

Themen:

1.1 Anwendungen und Anforderungen

1.1.1 Energiebedarf

1.1.2 Anforderungen Stromnetz

1.1.3 Anforderungen Elektroauto

1.2 Übersicht Energiespeichersysteme

1.2.1 Grundlagen Stromquellen

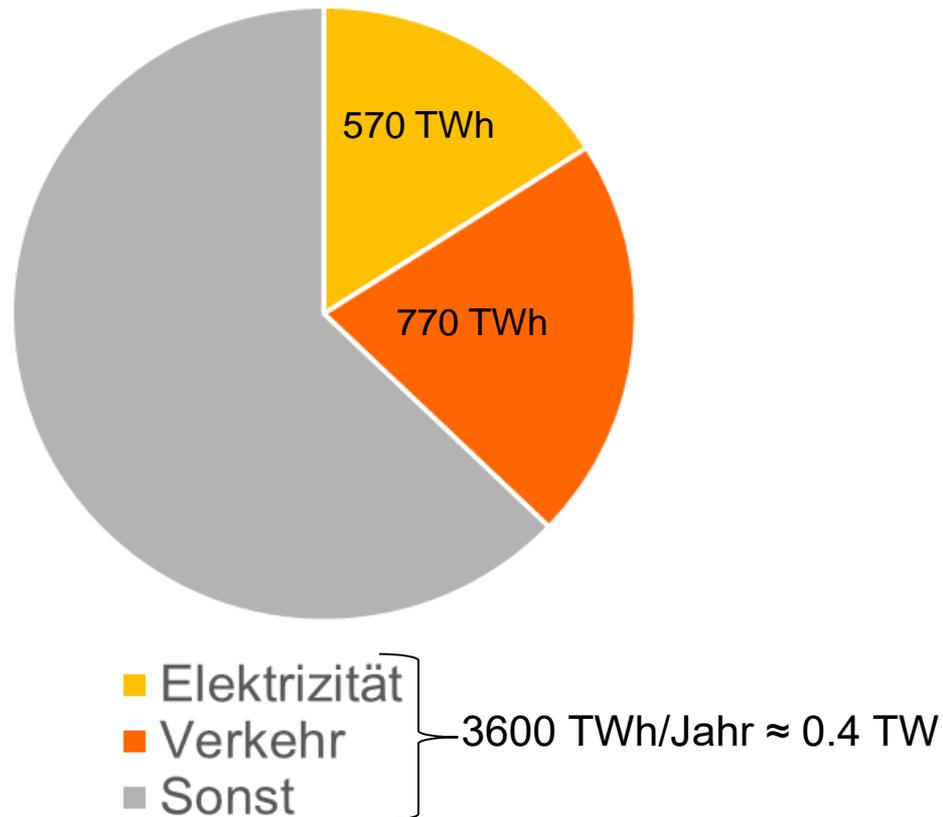
1.2.2 Energie- und Leistungsdichte

1.2.3 Elektrochemische Grundbegriffe

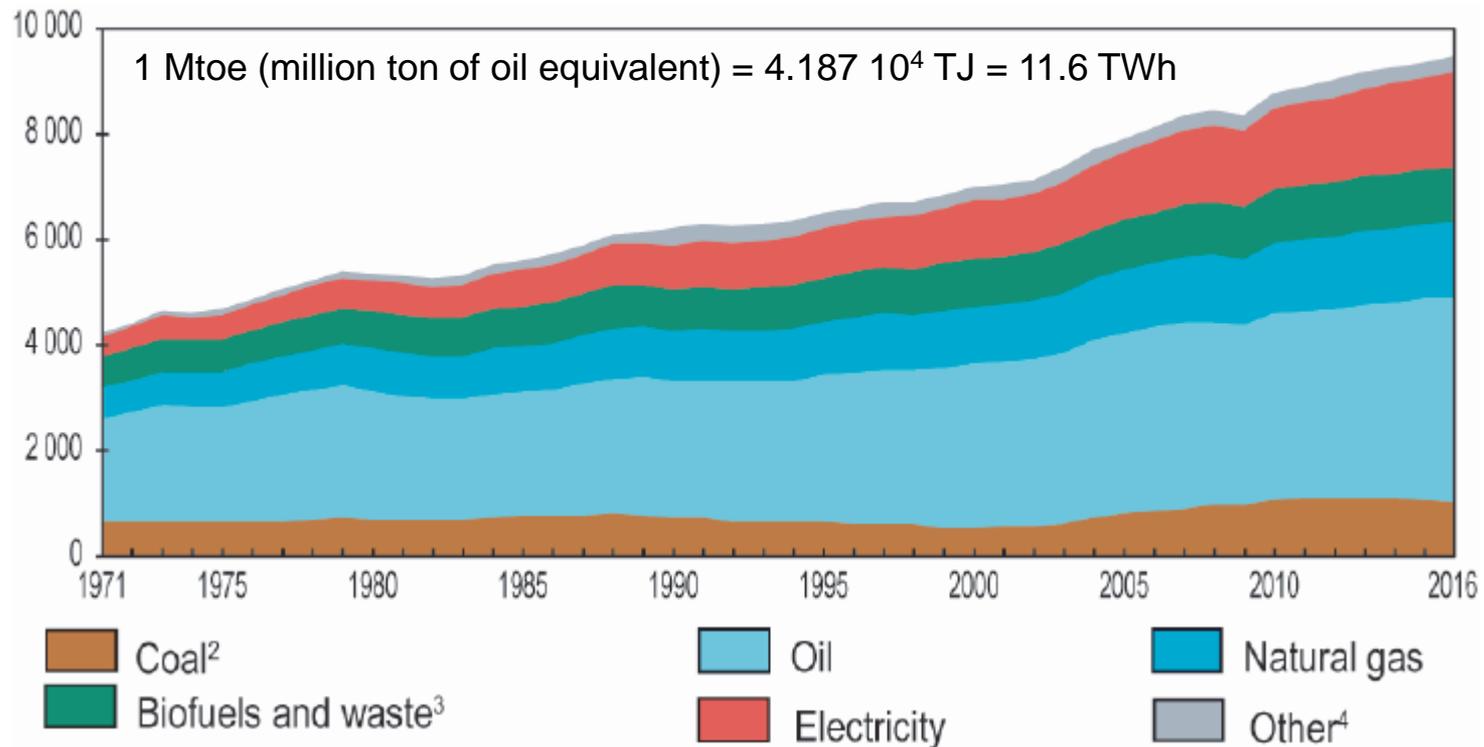
Weltweit:

$6 \cdot 10^{20} \text{ J/Jahr} = 167\,000 \text{ TWh/Jahr} \approx 19 \text{ TW}$

Deutschland

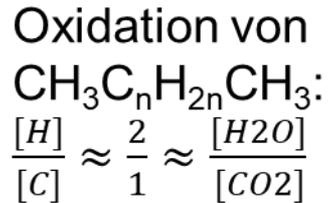


Anwachsen des Energiebedarfs seit 1970 nach Anwendungsbereich

World¹ TFC from 1971 to 2016 by fuel (Mtoe)

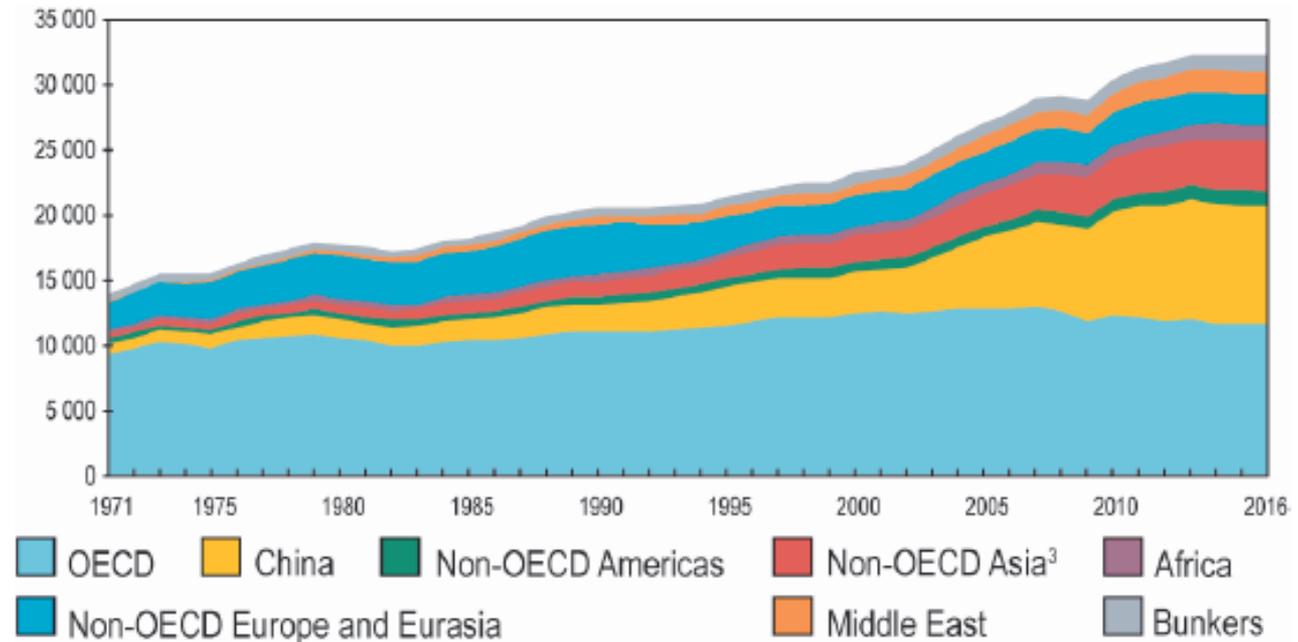
Key world energy statistics 2018
International Energy Agency

