-Gesetze**

*weitere aktuelle Technologien zur Energiebereitstellung und -speicherung, z. B. **Redox-Flow-Batterie**, verschiedene Brennstoffzelltypen*

*Wertstoffkreisläufe von Kunststoffen im Zusammenhang mit Verpackungsmaterialien und von Metallen im Zusammenhang mit z. B. mobilen Endgeräten und Solartechnologien*

Wiederholung von Stoff aus den Vorjahren in grün geschrieben

	Lehrplan	Stundenthema
1	Grundprinzip der PS	Photolyse der Wasser-Moleküle, Reduktion von Kohlenstoffdioxid-Molekülen
2	Künstliche Photosynthese	Wiederholung der Brennstoffzelle aus C12 LB 8, Elektrochemische Spaltung der Wasser-Moleküle, Vergleich mit PS
3		Materialien für elektrochemische und photokatalytische Prozesse
4	Physikalische und chemische Wasserstoffspeicher	z. B. Metallhydridspeicher, Power-to-gas, Power-to-liquid
5		Bewertung des Bedarfs an Grundstoffen und Katalysatoren und das Potential zur Energiespeicherung aus ökonomischer und ökologischer Sicht
6	Korrosion	Wiederholung der elektrochemischen Spannungsreihe und des Standardpotentials aus C12 LB 8
7		Verwendung unterschiedlicher Metalle (Korrodierbarkeit in Abhängigkeit vom Standardpotential sowie Abweichungen davon; spontane Passivierung)
8		Sauerstoffkorrosion (Rosten) und Säurekorrosion
9		Kontaktkorrosion, passiver u. aktiver Korrosionsschutz (z. B. Beschichtungen), Opferanode
10		Ökologische und ökonomische Bedeutung der Korrosion

	Lehrplan	Stundenthema
1	Grundprinzip der PS	Photolyse der Wasser- Reduktion von Kohlenst
2	Künstliche Photosynthese	Wiederholung der Bren Elektrochemische Spalt
3		<b>Grätzel-Zelle</b>
4		<b>(Nano-)Materialien</b> für elektrochemische und photokatalytische Prozesse
5	Physikalische und chemische Wasserstoffspeicher	z. B. Metallhydridspeicher, Power-to-gas, Power-to-liquid, <b>LOHC</b>
6		Bewertung des Bedarfs an Grundstoffen und Katalysatoren und das Potential zur Energiespeicherung aus ökonomischer u. ökologischer Sicht <b>mit Berücksichtigung des Donator-Akzeptor- und Energie-Konzepts</b>
7		
8		
9	Elektrolyse	Wiederholung der elektrochemischen Spannungsreihe und des Standardpotentials aus C12 LB 8
10		<b>Zersetzungsspannung, Überpotential in Abhängigkeit vom Elektrodenmaterial</b>
11		<b>Chlor-Alkali-Elektrolyse nach dem Membranverfahren, ggf. weitere Beispiele</b>
12		<b>Faraday-Gesetze</b>
13		

Unterschied gA – eA fettgedruckt

14	aktuelle Technologien zur Energiebereitstellung u. Speicherung	z. B. Redox-Flow-Batterie, verschiedene Brennstoffzelltypen, Erklärung mithilfe des Donator-Akzeptors- u. Energie-Konzepts
15		
16	Wertstoffkreisläufe	Herstellung, Verwendung und Recycling von Kunststoffen im Zusammenhang mit Verpackungsmaterialien und von Metallen (z. B. in mobilen Endgeräten und Solartechnologien)
17		
18		
19		
20	Korrosion	Korrodierbarkeit in Abhängigkeit vom Standardpotential sowie Abweichungen davon; spontane Passivierung
21		Sauerstoffkorrosion (Rosten) und Säurekorrosion
22		<b>Kontaktkorrosion, passiver u. aktiver Korrosionsschutz (z. B. Beschichtung, Galvanisieren, Eloxieren, kathodischer Korrosionsschutz), Opferanode</b>
23		
24		Ökologische und ökonomische Bedeutung der Korrosion

13.5

künstliche Photosynthese  
photokatalytische Wasserspaltung  

# Kompetenzerwartungen und Inhalte

## Kompetenzerwartungen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- ▶ beschreiben das Grundprinzip der Photosynthese als lichtabhängige Spaltung der Wasser-Moleküle und anschließende Reduktion von Kohlenstoffdioxid-Molekülen.
- ▶ vergleichen die elektrochemische und photokatalytische Spaltung der Wasser-Moleküle, sowie die Möglichkeiten zur physikalischen und chemischen Wasserstoffspeicherung in technischen Verfahren und beurteilen diese im Hinblick auf die Realisierung einer „künstlichen Photosynthese“. Dabei bewerten sie den Bedarf an Grundstoffen und Katalysatoren und das Potenzial zur Energiespeicherung aus ökonomischer und ökologischer Sicht.
- ▶ wenden das Donator-Akzeptor-Prinzip und das Energie-Konzept an, um aktuelle Technologien zur Energiebereitstellung und -speicherung zu erklären.

## Inhalte zu den Kompetenzen

- ▶ Grundprinzip der Photosynthese: Photolyse der Wasser-Moleküle, Reduktion von Kohlenstoffdioxid-Molekülen
- ▶ elektrochemische und photokatalytische Spaltung der Wasser-Moleküle im Vergleich, Grätzel-Zelle, (Nano-)Materialien für elektrochemische und photokatalytische Prozesse, „künstliche Photosynthese“

## Zielsetzung

- ▶ **Bildungsstandards im Fach Chemie für die Allgemeine Hochschulreife:**
  - Inhaltsbereich: Lebenswelt und Gesellschaft
  - Energiespeicherung
- ▶ **Künstliche Photosynthese als Verfahren zur Herstellung von Energieträgern, insbesondere Wasserstoff**
  - ▶ **Schwerpunkt natürliche Photosynthese: Lichtabhängige Reaktion als photochemische Redoxreaktion, Vergleich mit Elektrolyse**
  - ▶ **keine detaillierte Behandlung von Chloroplast, Lichtsammelfalle, ATP-Synthetase, etc.**
  - ▶ **Lichtunabhängige Reaktion nur als Gesamt-Reaktion (kein Calvin-Zyklus, etc.)**

## Illustrierende Aufgaben zum LehrplanPLUS

Gymnasium, Chemie, Jahrgangsstufe 13

### Künstliche Photosynthese

Stand: Januar 2025

<b>Jahrgangsstufe</b>	13
<b>Fach</b>	Chemie
<b>Übergreifende Bildungs- und Erziehungsziele</b>	Bildung für nachhaltige Entwicklung (Umweltbildung, Globales Lernen)
<b>Zeitraumen</b>	90 min
<b>Benötigtes Material</b>	

1. Vergleichen Sie die Bedeutung des Lichts bei der photokatalytischen Spaltung von Wassermolekülen und bei der Photosynthese (Material 1).

- ▶ In beiden Fällen werden Elektronen eines Stoffes durch die Absorption von Lichtquanten angeregt und anschließend an einen Elektronenakzeptor abgegeben. Die abgegebenen Elektronen werden von einem Elektronendonator ersetzt.
- ▶ Bei der photokatalytischen Spaltung von Wasser-Molekülen wechseln Elektronen im Halbleiter  $\text{TiO}_2$  vom Valenzband in das Leitungsband, es bildet sich ein Elektron-Loch-Paar.
- ▶ Bei der Photosynthese wechseln Elektronen in Chlorophyllmolekülen vom HOMO ins LUMO.

### Material 1: Bedeutung des Lichts bei der Photosynthese und bei der photokatalytischen Spaltung von Wassermolekülen

Ein System zur **photokatalytischen Spaltung von Wasser** wurde bereits 1972 von Fujishima und Honda entwickelt. Ausgehend von diesem Experiment werden unterschiedlichen Forschungsansätze verfolgt.

Hierbei wird UV-Licht vom Halbleiter  $\text{TiO}_2$  absorbiert. Da es in einem Halbleiter sehr viele nahe beieinander liegende Energiestufen gibt, spricht man hier von Energiebändern. Normalerweise befinden sich die Elektronen im Valenzband, das vom energetisch höheren Leitungsband durch die Bandlücke getrennt ist.

Durch Absorption von Lichtquanten werden Elektronen im  $\text{TiO}_2$  angeregt. Die Elektronen wechseln vom Valenzband in das Leitungsband und werden dadurch frei beweglich. Gleichzeitig entsteht dadurch ein Atom mit einer Elektronenlücke, ein so genanntes "Loch" (Formelschreibweise:  $h^+$ ). Man spricht insgesamt von einem Elektron-Loch-Paar ( $e^-/h^+$ ).

Normalerweise rekombinieren Elektron und Loch sehr schnell wieder, das Elektron wechselt wieder in das Valenzband und die Energiedifferenz wird als Wärme frei.

Durch einen geschickten Versuchsaufbau (siehe Material 2) können die frei beweglichen Elektronen jedoch an einen Elektronen-Akzeptor abgegeben werden.

Die "Löcher" können Elektronen von einem Elektronen-Donator aufnehmen.

Ein Nachteil dieses Aufbaus besteht darin, dass die Bandlücke bei  $\text{TiO}_2$  vergleichsweise groß ist (3 eV). Die Anregung durch Lichtquanten funktioniert also nur mit UV-Licht (Wellenlänge  $< 415$  nm).

