Chemische Verbrennung

Christopher Rank

Sommerakademie
Salem 2008

Gliederung

- Die chemische Verbrennung
  - → Definition
  - → Voraussetzungen
  - → Verbrennungsgeschwindigkeit
- Energetische Betrachtung
  - → Exotherme Reaktion
  - → Reaktionsenthalpie
  - → Heizwert
- Atomphysikalische Basis
  - → Redoxreaktionen
  - → Bohrsches Atommodell
- technische Verbrennungsprozesse
  - → Elektrochemie: Brennstoffzelle
  - → Wasserstoff, Methan, Benzin, Kohle
  - → Schadstoffe

Definition

Chemische Verbrennung
↓
Energetische Betrachtung
↓
Atomphysikalische Basis
↓
technische Verbrennungsprozesse

- eine Verbrennung ist eine chemische Reaktion eines Stoffes mit Sauerstoff (Antoine Lavoisier, 1774)

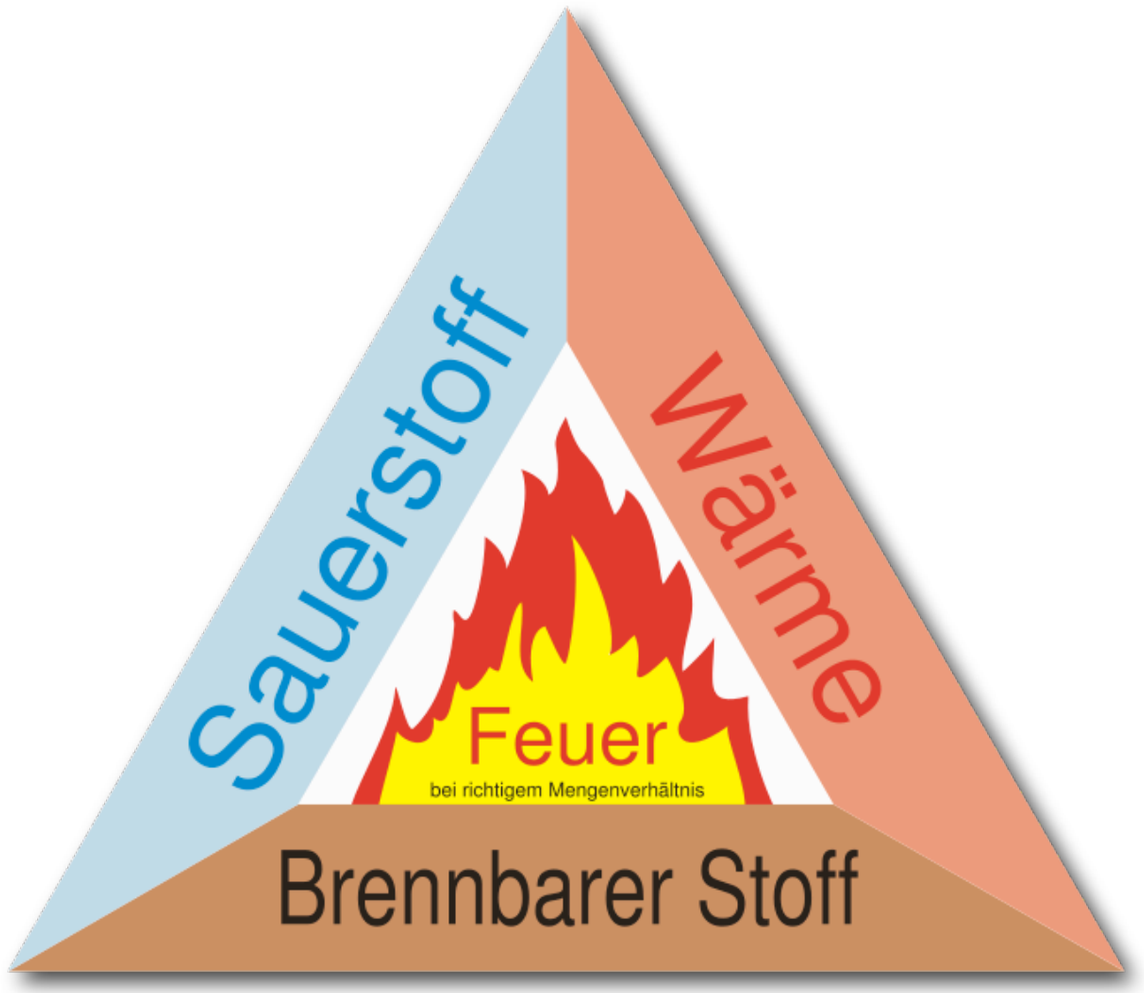
- die dabei entstehenden neuen Verbindungen heißen Oxide
  → Oxidation