Korrelation CO₂ Emission korreliert mit Verbrauch fossiler Kraftstoffe

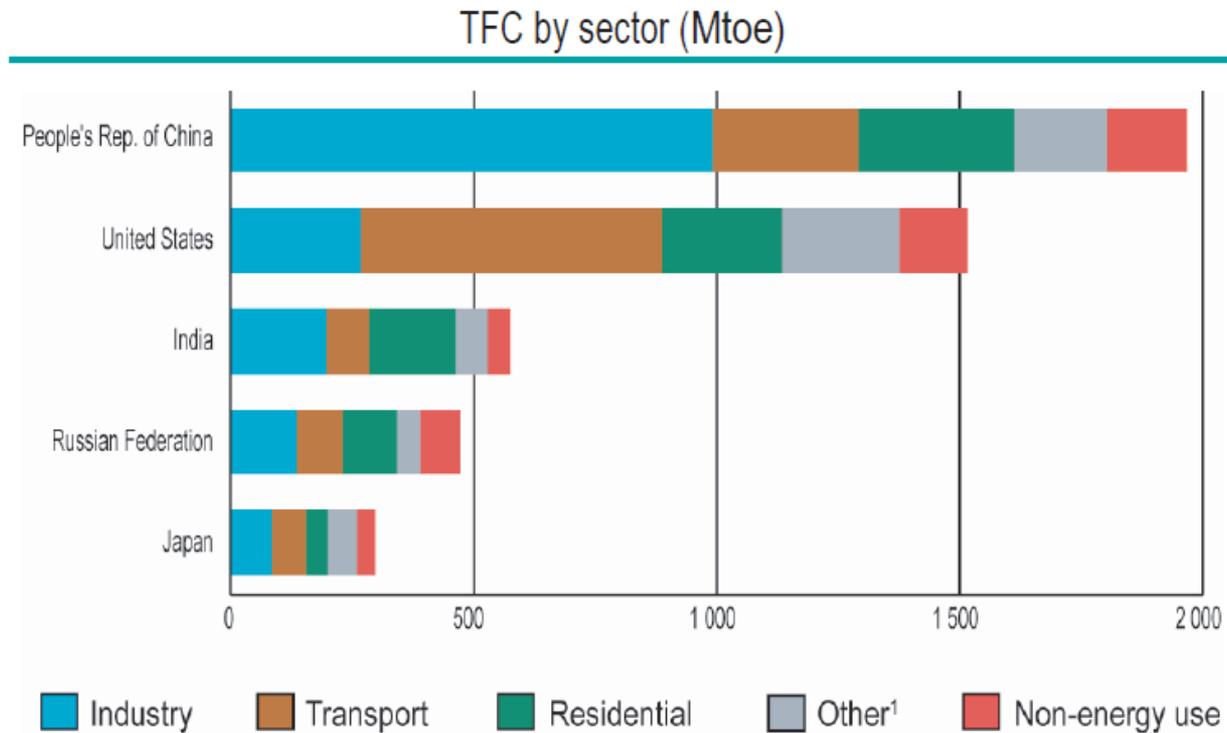


CO₂ emissions by region

World¹ CO₂ emissions from fuel combustion² from 1971 to 2016
 by region (Mt of CO₂)



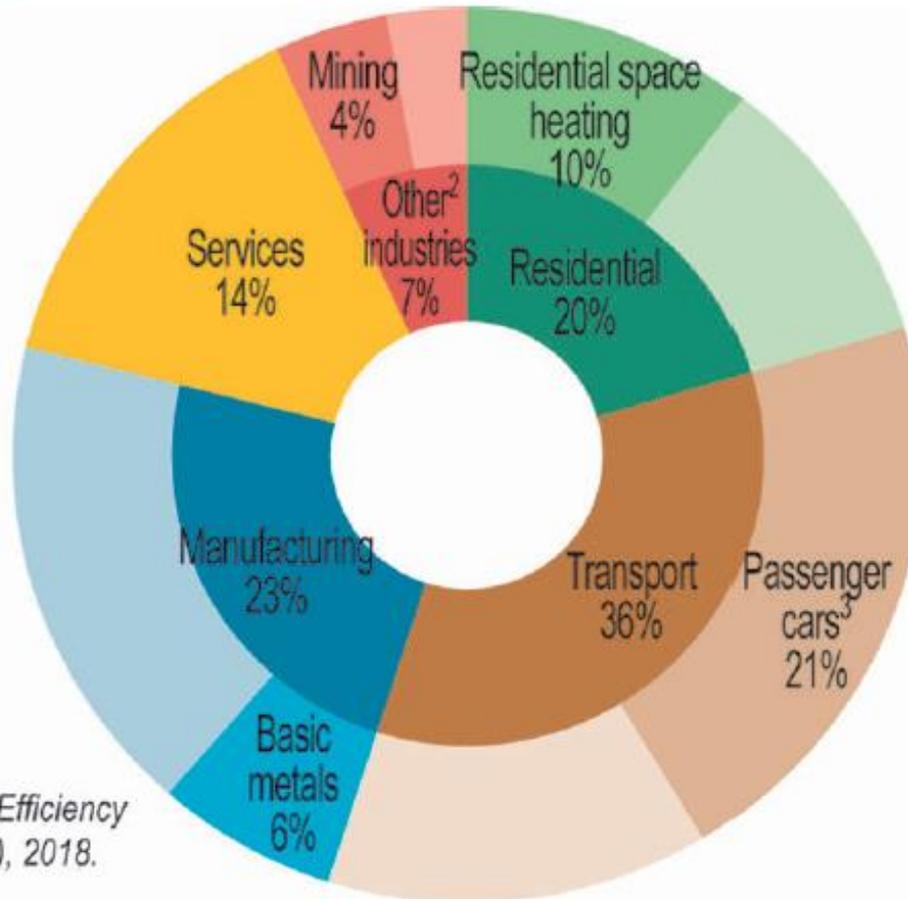
Energieverbrauch nach Anwendungsbereich („Sektoren“)



Key world energy statistics 2018
International Energy Agency

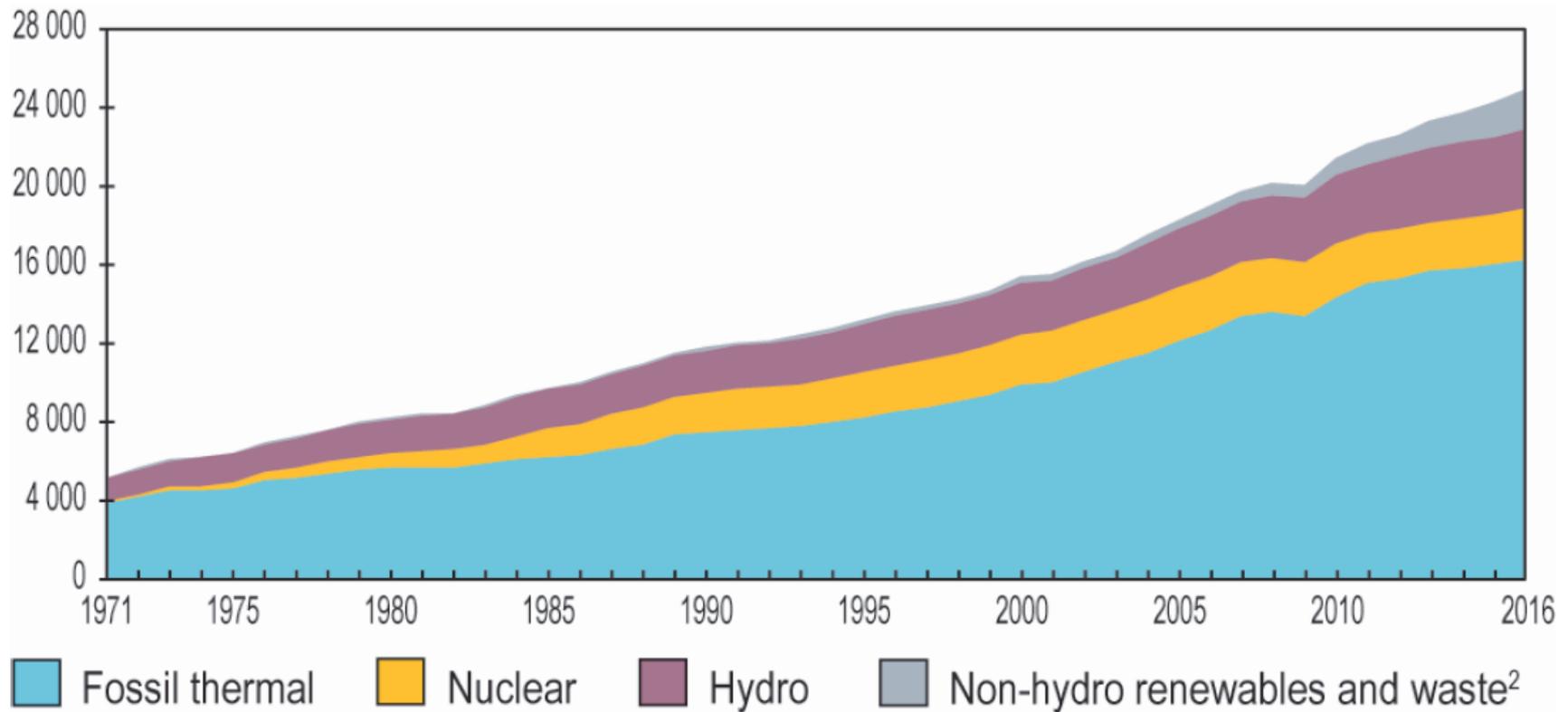
Energieverbrauch nach Anwendungsbereich („Sektoren“)