Bei der **Photosynthese** werden Lichtquanten von Chlorophyllmolekülen absorbiert. Dies funktioniert mit Licht im sichtbaren Bereich des elektromagnetischen Spektrums. Dadurch wechseln Elektronen vom HOMO ins LUMO, es entstehen angeregte Chlorophyllmoleküle (Formelschreibweise  $\text{Chl}^*$ ).

Die angeregten Elektronen können nun an einen Elektronen-Akzeptor abgegeben werden, dabei entstehen Molekülionen ( $\text{Chl}^+$ ).

$\text{Chl}^+$ -Molekülionen können wiederum Elektronen von einem Elektronen-Donator aufnehmen.

Bei diesen Elektronenübertragungen sind verschiedene Proteine beteiligt, die Kombination aus Chlorophyll- und Proteinmolekülen wird als Photosystem (PS1 bzw. PS2) bezeichnet.

2. Vergleichen Sie die drei Verfahren (Material 2) anhand folgender Tabelle:

	PEM-Elektrolyse	Photokatalytische Spaltung von Wasser-Molekülen	lichtabhängige Reaktion der Photosynthese
Elektronen-Donator			
Elektronen-Akzeptor			
Material der Anode			Chlorophyll/Proteine (PS2)
Material der Kathode			Chlorophyll/Proteine (PS1)
Produkt (Anode, +)			
Produkt (Kathode, -)			
Lichtquanten pro übertragenes Elektron			
genutztes Licht			
Lichtquanten pro übertragenes Elektron			



	PEM-Elektrolyse	Photokatalytische Spaltung von Wasser-Molekülen	lichtabhängige Reaktion der Photosynthese
Elektronen-Donator	H <sub>2</sub> O-Moleküle	H <sub>2</sub> O-Moleküle	H <sub>2</sub> O-Moleküle
Elektronen-Akzeptor	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> -Ionen	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> -Ionen	NADP <sup>+</sup> -Moleküle
Material der Anode	Pt	TiO <sub>2</sub>	Chlorophyll/Proteine (PS2)
Material der Kathode	Pt	Pt	Chlorophyll/Proteine (PS1)
Produkt (Anode, +)	Sauerstoff	Sauerstoff	Sauerstoff
Produkt (Kathode, -)	Wasserstoff	Wasserstoff	NAPH/H <sup>+</sup>
Spannungsquelle notwendig	ja	nein	nein
genutztes Licht	-	UV-Licht	sichtbares Licht
Lichtquanten pro übertragenes Elektron	-	1	2

## Aktueller Stand der Entwicklung

3. Recherchieren Sie zu aktuellen Entwicklungen im Bereich „Künstliche Photosynthese“ und stellen Sie ihre Ergebnisse in Form einer kleinen Präsentation dar.

### Aktuelle Forschungsansätze (Stand: Juni 2025)

- ▶ Variation des Halbleitermaterials zur Optimierung des genutzten Lichtanteils
- ▶ Beschichtung der Elektroden mit Katalysatoren zur Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit
- ▶ Nanomaterialien als Katalysatoren
- ▶ Photokatalytische Reduktion an der Kathode (zusätzlich zur photokatalytischen Oxidation an der Anode)
- ▶ Kohlenstoffdioxid als Elektronen-Akzeptor

### Weitere Möglichkeiten im Unterricht

- ▶ aktuelle Artikel zur Verfügung stellen
- ▶ KI-Unterstützung zur Recherche und Aufbereitung der Informationen

# 13.5

## physikalische und chemische Wasserstoffspeicher



## Begründung der neuen Lehrplaninhalte

Ziel: Energiewende

Problem: Stromproduktion durch erneuerbare Energien ist Schwankungen unterworfen

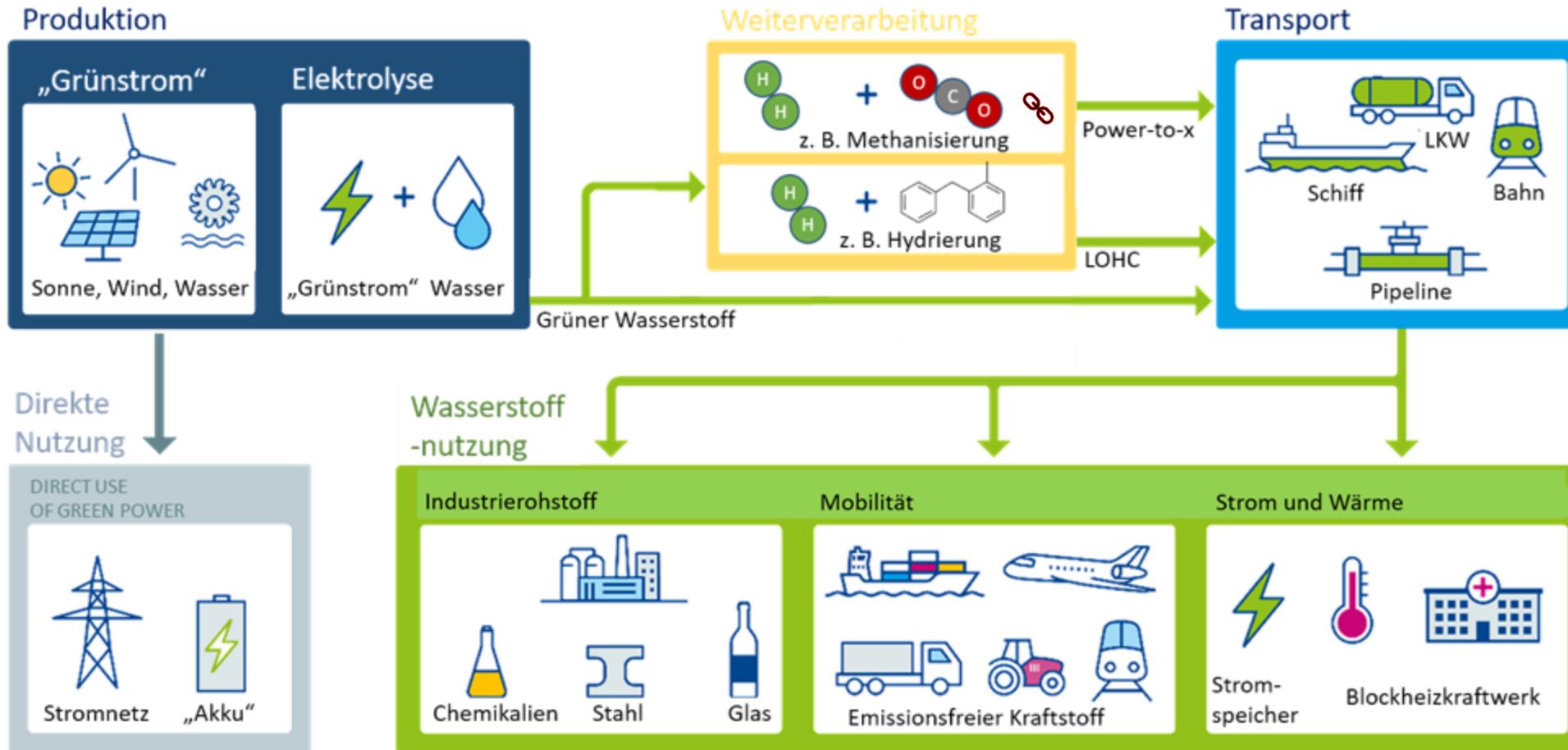
- ▶ wetterabhängig
- ▶ z. T. antizyklisch zu Energiebedarf und -angebot
- ▶ Ort der Energiegewinnung  $\neq$  Ort des Energiebedarfs (z. B. off-shore Windparks)

Folge: Wechsel aus Bedarf und Netzüberlastung

Lösung: Energiespeicher, z. B.

- ▶ Mechanische: Pumpspeicherwerke (=> Physik)
- ▶ Chemische: Wasserstoffspeicher (Metallhydrid-Speicher, Power-to-gas, Power-to-liquid, **LOHC**)
- ▶ Elektrochemische: große Akkumulatoren (z. B. **Redox-Flow-Batterien**)

# Die Rolle von Wasserstoff(speichern) in einem erneuerbarem Energiesystem



Quelle: Abbildung entnommen und leicht verändert vom Vortrag von Dr. Michael Geißelbrecht „Chemical Hydrogen Storage“ vom 10.03.25, ALP Fachlichkeit und Führung

## Aufgabenbeispiel „Power-to-x“ eA

Berechnen Sie anhand der Reaktionsgleichung und der Standardreaktionsenthalpien den Wirkungsgrad für die Methanisierung (Wirkungsgrad = Verhältnis der Standardreaktionsenthalpien für die Verbrennung von Methan und Wasserstoff). Erklären Sie Ihr Ergebnis.