- (schnelle) Verbrennung mit Feuererscheinung
  → Wärme wird frei

- langsame, stille Oxidation

Voraussetzungen

Chemische Verbrennung
↓
Energetische Betrachtung
↓
Atomphysikalische Basis
↓
technische Verbrennungsprozesse

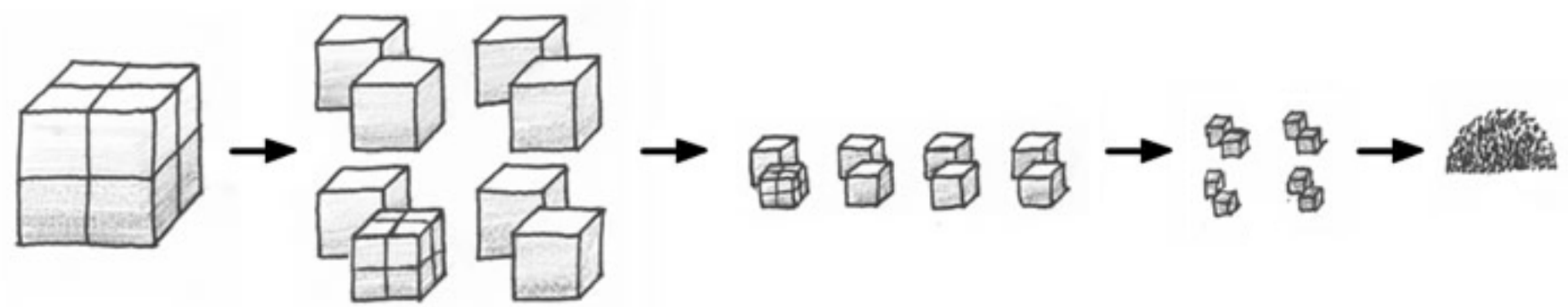


- brennbarer Stoff in ausreichender Menge
- Oxidationsmittel, meist Sauerstoff
- ausreichend hohe Entzündungstemperatur