Largest end uses of energy by sector in IEA¹, 2015

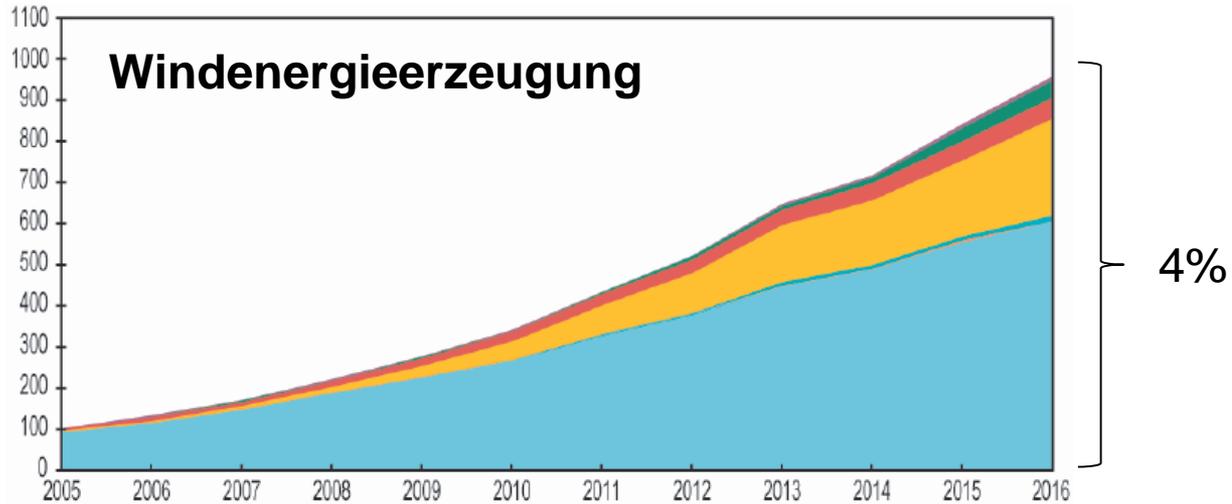


Source: IEA Energy Efficiency Indicators (database), 2018.

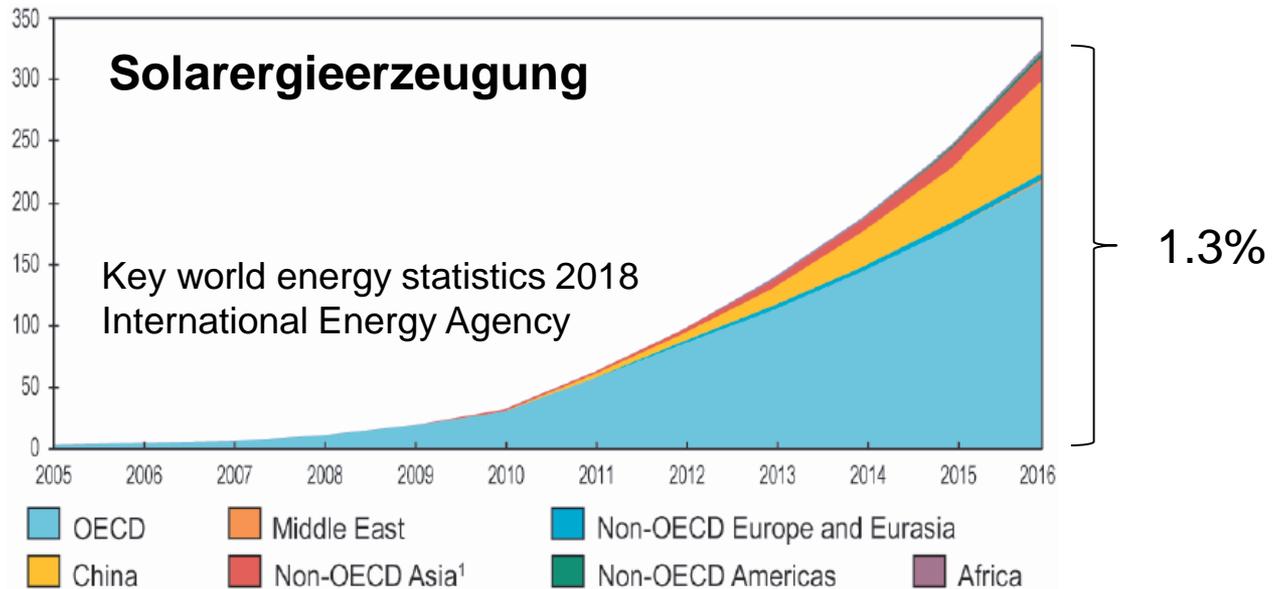
Energieerzeugung seit 1970

World electricity generation¹ from 1971 to 2016 by fuel (TWh)

World wind electricity production from 2005 to 2016 by region (TWh)



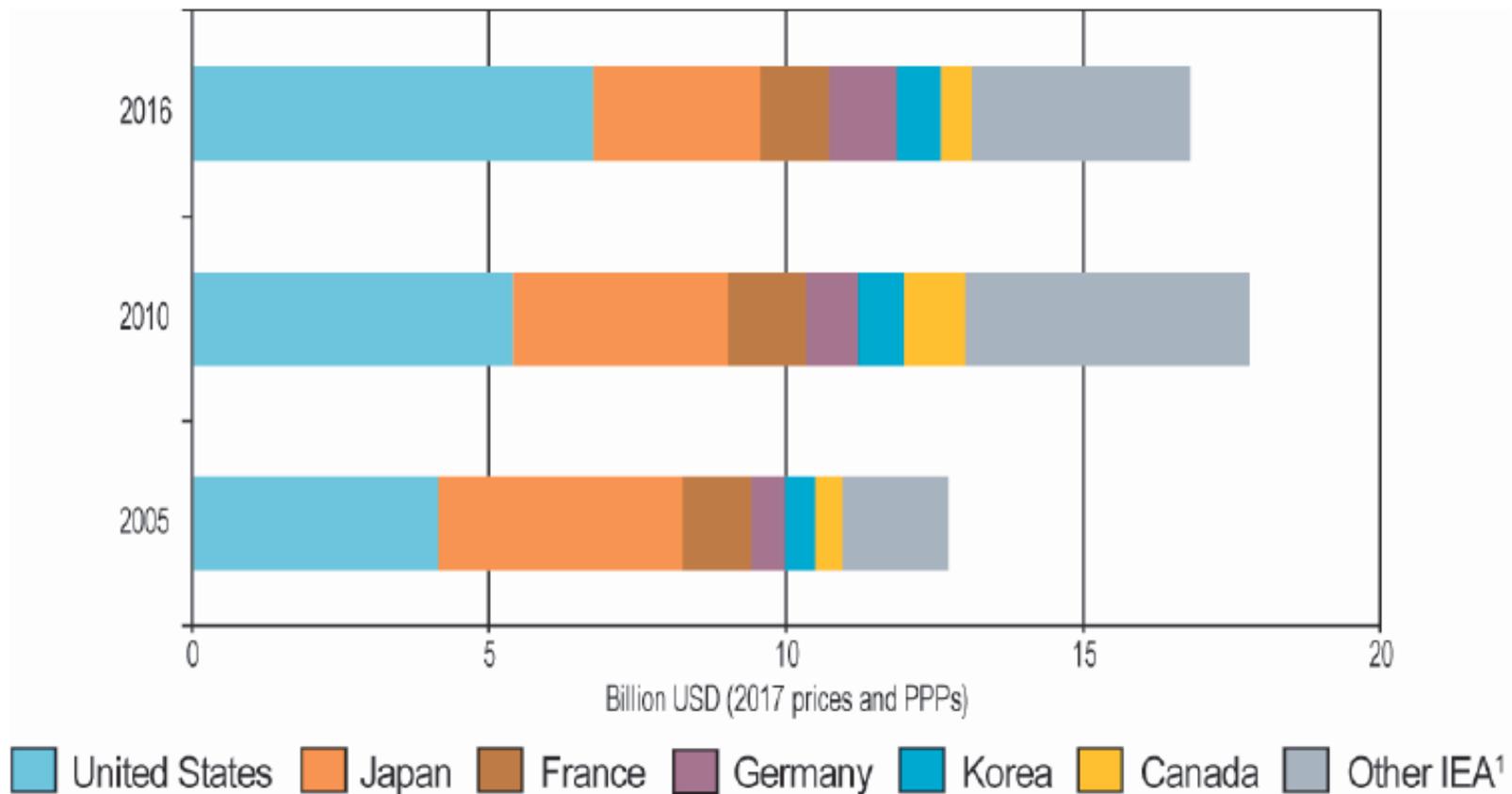
World solar PV electricity production from 2005 to 2016 by region (TWh)



- OECD
- Middle East
- Non-OECD Europe and Eurasia
- China
- Non-OECD Asia¹
- Non-OECD Americas
- Africa