- ▶ Standardreaktionsenthalpie für die Verbrennung von Wasserstoff:  $\Delta_R H^\circ = -285,8 \text{ kJ/mol}$
- ▶ Standardreaktionsenthalpie für die Verbrennung von Methan:  $\Delta_R H^\circ = -802,4 \text{ kJ/mol}$



*Wirkungsgrad:* 
$$\frac{\Delta_R H^\circ (\text{CH}_4)}{4 \Delta_R H^\circ (\text{H}_2)} = \frac{-802,4 \text{ kJ/mol}}{4(-285,8 \text{ kJ/mol})} = 0,7 \Rightarrow 70\%$$

*Jede Energieumwandlung geht mit einer Energieentwertung einher.*

## Herausforderungen bei der Nutzung von Wasserstoff als Energieträger

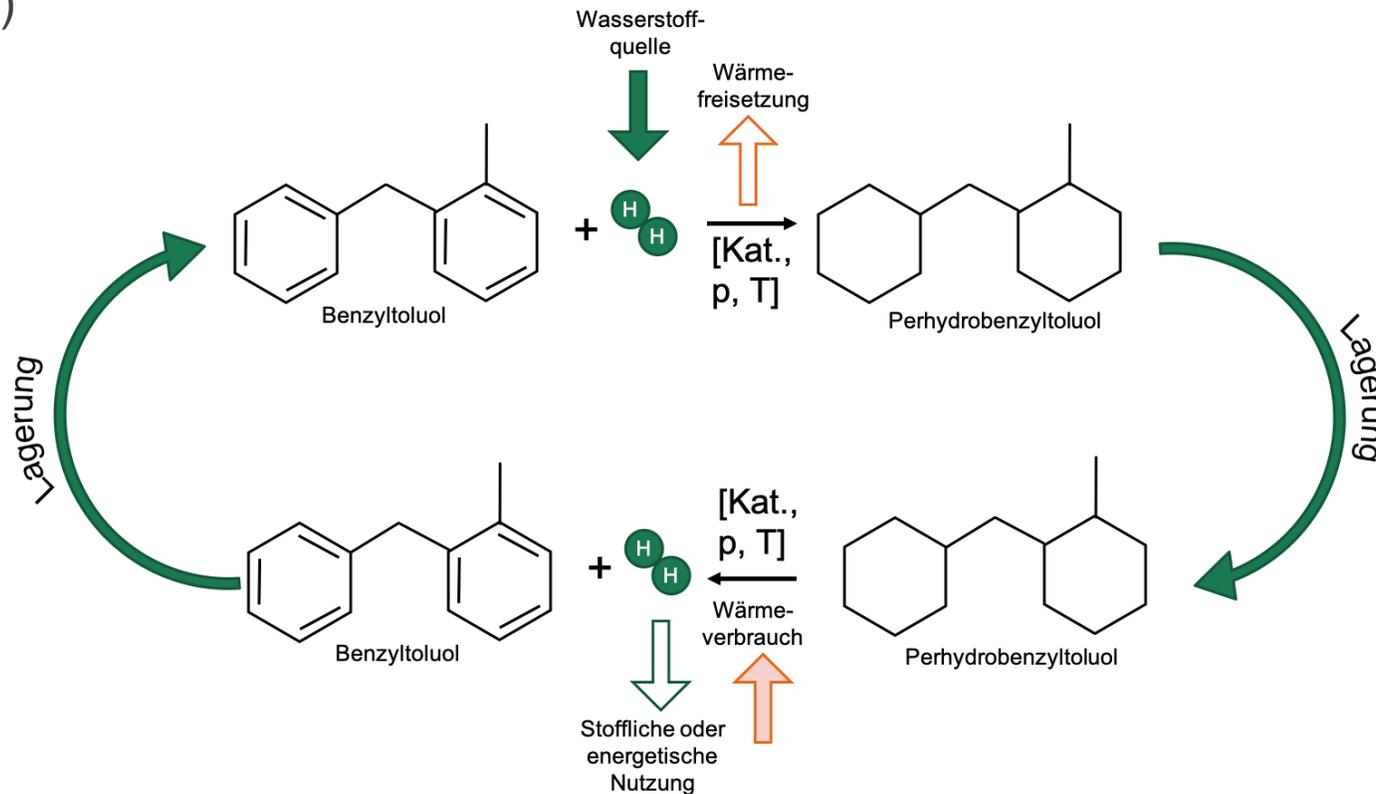
Grund: geringe volumetrische Energiedichte von Wasserstoff bei Umgebungsbedingungen

Energieträger	Volumetrische Energiedichte	Vorteile/Nachteile
Erdgas, 200 bar	2,2 kWh/L	
Wasserstoff, 350 bar	0,8 kWh/L	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energie für Kompression/Verflüssigung nötig</li> <li>• Aufbau einer Infrastruktur für den Transport und Speicherung von Druckwasserstoff bzw. Flüssigwasserstoff nötig</li> <li>• Boil-Off-Verluste bei Flüssigwasserstoff</li> </ul>
Wasserstoff, 700 bar	1,3 kWh/L	
Wasserstoff, verflüssigt	2,4 kWh/L	
Metallhydrid-speicher	1,2 kWh/L	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energie für Wasserstofffreisetzung nötig</li> <li>• langsame Reaktionskinetik (Wasserstoff muss durch Feststoff diffundieren)</li> </ul>
<b>LOHC</b>	2 kWh/L	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzung der bestehende Infrastruktur zur Lagerung und Verteilung fossiler Energieträger</li> </ul>

# LOHC = Liquid Organic Hydrogen Carrier



- ▶ Zur Speicherung und zum Transport wird Wasserstoff an flüssige organische Wasserstoffträger (z. B. Benzyltoluol) gebunden (**Hydrierung**)
- ▶ Bei Bedarf wird Wasserstoff von der Trägerflüssigkeit freigesetzt (**Dehydrierung**)



# 13.5 Farraday-Gesetze

# Faraday-Gesetze

## 1. Faradaysches Gesetz

Die Stoffmenge, die an einer Elektrode während der Elektrolyse abgeschieden wird, ist proportional zur elektrischen Ladung (Q), die durch den Elektrolyten geschickt wird.

## 2. Faradaysches Gesetz

Die durch eine bestimmte Ladungsmenge (Q) abgeschiedene Masse eines Elements ist proportional zur Atommasse des abgeschiedenen Elements und umgekehrt proportional zu seiner Ionenladung.

Aus 1. Faraday-Gesetz:  $Q \sim n(X) \rightarrow Q = k \cdot n(X)$

Bestimmung von k über Elektrolysen bei unterschiedlichen Stromstärken und Bestimmung der Stoffmenge des abgeschiedenen Stoffes.

$$k = z \cdot 96485 \text{ As/mol} = z \cdot F$$

$$\rightarrow Q = z \cdot n(X) \cdot F$$

Zusätzlich gilt:  $Q = I \cdot t$

Beispielaufgaben:

Berechnen Sie die Masse der Kupferportion, die aus einer Kupfer(II)-chlorid-Lösung mit einer Stromstärke von  $I = 0,8 \text{ A}$  innerhalb von  $t = 250 \text{ s}$  abgeschieden wird?

Geg:  $I = 0,8 \text{ A}$ ,  $t = 250 \text{ s}$ ,  $M(\text{Cu}) = 63,54 \text{ g/mol}$ ,  $F = 96485 \text{ As/mol}$ ,  $z = 2$

Ges:  $m(\text{Cu})$

$$Q = z \cdot n(\text{X}) \cdot F = z \cdot \frac{m(\text{Cu})}{M(\text{Cu})} \cdot F \quad \rightarrow \quad m(\text{Cu}) = \frac{Q \cdot M(\text{Cu})}{z \cdot F} = \frac{I \cdot t \cdot M(\text{Cu})}{z \cdot F} = \frac{0,8 \text{ A} \cdot 250 \text{ s} \cdot 63,54 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{2 \cdot 96485 \frac{\text{As}}{\text{mol}}} = 0,066 \text{ g}$$

Bei der Elektrolyse einer unbekanntes Silberchlorid-Lösung mit der Stromstärke  $I = 2 \text{ A}$  werden  $1342 \text{ mg}$  Silber abgeschieden. Berechnen Sie die Dauer der Elektrolyse!

Geg:  $I = 2 \text{ A}$ ,  $m(\text{Ag}) = 1,342 \text{ g}$ ,  $F = 96485 \text{ As/mol}$ ,  $z = 1$ ,  $M(\text{Ag}) = 107,86 \text{ g/mol}$

Ges:  $t$

$$Q = z \cdot n(\text{X}) \cdot F \quad \rightarrow \quad I \cdot t = z \cdot \frac{m(\text{Ag})}{M(\text{Ag})} \cdot F \quad \rightarrow \quad t = \frac{z \cdot m(\text{Ag}) \cdot F}{I \cdot M(\text{Ag})} = \frac{1 \cdot 1,342 \text{ g} \cdot 96485 \frac{\text{As}}{\text{mol}}}{2 \text{ A} \cdot 107,86 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 600 \text{ s}$$

Beispielaufgaben:

Die Kapazität einer typischen Alkali-Mangan-Batterie beträgt 2000 mAh.  
Der Hersteller gibt an, dass sich in der Batterie weniger als 5 g Zink befinden.

Kann die Herstellerangabe korrekt sein?