Verbrennungsgeschwindigkeit

- Verfügbarkeit von Sauerstoff als Oxidationsmittel

- Kontakt zwischen Brennmaterial und Sauerstoff
  → Vergrößerung der Oberfläche



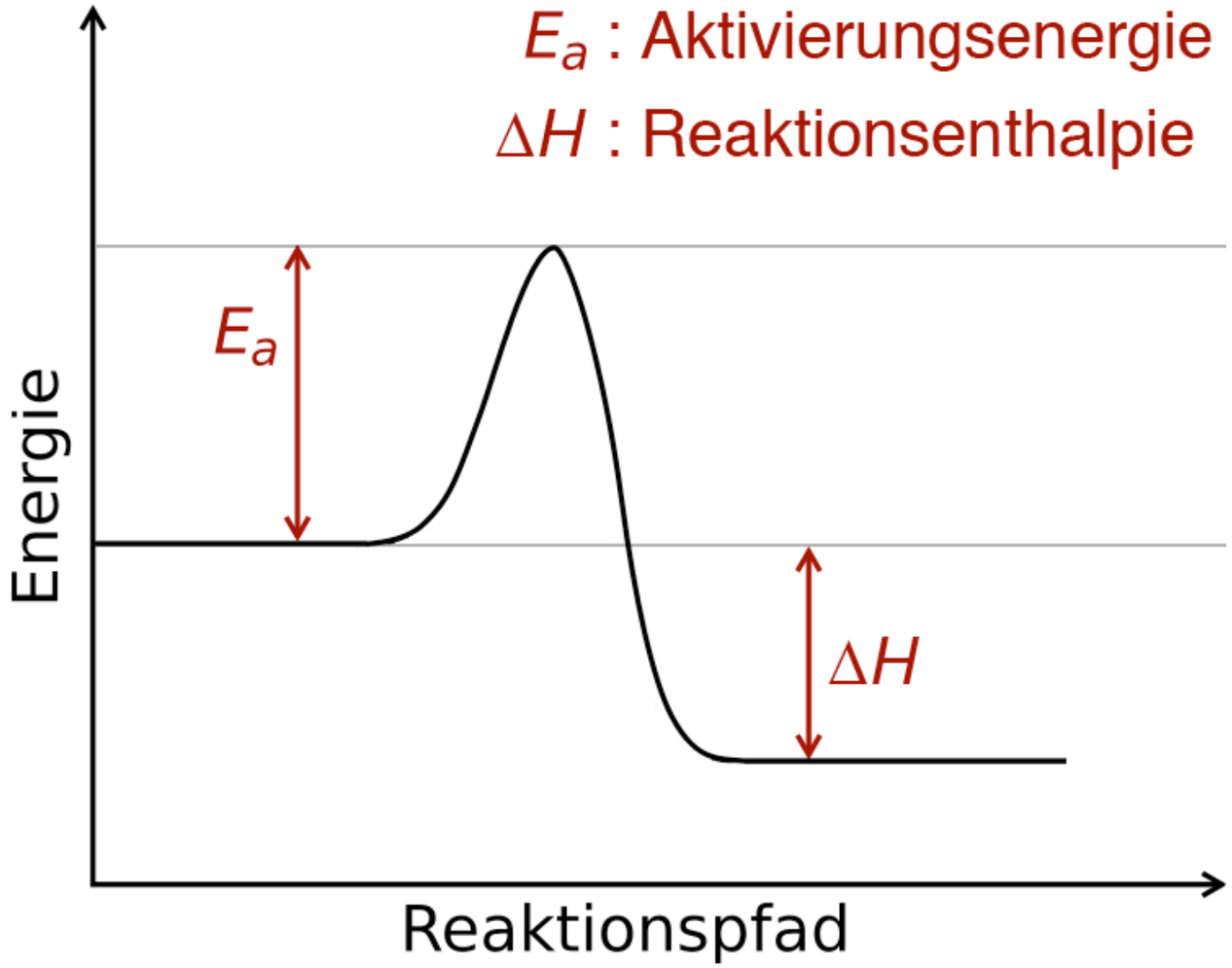
- Temperatur (wegen RGT-Regel): Temperaturerhöhung um 10 K
  → Reaktionsgeschwindigkeit steigt um das 2 bis 4-fache

→ Unterscheidung Feuer, Explosion

Exotherme Reaktion

Chemische Verbrennung
↓
Energetische Betrachtung
↓
Atomphysikalische Basis
↓
technische Verbrennungsprozesse

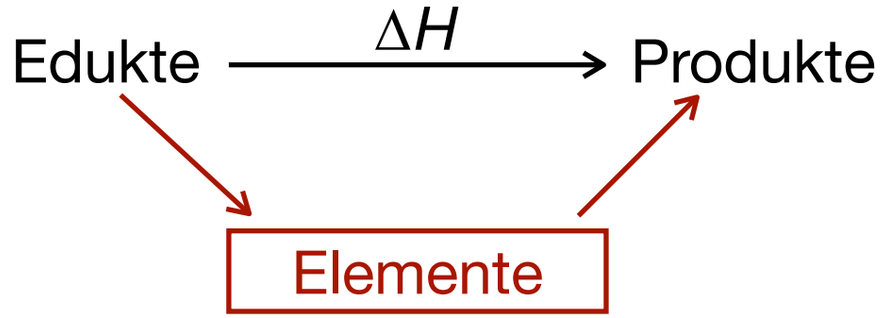
- eine exotherme Reaktion ist eine chemische Reaktion, bei der Energie an die Umgebung abgegeben wird (z.B. in Form von Wärme, Licht, ...)