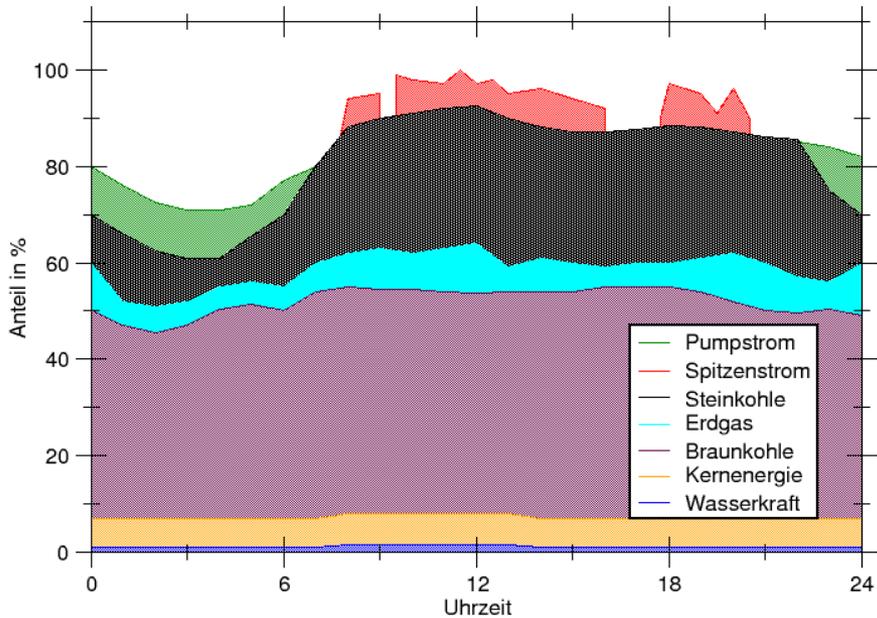
Staatliche Ausgaben für Energieforschung

Total public energy RD&D for selected countries in 2005, 2010 and 2016



Anforderungen des Stromnetzes

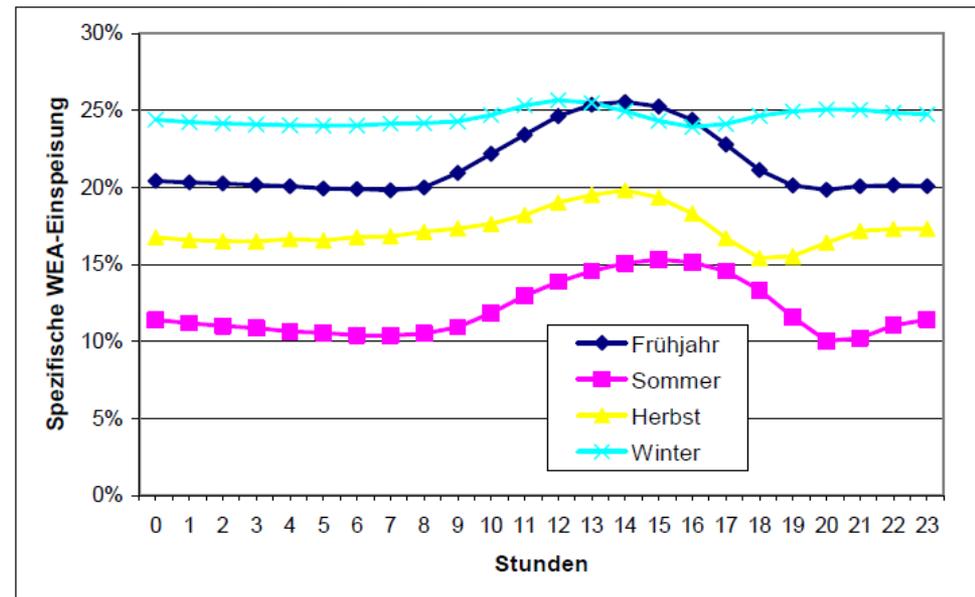
Tagesgang des Stromverbrauches



Quelle: wikipedia

Tägliche/jährliche Fluktuationen im Bedarf \neq
 Fluktuationen in Wind-/Solarenergieerzeugung
 → Problem für Netzstabilität

Abbildung 11-4: Durchschnittliche, stündliche Struktur der spezifischen WEA-Einspeisung (Anlagenbestand 2003)



Quelle: ISET (2005)

Energiewirtschaftliche Planung für die Netzintegration von Windenergie in Deutschland an Land und Offshore bis zum Jahr 2020, Deutsche Energie-Agentur 2005

Möglichkeiten der Speicherung elektrischer Energie:

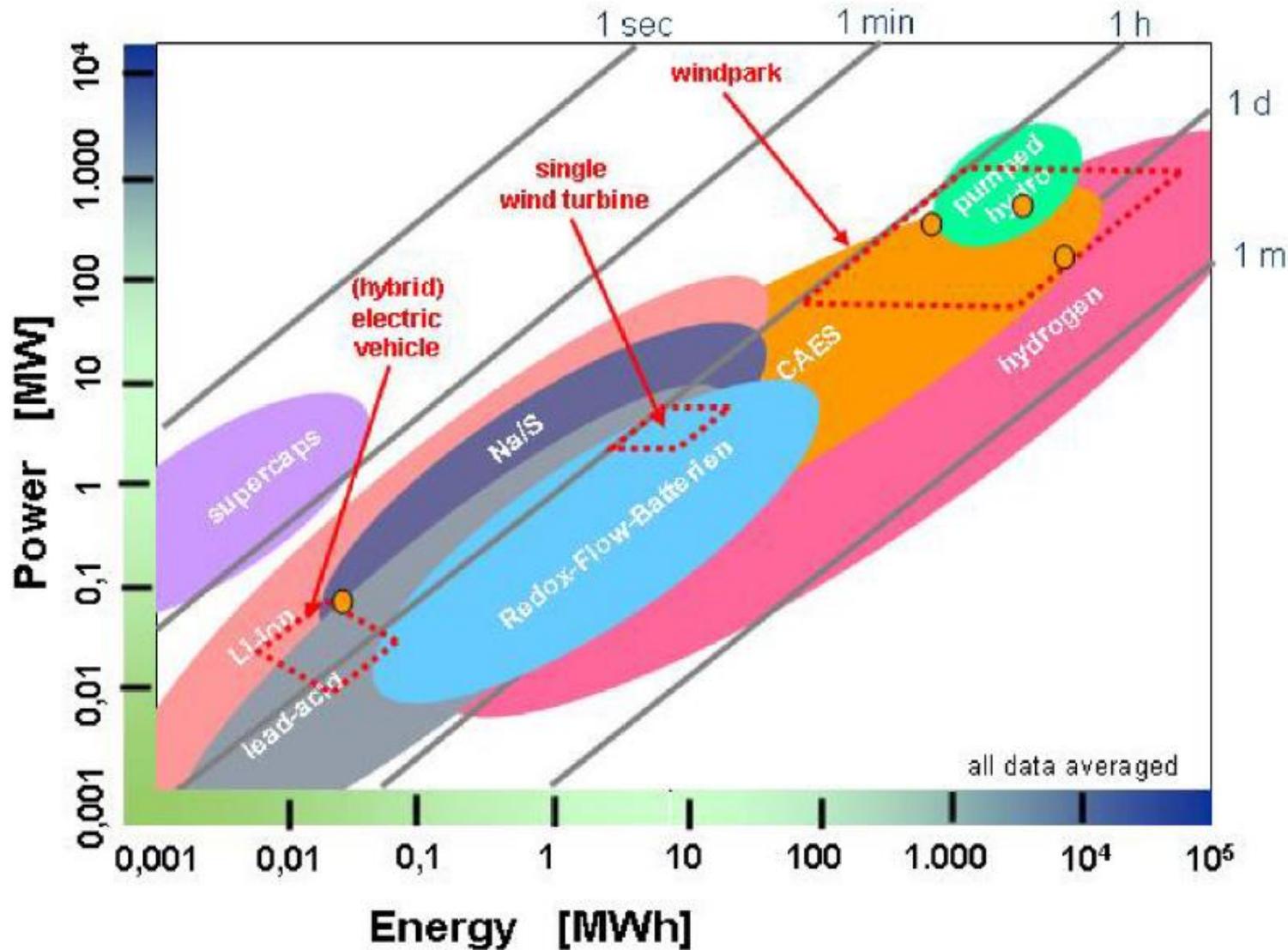
- Pumpspeicherkraftwerke
- Wärmespeicher
- Umwandlung in H₂ / Kraftstoffe

Bedarf zum Ausgleich kurzfristiger Schwankungen ist 20% des Tagesbedarfs:
 $600 \text{ TWh} / 365 \text{ Tage} * 0.2 \approx 300 \text{ GWh}$

Energiespeicherung für Stromversorgung



Speicherbedarf für dezentrale Anwendungen





In Jardelund ist der größte Batteriespeicher Europas in Betrieb gegangen. In der Nähe der dänischen Grenze hat der niederländische Energieversorger Eneco einen Speicher mit einer Leistung von 46 Megawatt (MW) und einer Kapazität von mehr als 50.000 Kilowattstunden (kWh) ans Netz gebracht. Etwa 10.000 Lithium-Ionen-Batterien sind in dem XXL-Speicher installiert - genug, um etwa 5300 Haushalte für 24 Stunden mit Strom zu versorgen.