Geg.:  $Q = 2000 \text{ mAh}$ ,  $z = 2$ ,  $F = 96485 \text{ As/mol}$

Ges.  $m(\text{Zn})$

$$Q = z \cdot n(\text{Zn}) \cdot F = z \cdot \frac{m(\text{Zn})}{M(\text{Zn})} \cdot F \rightarrow m(\text{Zn}) = \frac{Q \cdot M(\text{Zn})}{z \cdot F} = \frac{2000 \text{ mAh} \cdot 65,41 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{2 \cdot 96485 \frac{\text{As}}{\text{mol}}} = \frac{2 \text{ A} \cdot 3600 \text{ s} \cdot 65,41 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{2 \cdot 96485 \frac{\text{As}}{\text{mol}}} = 2,44 \text{ g}$$

Anmerkung:  $Q = I \cdot t \rightarrow 1 \text{ As} = 1 \text{ C}$ ;  $1 \text{ Ah} = 3600 \text{ As} = 3600 \text{ C}$

# 13.5

## Redox-Flow-Akku

# Redox-Flow-Batterie – Wdh. Bleiakku

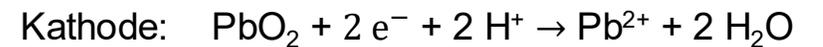
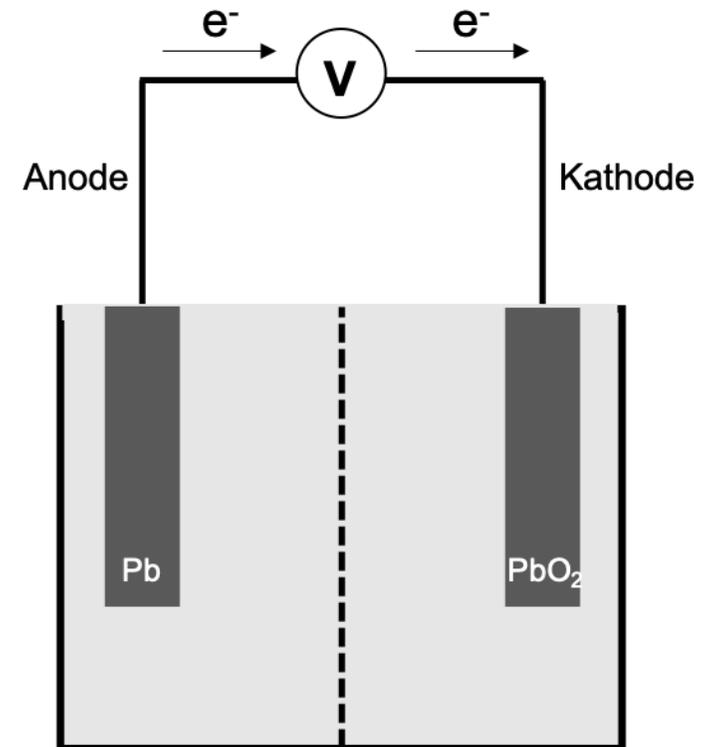


Bei konventionellen Batterien gilt:

Je größer die **Elektroden** (= Metall in Elektrolyt-Lsg.)

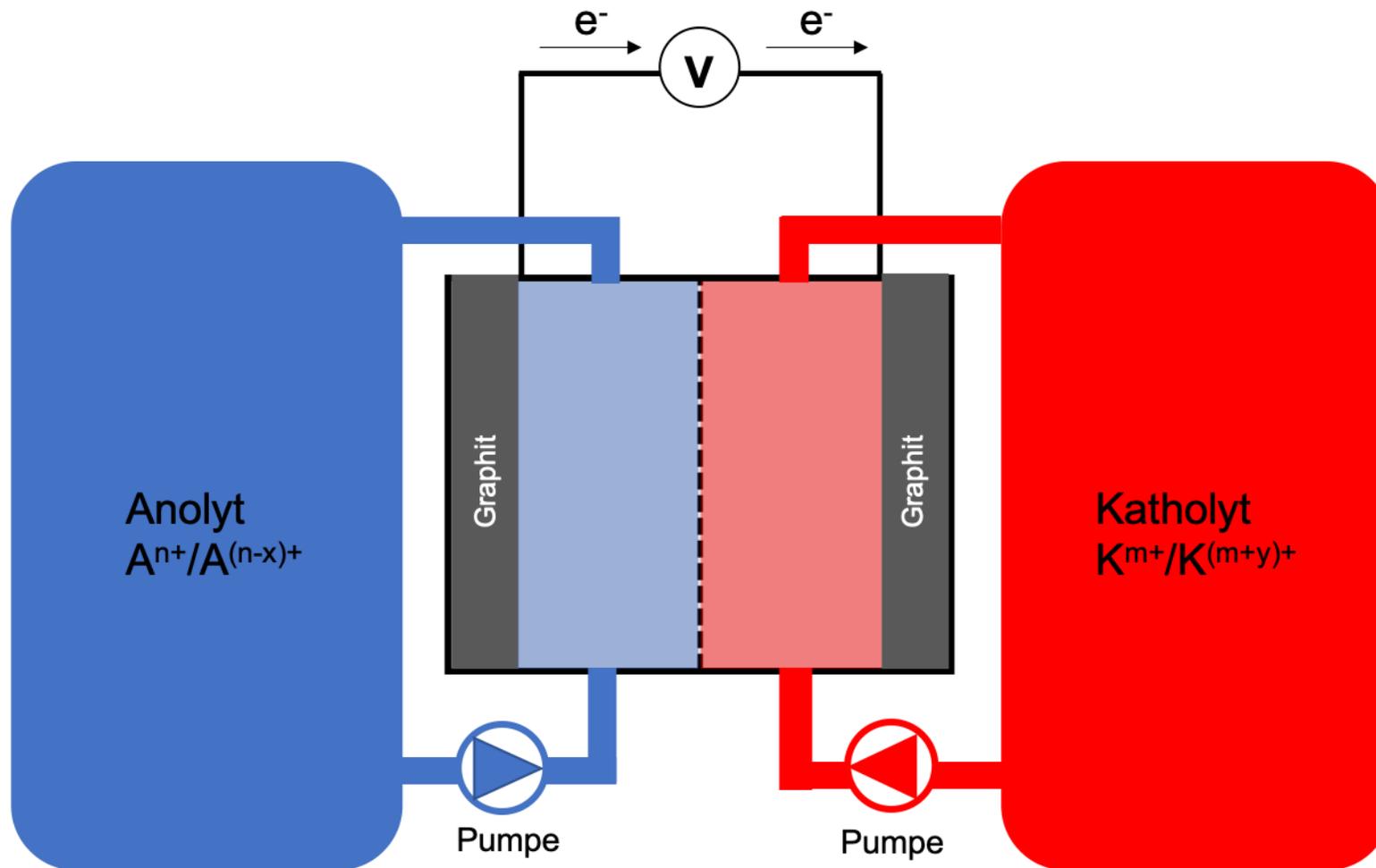
desto mehr **elektrische Energie** (in kWh) wird gespeichert und

desto größer ist die **Leistung** (in kW) der Batterie.