Reaktionsenthalpie

- Reaktionsenthalpie ΔH gibt den Energieumsatz einer bei konstantem Druck durchgeführten Reaktion an
  → Dimension einer Energie

- Wärmesatz von Hess:
  → Reaktionsenthalpie ΔH ist unabhängig vom Reaktionsweg



- Standardbildungsenthalpie ΔH_f^0: Reaktionsenthalpie für die Bildung von 1 mol eines Stoffes aus seinen Elementen bei Standardbedingungen

$$\rightarrow \Delta H^0_{\text{Reaktion}} = \sum \Delta H^0_{\text{f,Produkte}} - \sum \Delta H^0_{\text{f,Edukte}}$$

Reaktionsenthalpie

Name	Formel	ΔH_f^0 in kJ/mol
Methan	CO_4	-74,91
Sauerstoff	O_2	0
Kohlenstoffdioxid	CO_2	-394,06
Wasser	H_2O	-285,9

- $CH_4 + 2\ O_2 \longrightarrow CO_2 + 2\ H_2O$ (Verbrennung von Methan)

$$\rightarrow \Delta H^0_{\text{Reaktion}} = \Delta H^0_f(CO_2) + 2\ \Delta H^0_f(H_2O) - \Delta H^0_f(CH_4) - 2\ \Delta H^0_f(O_2)$$

$$= [(-394{,}06) + 2 \times (-285{,}9) - (-74{,}91) - 0]\ \text{kJ/mol}$$

$$\Delta H^0_{\text{Reaktion}} = -\ 890{,}95\ \text{kJ/mol}$$

- Konvention: Vorzeichen negativ → es wird Energie frei

Heizwert

- Brennwert = Reaktionsenthalpie
  → bei Verbrennung frei werdende Wärmemenge

- Heizwert = Reaktionsenthalpie abzüglich der im Abgas verloren gehenden Wärmemenge
  → Maß für nutzbare Wärmemenge

fester Brennstoff	Heizwert [MJ/kg]
trockenes Holz	15
Papier	15
Braunkohle	20
Steinkohle	30
Kohlenstoff	33

flüssiger Brennstoff	Heizwert [MJ/kg]
Spiritus	26
Diesel	38
Heizöl	42
Benzin	44
gasförmiger Brennstoff	**Heizwert [MJ/kg]**
Wasserstoff	120
Methan	50
Erdgas	44