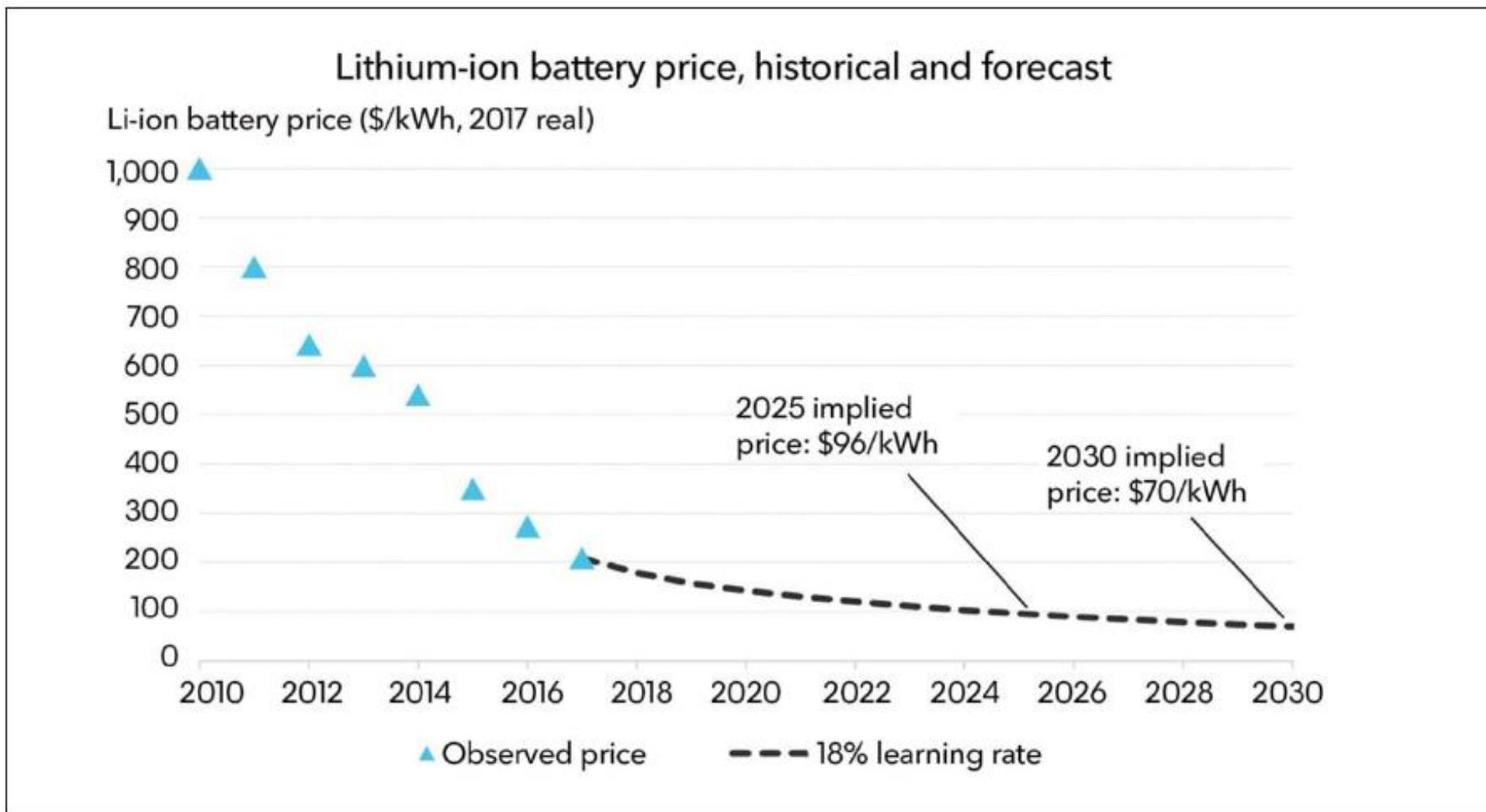


FIGURE 3.4: Li-ion Battery Module Costs Trend & Outlook. Source: Bloomberg New Energy Finance



Die Erneuerbare-Energien-Gesellschaft Energie des Nordens, deren Hauptgesellschafter Greenpeace Energy ist, und H-TEC SYSTEMS aus Lübeck haben heute den Kaufvertrag für einen PEM-Elektrolyseur zur Wasserstoffproduktion unterzeichnet. Die neu entwickelte Anlage mit einer Nennleistung von einem Megawatt soll im schleswig-holsteinischen Haurup ab 2020 aus überschüssigem Windstrom jährlich bis zu drei Millionen Kilowattstunden Wasserstoff ins Gasnetz einspeisen.



„Die Zukunft gehört dem Elektroauto“

VW-Chef Winterkorn

16.06.2008, Spiegel online

„Das ist die Zukunftstechnologie schlechthin“

Daimler-Entwicklungsvorstand Thomas Weber

28.06.2008, Wirtschaftswoche

Vorteile

- **umweltfreundlich**
 - energieeffizient
 - Rückgewinnung der Energie
 - keine Abgase
 - potenziell CO₂ emissionsfrei
- **gute Fahreigenschaften**
 - hohe Anfangsbeschleunigung
 - gleichmäßiges Drehmoment über gesamten Drehzahlbereich
- **Komfort**
 - leise
 - wartungsarm



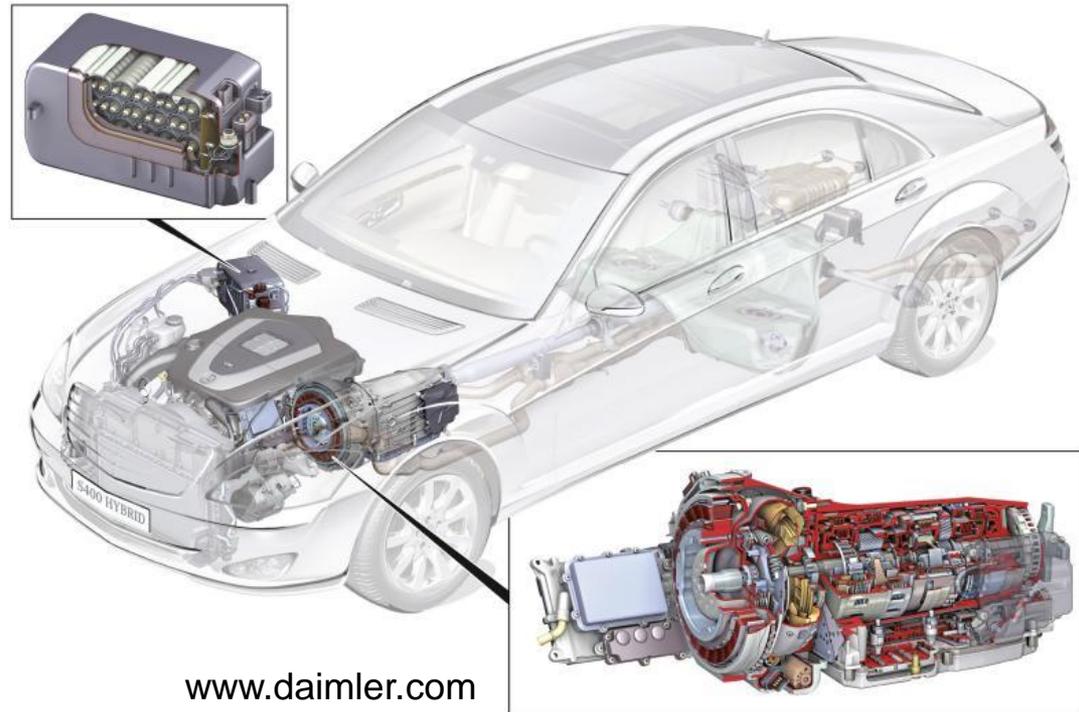
Energieverbrauch Elektroauto vs. Auto mit Verbrennungsmotor

Year	Power Plant Efficiency	Grid Efficiency	Inverter AC/DC Efficiency	Battery Efficiency (Fast Charge)	Power Electr. Efficiency (DC/DC DC-AC)	Motor and Magnetic Gear Efficiency	Energy Consumption Ideal mid-size car Wh/km #	Total Consumption of Primary Energy Wh/km
2008 Range 150km	0.42	0.80	0.90	0.80	0.90	0.80-0.86	120	641-689 -15% Reg. Braking
2008 Range 150km	Renewable Energy only	0.93	0.90	0.80	0.90	0.80-0.86	120	235-219 -15% Reg. Braking
2008 Range 600km	WTW Powertrain Efficiency of a Conventional Internal Combustion Engine car in reality: 0.16 - 0.23						120	750-522 -10% micro-mild hybrids

Problem Energiespeicherung

• Anforderungen

- Energie für 800 km Fahrt → Batterie mit 100 kWh (→ 2700 kg Pb-Akku)
- mindestens 50 kW Leistung
- kurze Betankungs-/Ladezeiten
- 10 Jahre Lebensdauer
- geringer Platzbedarf
- geringe Kosten