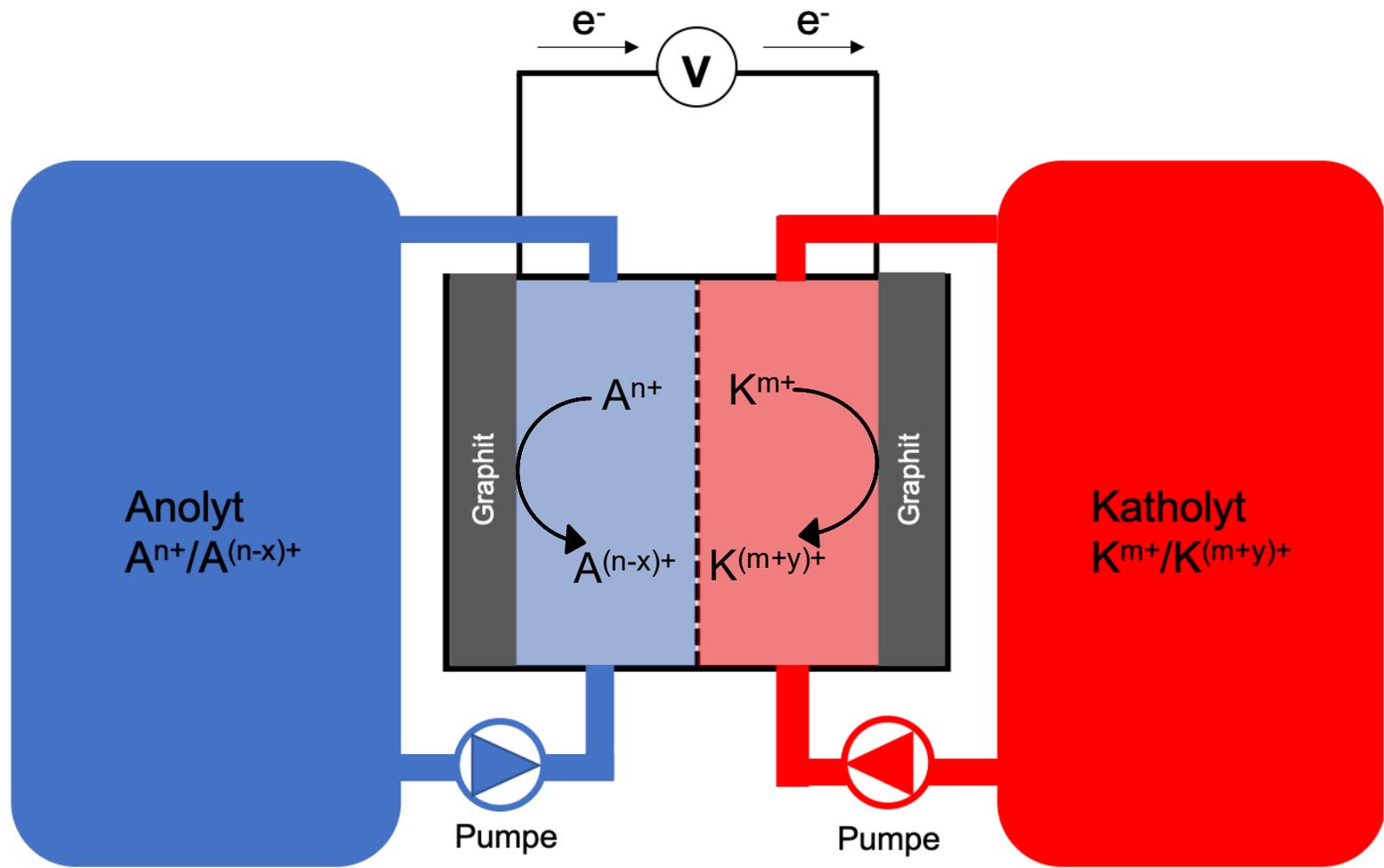
# Redox-Flow-Batterie – Aufbau-

eA



# Redox-Flow-Batterie – Entladen –

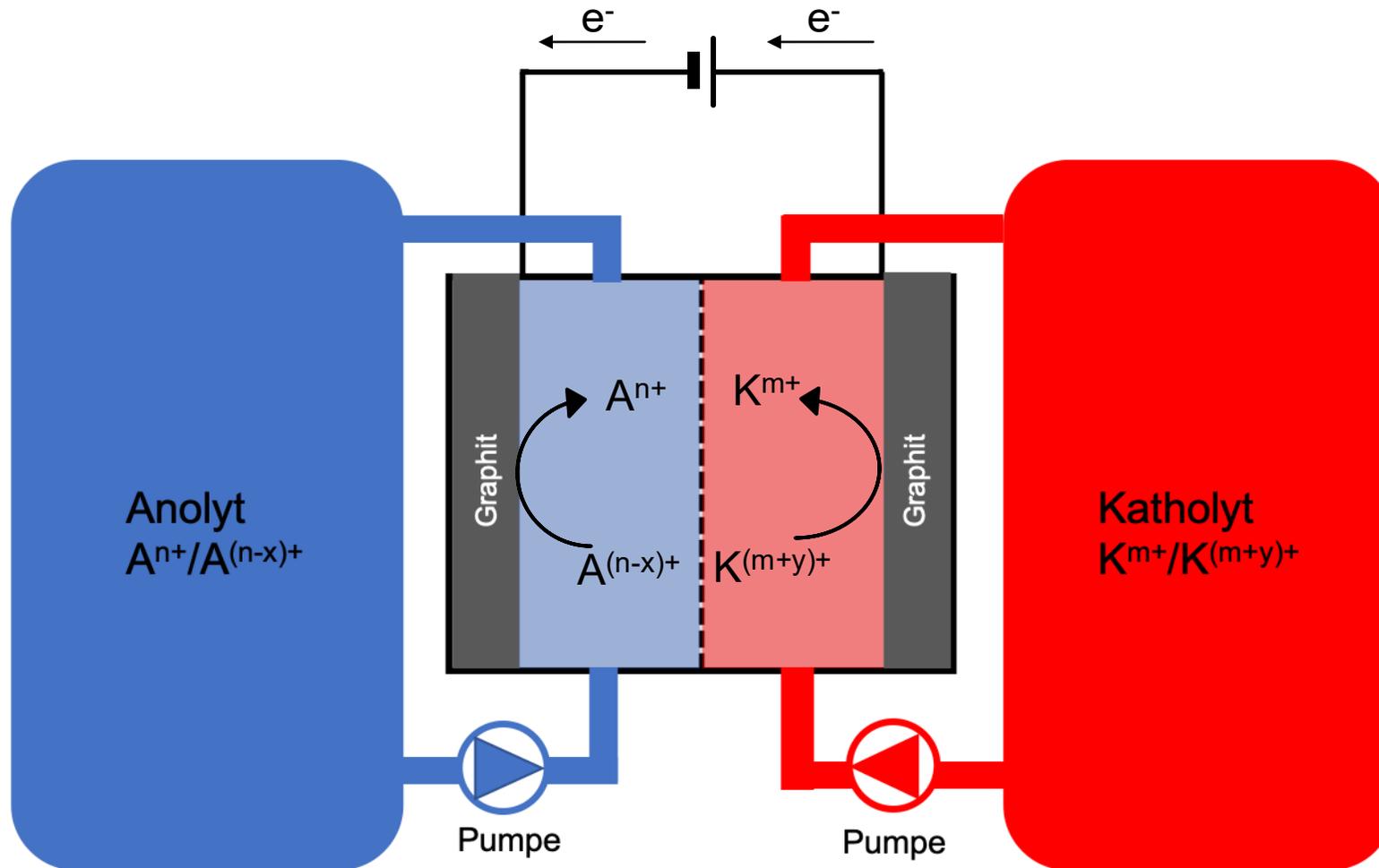
eA



# Redox-Flow-Batterie

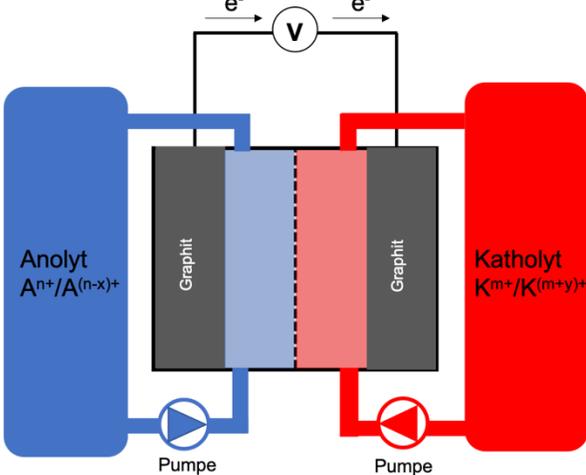
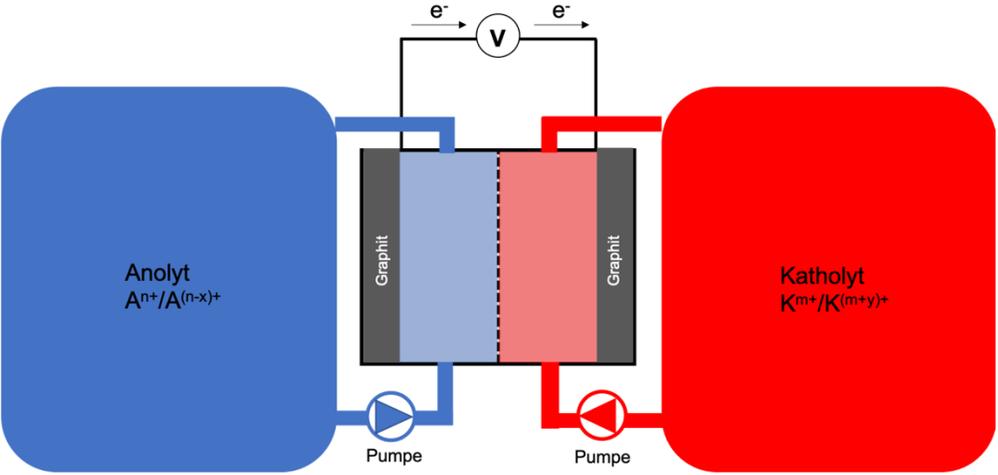
– Laden

eA



# Redox-Flow-Batterie - Besonderheit eA

**Energie** (Größe der Tanks) und **Leistung** (Elektrodenoberfläche und Stacks) können unabhängig voneinander skaliert werden.