Redoxreaktionen

- genauer: Oxidation = Abgabe von Elektronen

$$A \longrightarrow A^+ + e^-$$

→ Stoff A ist Reduktionsmittel

- Reduktion = Aufnahme von Elektronen

$$B + e^- \longrightarrow B^-$$

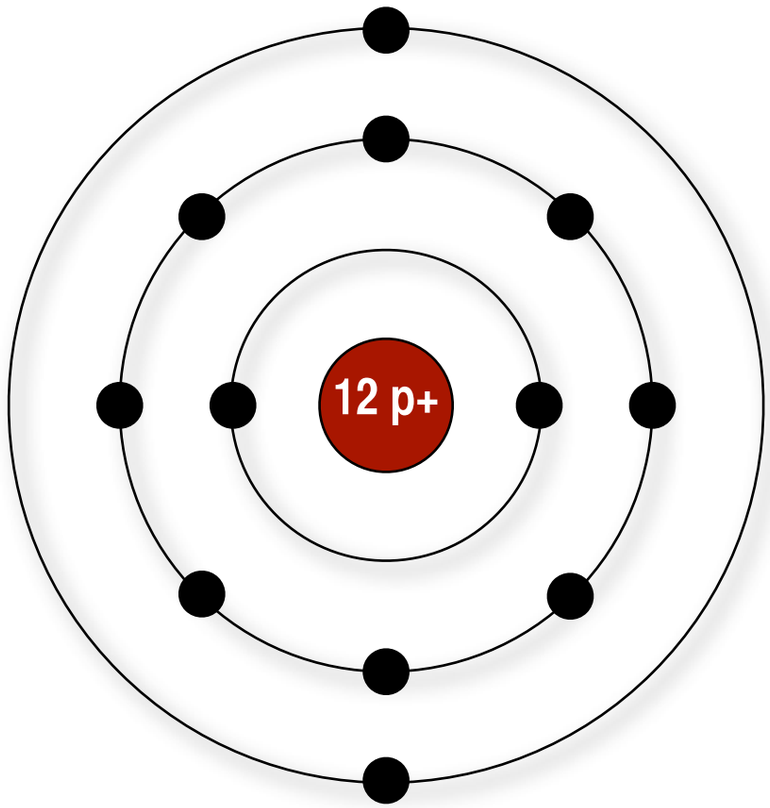
→ Stoff B ist Oxidationsmittel (z.B. Sauerstoff)

- eine Redoxreaktion (Reduktions-Oxidations-Reaktion):

$$A + B \longrightarrow A^+ + B^-$$

→ Reaktion, bei der Elektronen übertragen werden
→ Verbrennung ist Sonderfall einer Redoxreaktion

Bohrsches Atommodell



Magnesium (II. Hauptgruppe)

- Elektronen bewegen sich auf diskreten Kreisbahnen um den Atomkern → verschiedene Energieniveaus

- äußerste Schale heißt Valenzschale
  → bestimmt chemisches Verhalten

- Atom strebt Edelgaskonfiguration an: Valenzschale voll besetzt
  → energetisch günstigster Zustand