Hybridfahrzeuge



Toyota Prius III



Mercedes-Benz S400 BlueHybrid

Elektrofahrzeuge mit Akkumulatoren



Tesla Roadster

Brennstoffzellenfahrzeuge

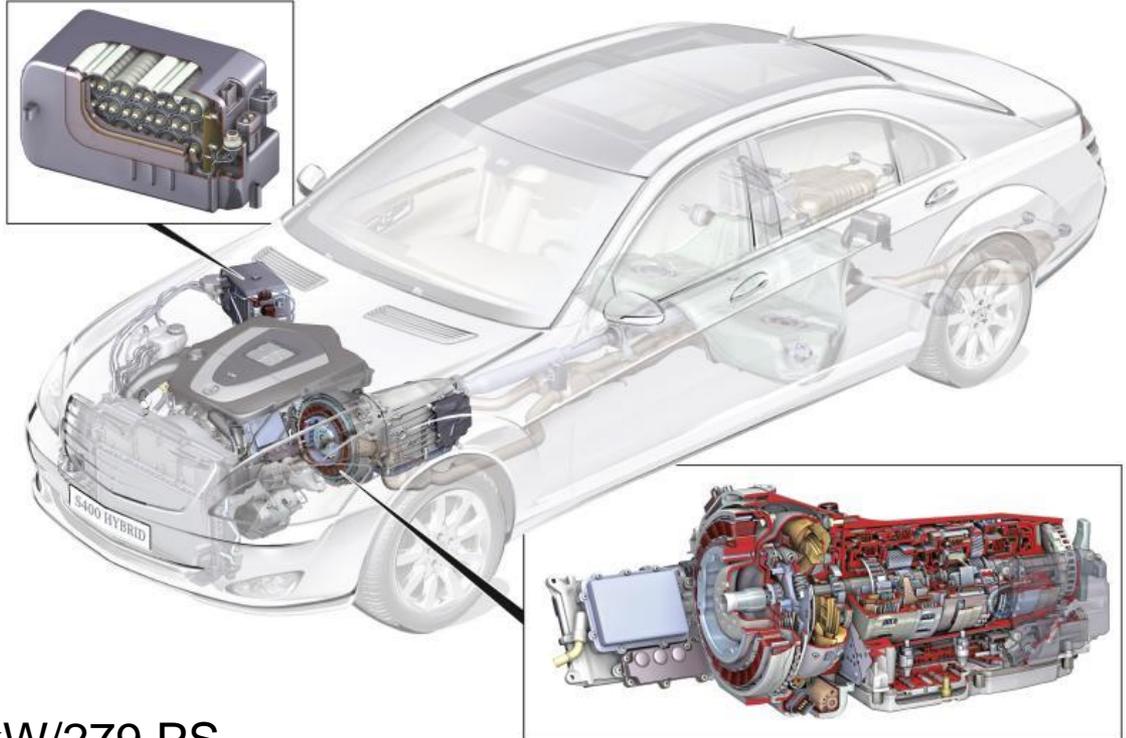


Mercedes-Benz F-Cell (A-Klasse)



Mercedes-Benz S400 BlueHybrid

Li Batterie



Daten

- Leistung V6-Benzinmotor: 205 kW/279 PS
- + Hybridmodul: + 15 KW/20 PS
- Nennleistung: 220 KW/299 PS
- max. Drehmoment: 375 Nm
- Beschleunigung 0-100 km/h: 7,3 Sek.
- NEFZ-Verbrauch: 7,9 l/100 km
- CO₂-Emission: 186 g/km



Hersteller: Tesla Motors

Produktionszeitraum: 2008–heute

Motoren: 4-Pol 3-Phasen-Asynchronmaschine, 185 kW

Leergewicht: ca. 1220 kg

Preis Basisversion: 109.000 US-Dollar

Energiespeicher: Lithium-Ionen-Akkus (6831 Zellen),
45 kWh, 450 kg

Reichweite: 350 km

Geschwindigkeit: 200 km/h (elektronisch begrenzt)

Beschleunigung: in 3,7 s auf 100 km/h

Ladezeit: 3,5 Stunden

80 % der ursprünglichen Ladekapazität bis 100.000 Meilen



Tesla Roadster (Darkstar)



Hersteller: Honda

Kommerziell erhältlich (Japan/USA): 2017

174 PS

Reichweite: 600 km

Grundlagen Stromquellen

Typische Beschreibung Elektrotechnik:
Ideale Spannungsquelle (U_0) mit
Innenwiderstand (R_i) ergibt
Klemmenspannung U_{Kl}

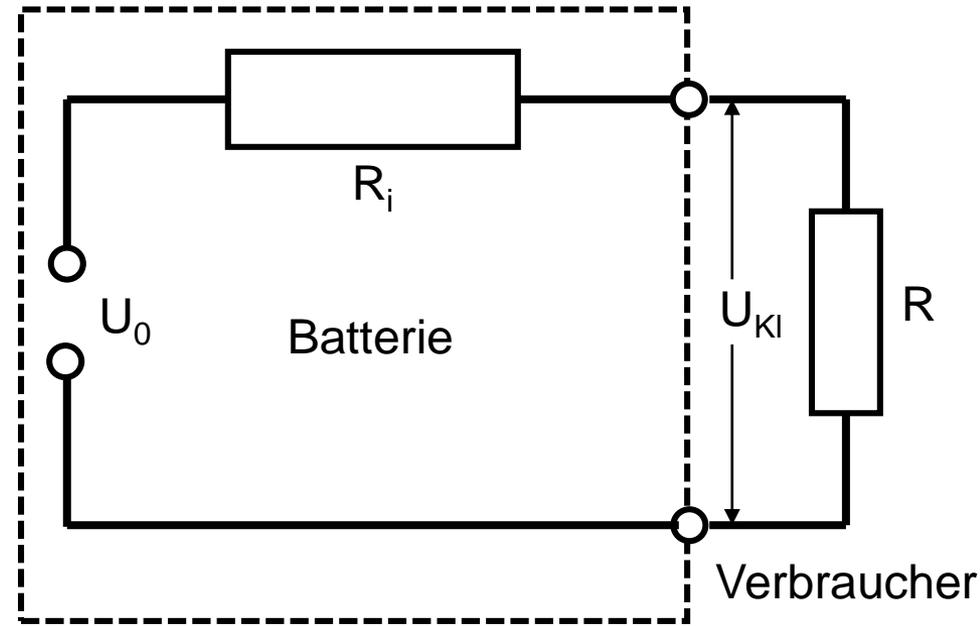
Analog bei Ladevorgang

Aber:

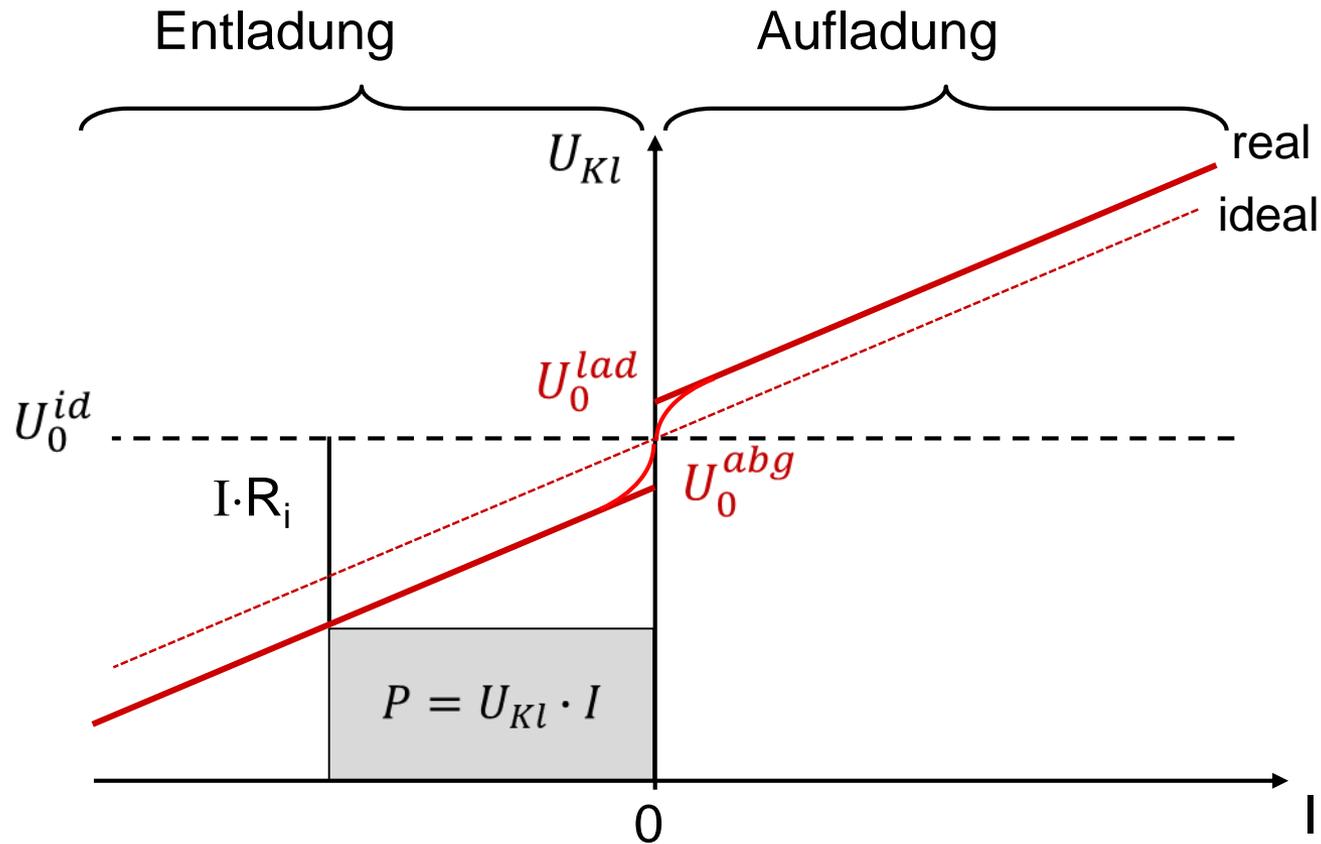
Bei Akkumulatoren ist U_0 bei Ladung
und Entladung nicht gleich