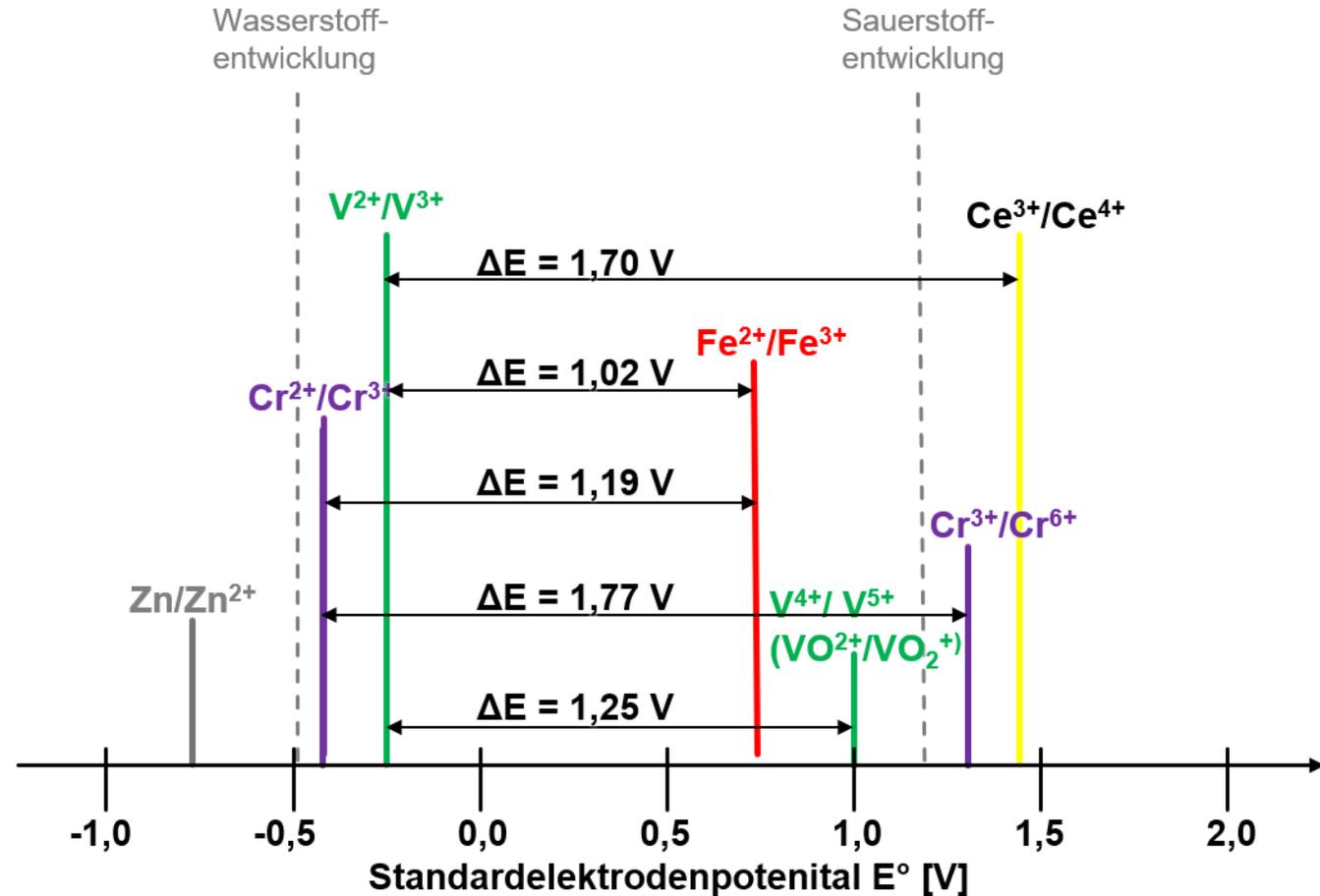
# Redox-Flow-Batterie

## - Auswahl der Redoxpaare -

eA

Man benötigt redoxaktive Stoffe, die

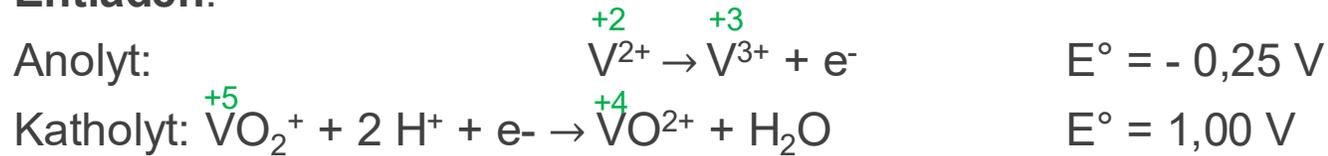
- ▶ sich in Wasser lösen lassen
- ▶ ein negatives Potential besitzen



## Beispiel: All-Vanadium-Redox-Flow-Batterie



### Entladen:



$$\Delta E = E^\circ(\text{Kathode}) - E^\circ(\text{Anode}) = 1,00 \text{ V} - (-0,25 \text{ V}) = 1,25 \text{ V}$$

### Vorteil:

- ▶ Alle vier Oxidationsstufen des Vanadiums werden genutzt
- ⇒ bei einem möglichen Ionen-Cross-Over können Elektrolyte relativ einfach aufbereitet werden

### Nachteil:

- ▶ Abscheidung von Vanadium innerhalb der Membran möglich
- ▶ Oxidation von Wassermolekülen zu Sauerstoffmolekülen durch  $VO_2^{+}$ -Ionen möglich

## Redox-Flow-Batterie im Vergleich



Akku	Gravimetrische Energiedichte (Wh/kg)	Volumetrische Energiedichte (kWh/m <sup>3</sup> )	Lebensdauer in Zyklen
Blei-Säure-Akku	25-40	25-65	203-1.500
Nickel-Akku	55-75	60-105	350-2.000
Lithium-Akku	110-190	190-375	400-6.000
Redox-Flow-Akku	16-41	20-60	7.000-15.000

=> Redox-Flow-Batterien sind als stationäre Energiespeicher geeignet

# 13.5

## Wertstoffkreisläufe

## **Kompetenzerwartung:**

*Die Schülerinnen und Schüler...*

*... reflektieren die Verwendung von Kunststoffen und Metallen unter Einbezug diverser analoger und digitaler Quellen und bewerten die Verwendung von Kunststoffen und Metallen im Hinblick auf eine nachhaltige Entwicklung.*

## **Inhalt**

Wertstoffkreisläufe von Kunststoffen im Zusammenhang mit Verpackungsmaterialien und von Metallen im Zusammenhang mit z. B. mobilen Endgeräten und Solartechnologien

# Anwendung des Kreislaufprinzips auf High-Tech-Metalle

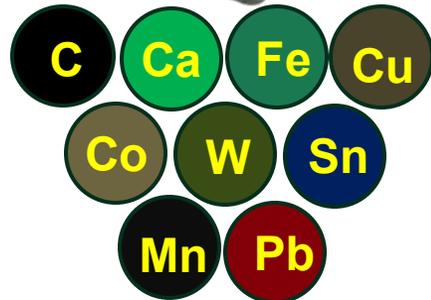
Am Beispiel Smartphone



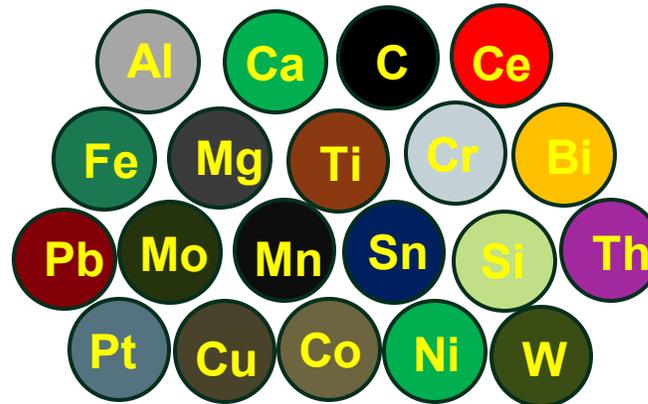
# Welt im Wandel - Ressourcen entscheiden