Bohrsches Atommodell

Chemische Verbrennung

↓

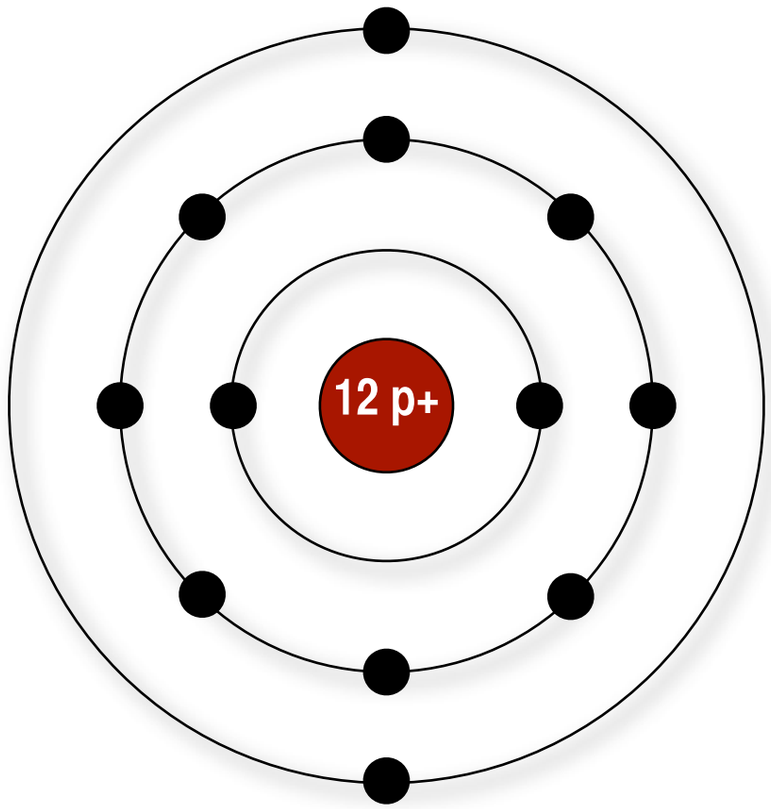
Energetische Betrachtung

↓

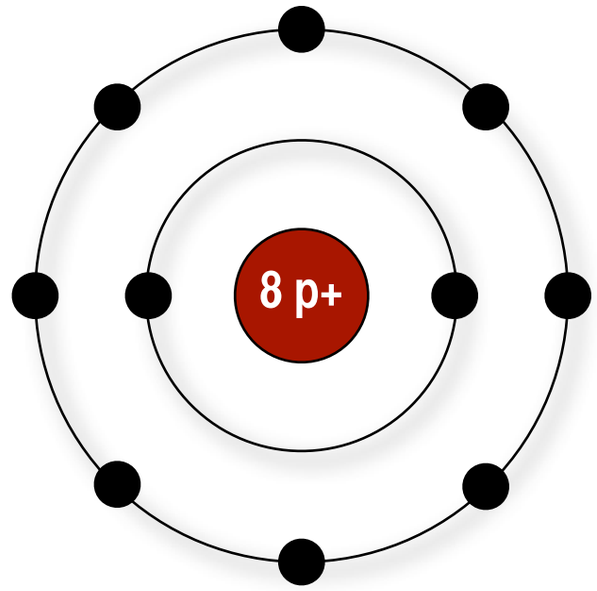
Atomphysikalische Basis

↓

technische Verbrennungsprozesse



Magnesium (HG)



Sauerstoff (HG)

→ Redoxreaktion:

Reduktion

$$Mg + \frac{1}{2}O_2 \longrightarrow Mg^{2+} + O^{2-} \longrightarrow MgO$$

Oxidation

Elektrochemie - Brennstoffzelle

- Elektrochemie befasst sich mit dem Zusammenhang zwischen elektrischen und chemischen Vorgängen

- durch räumliche Trennung von Oxidation und Reduktion entsteht eine elektrochemische Zelle
  → galvanische Zelle (Luigi Galvani, 1780)

- Brennstoffzelle → Umwandlung der chemischen Reaktionsenergie eines zugeführten Brennstoffs und Oxidationsmittels in elektrische Energie

- Vorteil: direkte Umwandlung ohne Umweg über Wärme und mechanische Arbeit
  → besserer Wirkungsgrad als Wärmekraftmaschinen