Ladung: $U_{Kl} = U_0^{lad} + R_i I$

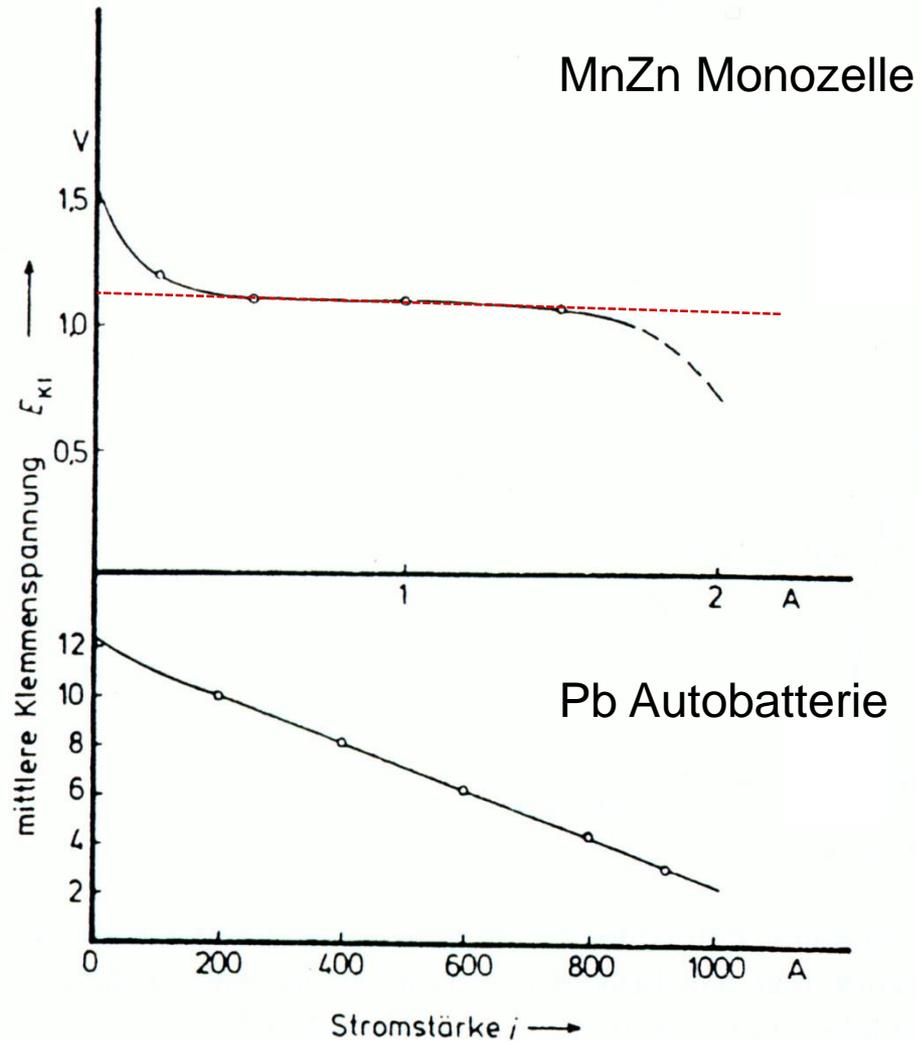
Entladung: $U_{Kl} = U_0^{abg} - R_i I$



Strom-Spannungs-Charakteristik



Strom-Spannungs-Charakteristik von Batterien



Lade-/Entladekurve

Aufladung- /
Entladung bei
konstantem Strom

Hamann/Vielstich,
Elektrochemie

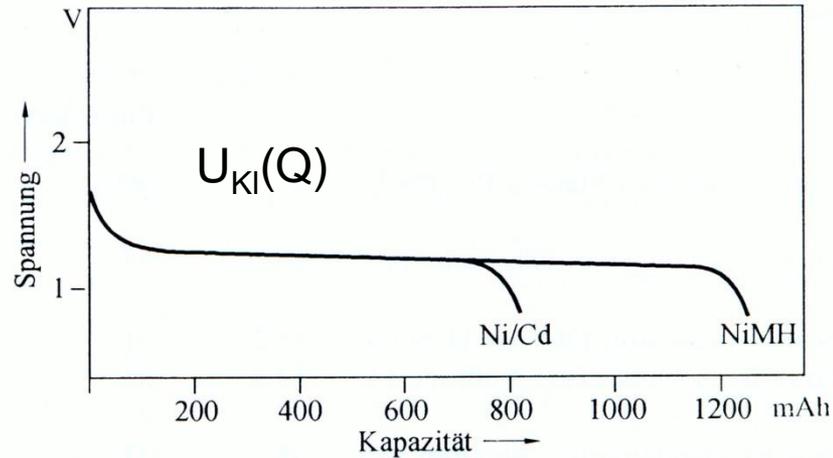


Abb. 9-16 Entladekurve (einstündige Entladung) einer NiMH- im Vergleich zu einer Ni/Cd-Mignon-Zelle (Information Varta AG).

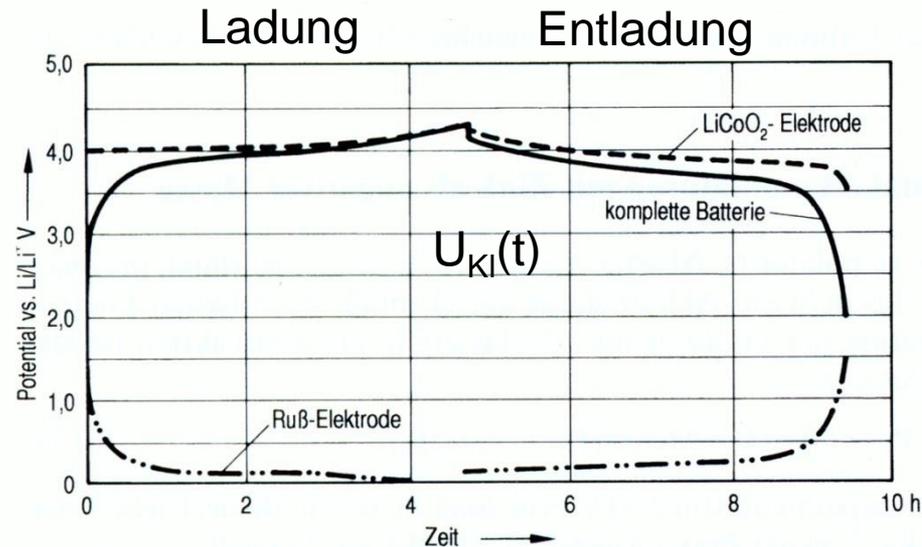


Abb. 9-17 a) Schematische Darstellung einer Lithium-Ionen-Batterie. b) Lade-/Entladezyklus einer Lithium-Ionen-Batterie nach M. Fabian, Fa. Sonnenschein-Lithium.

Weiter zu berücksichtigen:

- Zyklenzahl
- Selbstentladung
- Ladedauer
- Lebensdauer
- Gedächtniseffekte
- Sicherheit
- Kosten