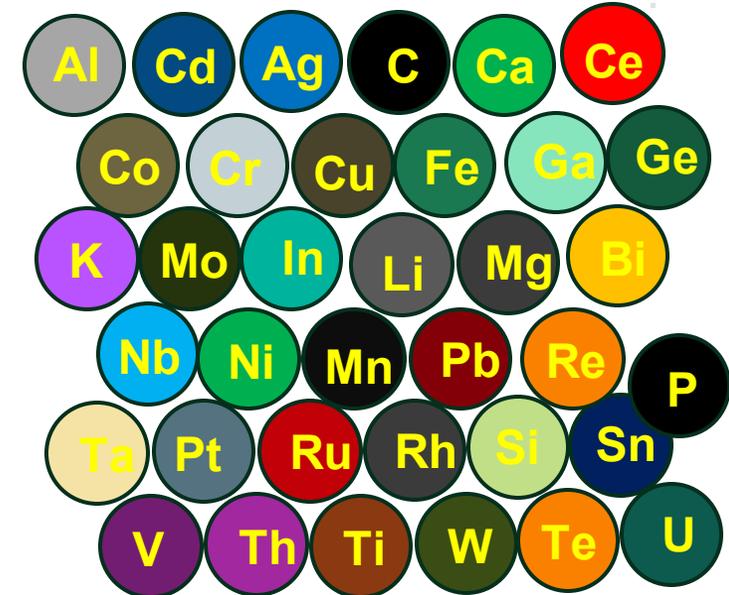
1700



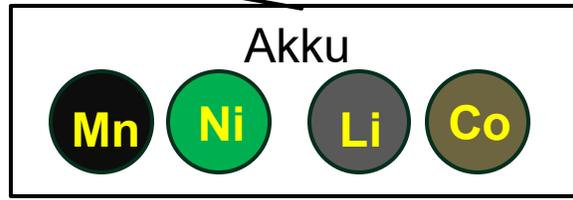
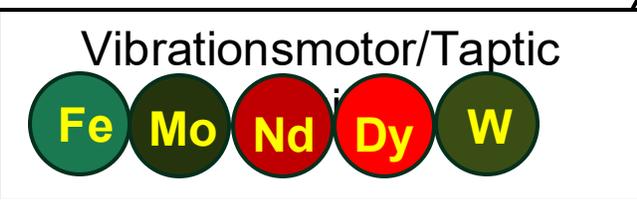
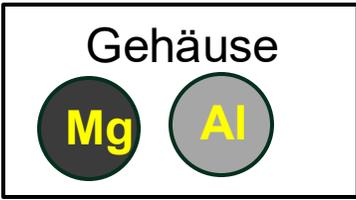
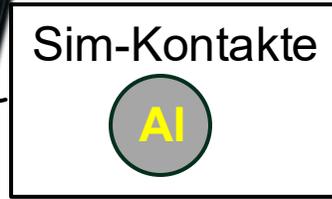
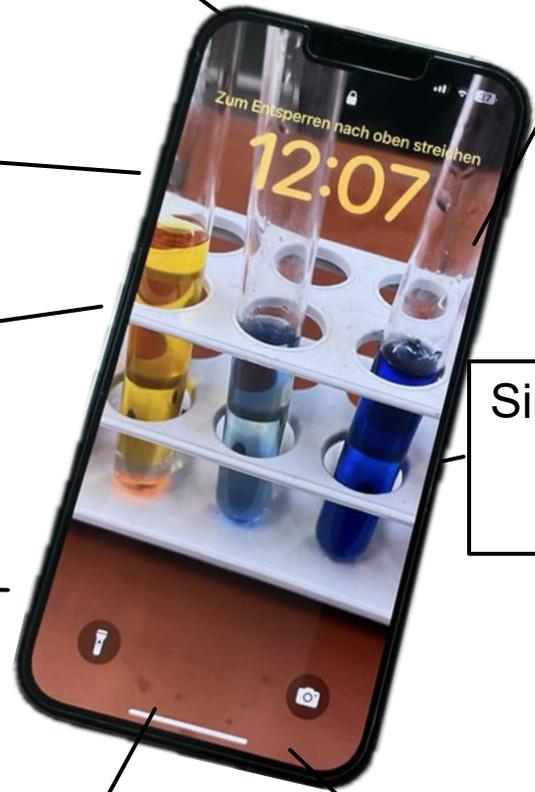
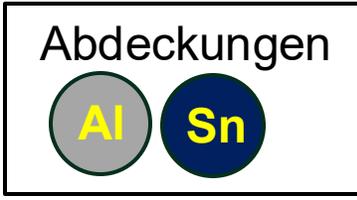
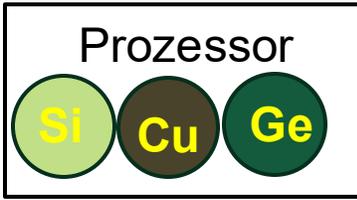
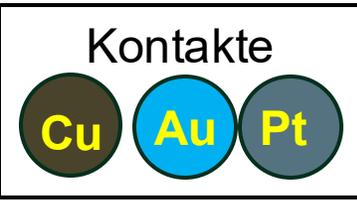
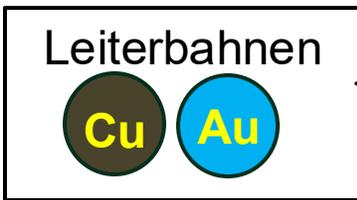
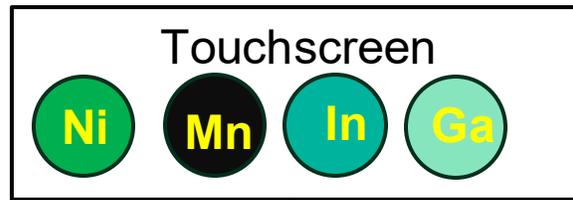
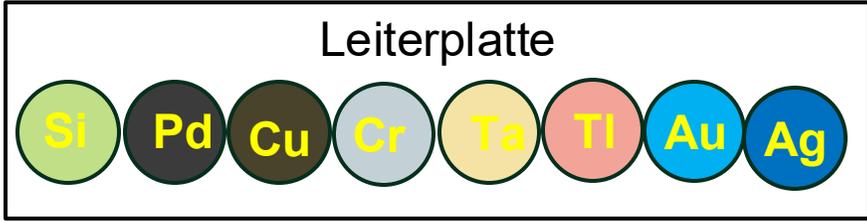
1800



1900



2000

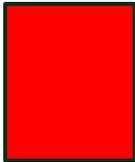


1																	2
3 Li	4											5	6	7	8	9	10
11	12 Mg											13 Al	14 Si	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30	31 Ga	32 Ge	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42 Mo	43	44	45	46 Pd	47 Ag	48	49 In	50 Sn	51	52	53	54
55	56	57-71	72	73 Ta	74 W	75	76	77	78 Pt	79 Au	80	81 Tl	82	83	84	85	86

57	58	59 Pr	60 Nd	61	62	63	64	65	66 Dy	67	68	69	70	71
----	----	----------	----------	----	----	----	----	----	----------	----	----	----	----	----

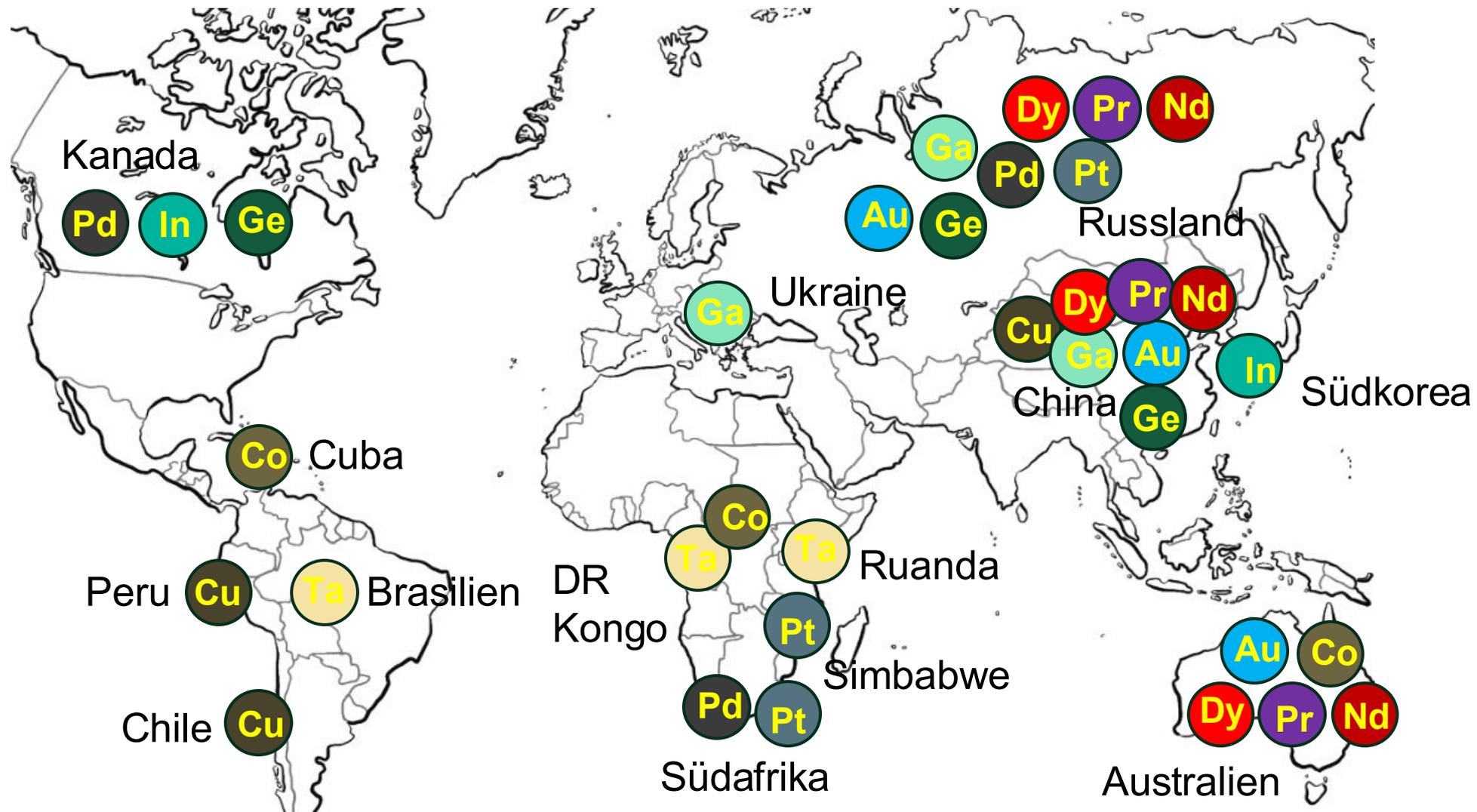
# Bedarfe an High-Tech-Metallen

1 <b>H</b>																	2 <b>He</b>						
3 <b>Li</b>	4 <b>Be</b>																	5 <b>B</b>	6 <b>C</b>	7 <b>N</b>	8 <b>O</b>	9 <b>F</b>	10 <b>Ne</b>
11 <b>Na</b>	12 <b>Mg</b>																	13 <b>Al</b>	14 <b>Si</b>	15 <b>P</b>	16 <b>S</b>	17 <b>Cl</b>	18 <b>Ar</b>
19 <b>K</b>	20 <b>Ca</b>	21 <b>Sc</b>	22 <b>Ti</b>	23 <b>V</b>	24 <b>Cr</b>	25 <b>Mn</b>	26 <b>Fe</b>	27 <b>Co</b>	28 <b>Ni</b>	29 <b>Cu</b>	30 <b>Zn</b>	31 <b>Ga</b>	32 <b>Ge</b>	33 <b>As</b>	34 <b>Se</b>	35 <b>Br</b>	36 <b>Kr</b>						
37 <b>Rb</b>	38 <b>Sr</b>	39 <b>Y</b>	40 <b>Zr</b>	41 <b>Nb</b>	42 <b>Mo</b>	43 <b>Tc</b>	44 <b>Ru</b>	45 <b>Rh</b>	46 <b>Pd</b>	47 <b>Ag</b>	48 <b>Cd</b>	49 <b>In</b>	50 <b>Sn</b>	51 <b>Sb</b>	52 <b>Te</b>	53 <b>I</b>	54 <b>Xe</b>						
55 <b>Cs</b>	56 <b>Ba</b>	57-71	72 <b>Hf</b>	73 <b>Ta</b>	74 <b>W</b>	75 <b>Re</b>	76 <b>Os</b>	77 <b>Ir</b>	78 <b>Pt</b>	79 <b>Au</b>	80 <b>Hg</b>	81 <b>Tl</b>	82 <b>Pb</b>	83 <b>Bi</b>	84 <b>Po</b>	85 <b>At</b>	86 <b>Rn</b>						
		57 <b>La</b>	58 <b>Ce</b>	59 <b>Pr</b>	60 <b>Nd</b>	61 <b>Pm</b>	62 <b>Sm</b>	63 <b>Eu</b>	64 <b>Gd</b>	65 <b>Tb</b>	66 <b>Dy</b>	67 <b>Ho</b>	68 <b>Er</b>	69 <b>Tm</b>	70 <b>Yb</b>	71 <b>Lu</b>							



kritisch

# Abbauorte der in Smartphones verbauten Metalle (die drei wichtigsten Abbauländer)



## Vorschläge für die unterrichtliche Umsätze

- Information über Smartphone Metalle
- Bergbau und Metallherstellung bzw. Smartphonerecycling: Ablauf, technischer Vorgang
- Vergleich vom Aufwand, ein bestimmtes Metall aus der Natur zu gewinnen oder durch Recycling: energetisch, ökonomisch, ökologisch
- Kreislaufwirtschaft vs. Linearwirtschaft (Wegwerfgesellschaft)