Elektrochemie - Brennstoffzelle

Chemische Verbrennung

↓

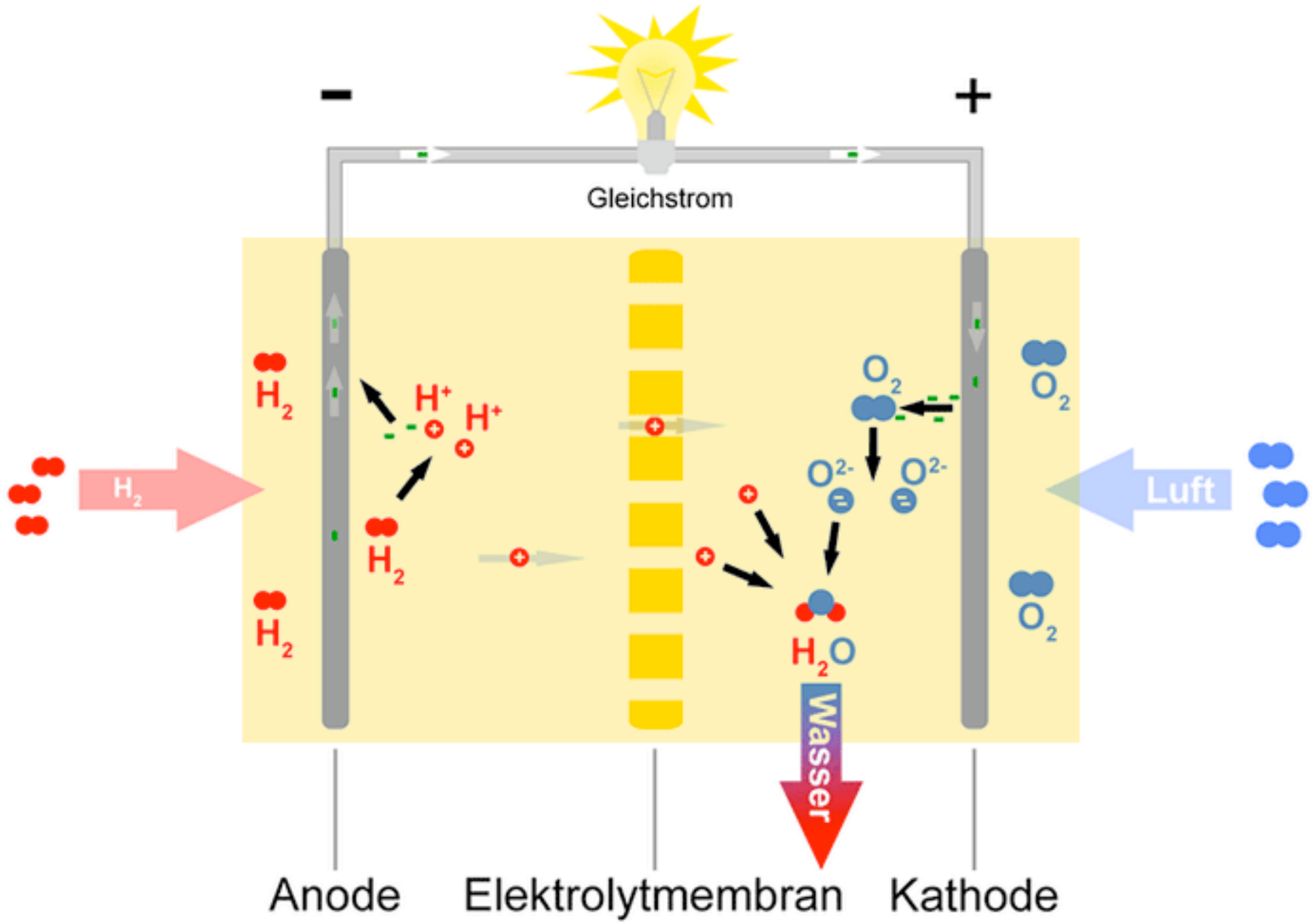
Energetische Betrachtung

↓

Atomphysikalische Basis

↓

technische Verbrennungsprozesse



Oxidation (Anode):	$2\ H_2 + 4\ H_2O$	$\longrightarrow$	$4\ H_3O^+ + 4\ e^-$
Reduktion (Kathode):	$O_2 + 4\ H_3O^+ + 4\ e^-$	$\longrightarrow$	$6\ H_2O$
Redoxreaktion (gesamt):	$2\ H_2 + O_2$	$\longrightarrow$	$2\ H_2O$

Wasserstoff

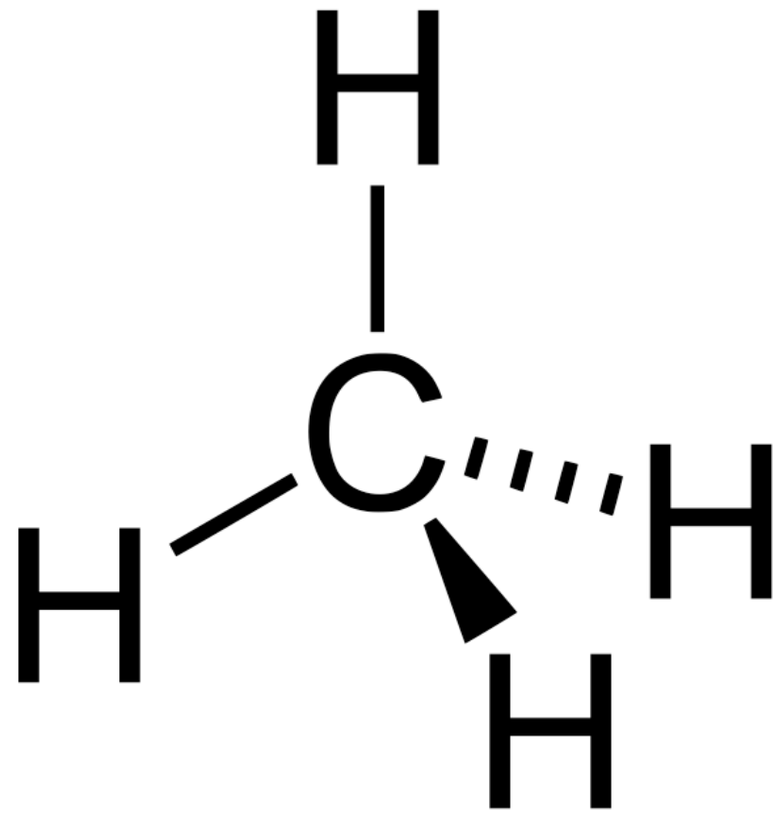
Chemische Verbrennung
↓
Energetische Betrachtung
↓
Atomphysikalische Basis
↓
technische Verbrennungsprozesse