# Anwendung des Kreislaufprinzips auf Verpackungskunststoffe



Beispiel PET-Flaschen

Beispiel Folien in der Landwirtschaft

# Kunststoff-Recycling



## Begriffe:

- Werkstoffliche Verwertung (17% in D 2017)
- Rohstoffliche Verwertung (1% in D 2017)
- Energetische Verwertung (69% in D 2017) (13% Kunststoffmüll wurden exportiert)

Quelle: Tamara Worzewski: *Zurück in den Kreislauf*. Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, 5. Oktober 2020, S. 5.

## Werkstoffliche Verwertung

Idealfall: Der verwendete Kunststoff ist sortenrein und kann gesäubert, geschreddert, eingeschmolzen und zu neuen Produkten gespritzt werden.

Voraussetzung: Ein Produkt – ein Kunststoff z.B. PET-Flaschen

Nicht ideal: kein sortenreiner Kunststoff: nur Herstellung dickwandiger Kunststoffprodukte möglich, z.B. Blumenkübel, Zaunpfähle (sog. Downcycling)

## Rohstoffliche Verwertung

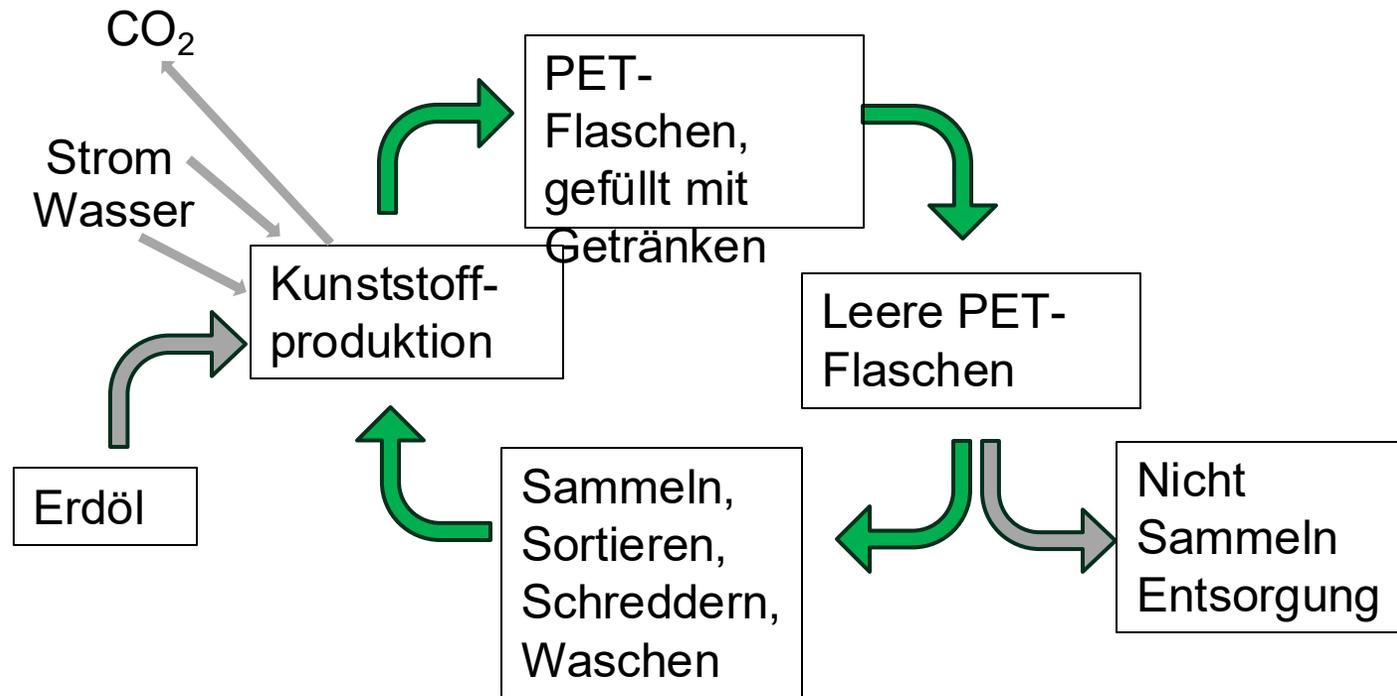


## Energetische Verwertung

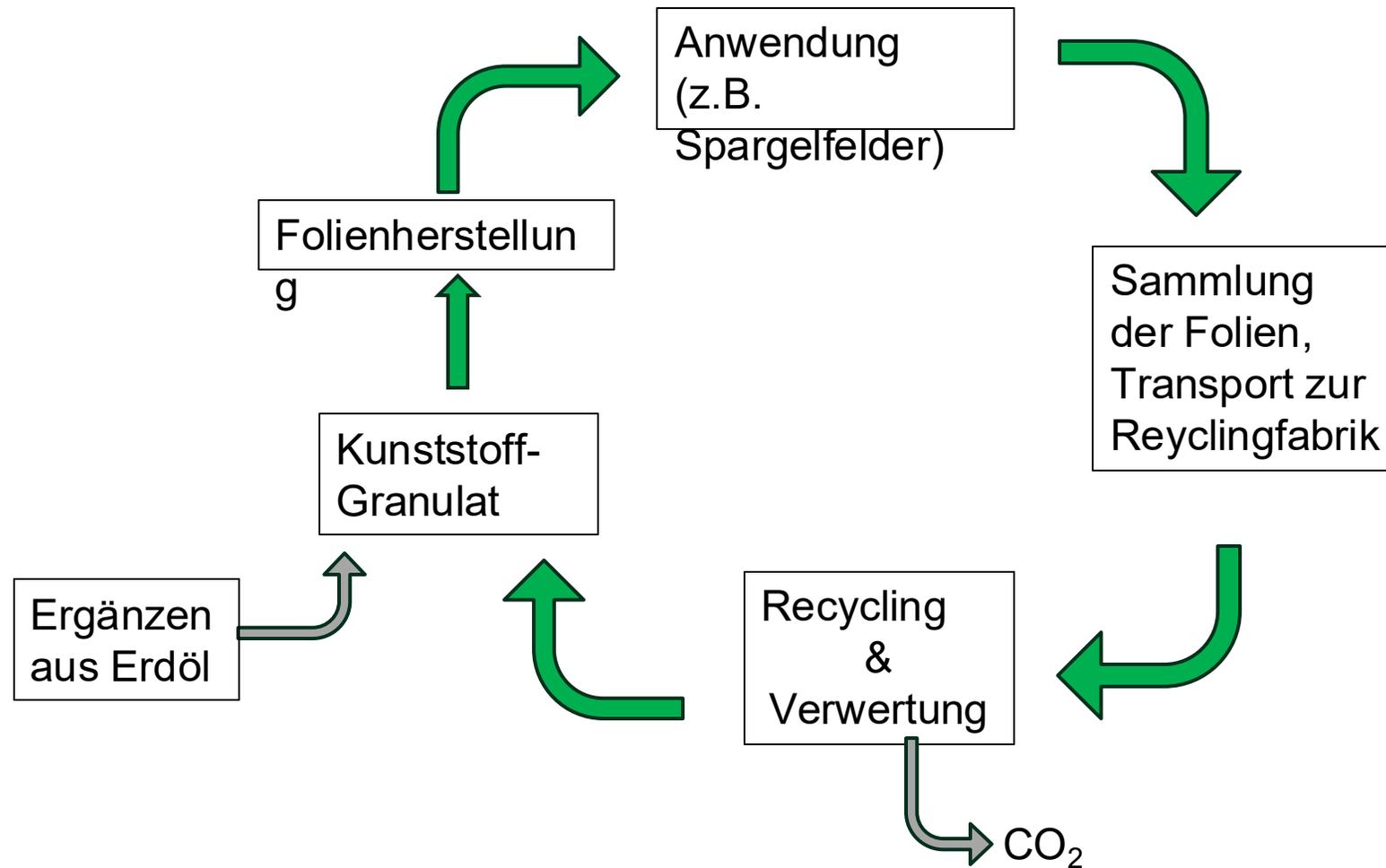
Verbrennung in

- Müllverbrennungskraftwerken
- Zementwerken

# Kunststoff-Recycling am Beispiel PET-Flaschen



# Kunststoff-Recycling am Beispiel Erntekunststoffe



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

weitere Fragen?