- 1. Element im Periodensystem
- häufigstes chemisches Element im Universum
- Vorkommen auf der Erde fast ausschließlich in Verbindungen (Wasser)

Methan

Chemische Verbrennung
↓
Energetische Betrachtung
↓
Atomphysikalische Basis
↓
technische Verbrennungsprozesse

- einfachster Kohlenwasserstoff
  → einfachstes Alkan
- bedeutendes Treibhausgas
- Hauptbestandteil von Erdgas und Biogas
- entsteht bei bakterieller Zersetzung organischer Stoffe
- Verwendung als Heizgas und zur Herstellung vieler anderer organischer Verbindungen



Benzin

- Hauptbestandteile sind Alkane (C_nH_{2n+2}), Alkene (C_nH_{2n}), Cycloalkane und aromatische Kohlenwasserstoffe
- Herstellung aus veredelten Komponenten der Erdölraffination (Destillation und Cracken)
- Zugabe von verschiedenen Additiven
- Nutzung überwiegend als Kraftstoff

Kohle

- bräunlich-schwarzes Sedimentgestein (> 50% Kohlenstoff)
- entsteht aus pflanzlichen Überresten, die unter Luftabschluss über Jahrmillionen hohem Druck und hoher Temperatur ausgesetzt sind
- Nutzung hauptsächlich zur Energiegewinnung in Kraftwerken
- Verbrennung zu Kohlenstoffdioxid, Wasser und anderen Gasen (z.B. Schwefeldioxid)

Schadstoffe

Chemische Verbrennung
↓
Energetische Betrachtung
↓
Atomphysikalische Basis
↓
technische Verbrennungsprozesse

- Verbrennungsprozesse sind häufig sehr komplex
- es entstehen unerwünschte Nebenprodukte:
  - keine vollständige Verbrennung

ausreichende Sauerstoffzufuhr:	$CH_4 + 2\,O_2 \longrightarrow CO_2 + 2\,H_2O$
ungenügende Sauerstoffzufuhr	$2\,CH_4 + 3\,O_2 \longrightarrow 2\,CO + 4\,H_2O$ $CH_4 + O_2 \longrightarrow C + 2\,H_2O$

  - Verunreinigungen im Brennstoff
  - Reaktion der anderen in Luft enthaltenen Gase

→ Nebenprodukte sind oft umwelt- oder gesundheitsschädlich
→ Nutzenergie wird geringer

Schadstoffe

- Verbesserung von Verbrennungsprozessen durch:

  → Senkung des Verbrauchs der Brennstoffe durch Steigerung des Wirkungsgrads

  → möglichst geringe Belastung der Umwelt durch Vermeidung der Bildung und Emission von Schadstoffen

  → Senkung der Emission von Kohlenstoffdioxid und anderer Treibhausgase

  → weitere Anforderungen: Sicherheit, Zuverlässigkeit, geringe Kosten, einfache Nutzung