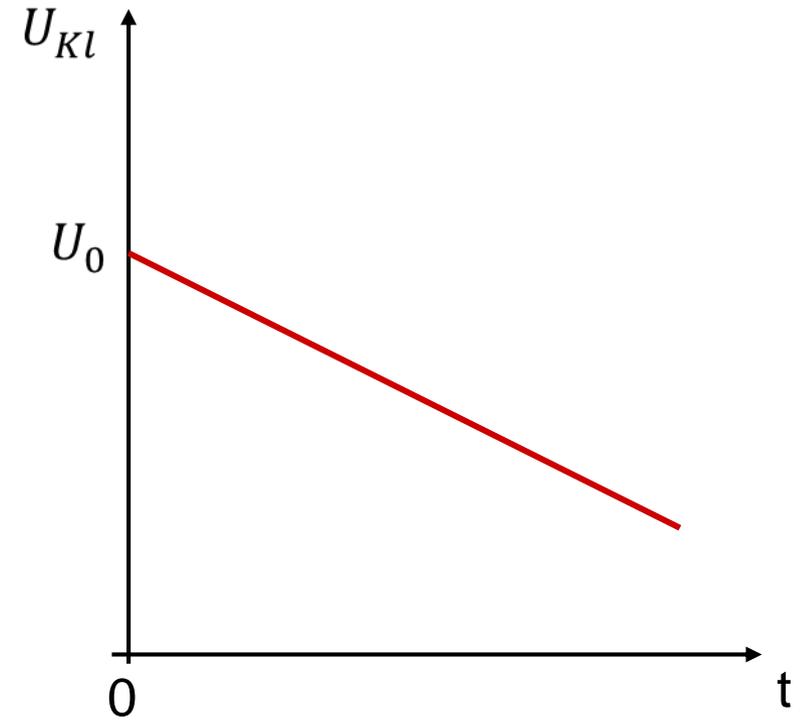
Kondensatoren

$$U = q / C$$

mit Kapazität C

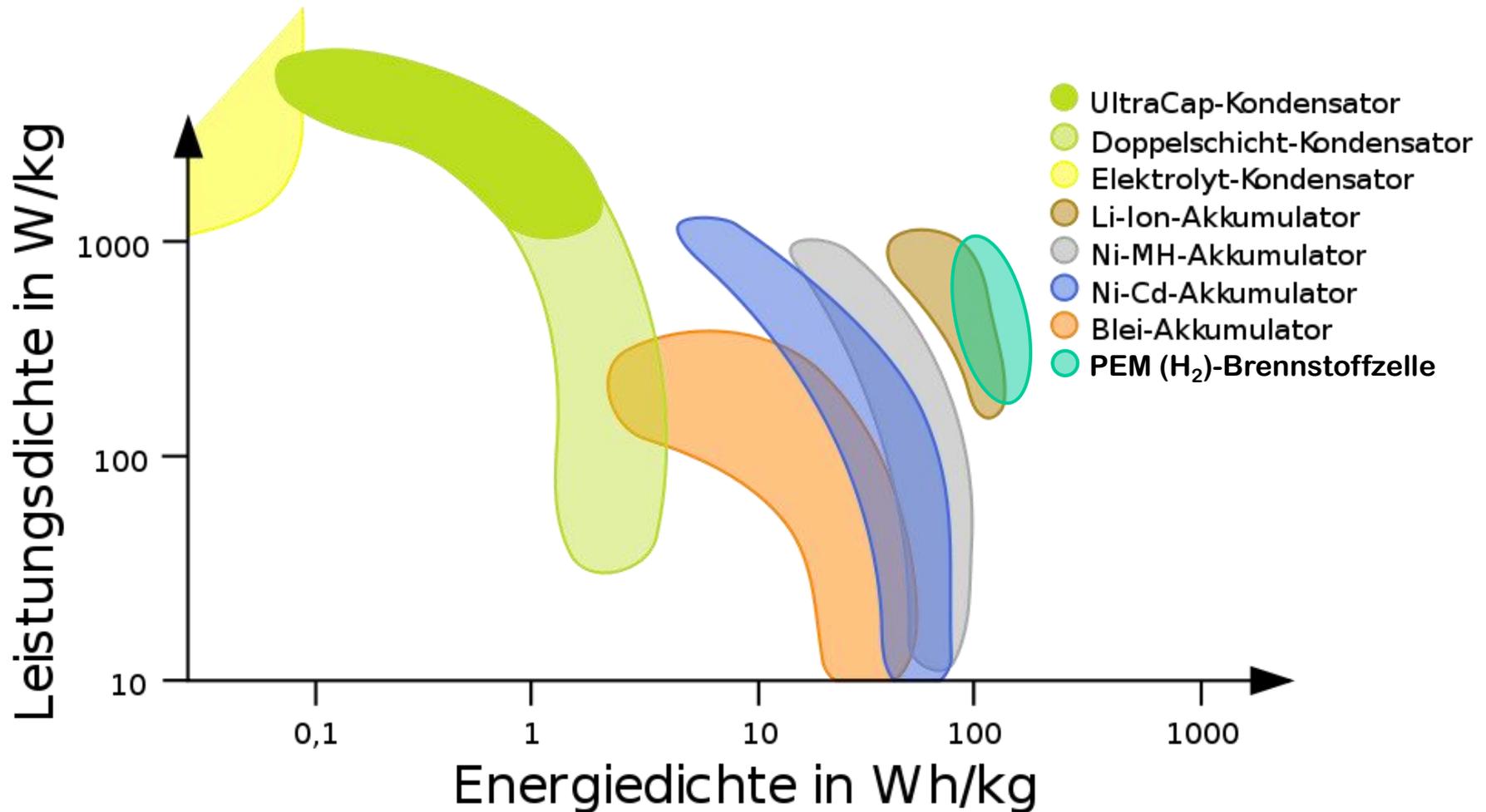
Für $I = dq/dt = \text{konst.}$

Gilt bei Entladung: $U_{Kl} = U_0 - \frac{I}{C}t$

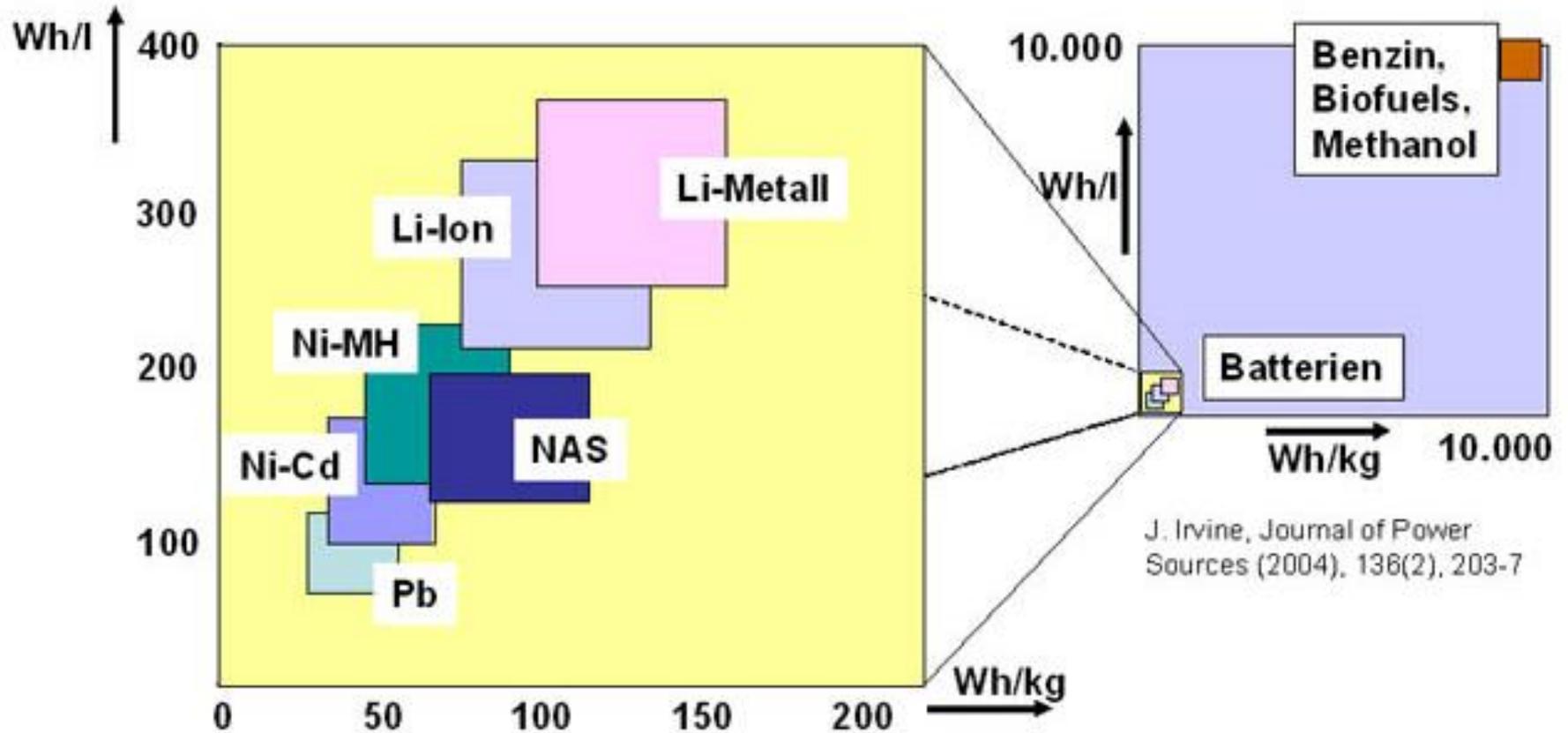


Energiedichte E/m [Wh/kg] bzw. E/V [Wh/dm³]

Leistungsdichte P/m [W/kg] bzw. P/V [W/dm³]



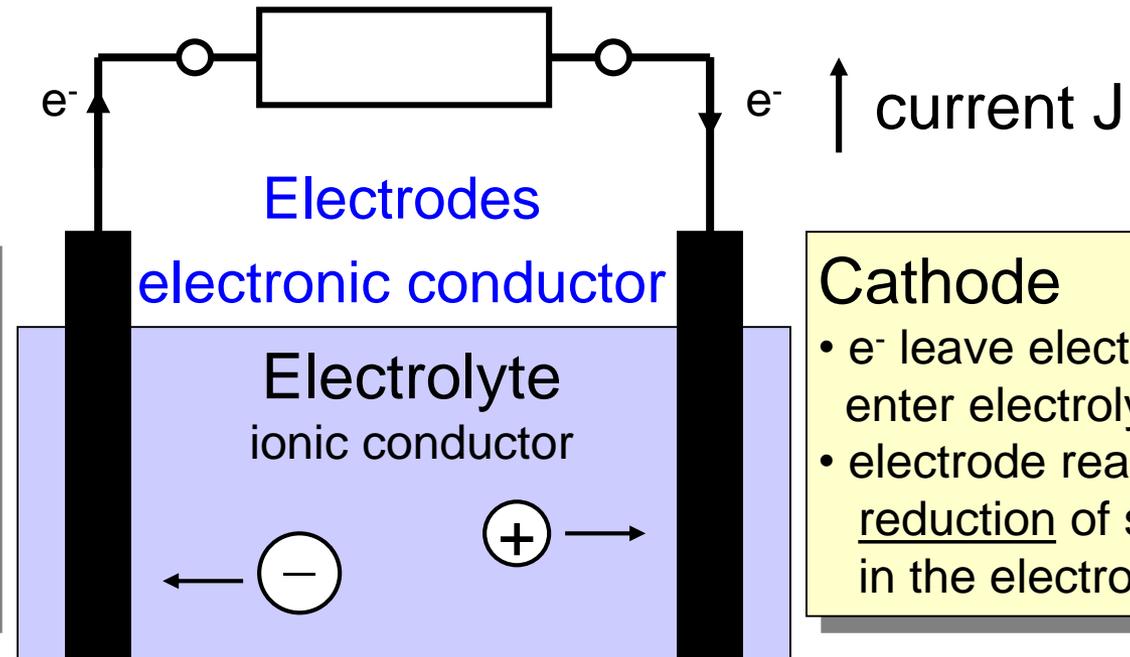
Energiedichte elektrochemischer Energiespeicher



J. Irvine, Journal of Power Sources (2004), 136(2), 203-7

J. Garche, A. Jossen, H. Döring, VDI-Berichte Reihe 12, Verkehrstechnik/Fahrzeugtechnik (2002) Band 484, Hybridfahrzeuge und Energiemanagement, 101-118

Elektrochemisches System

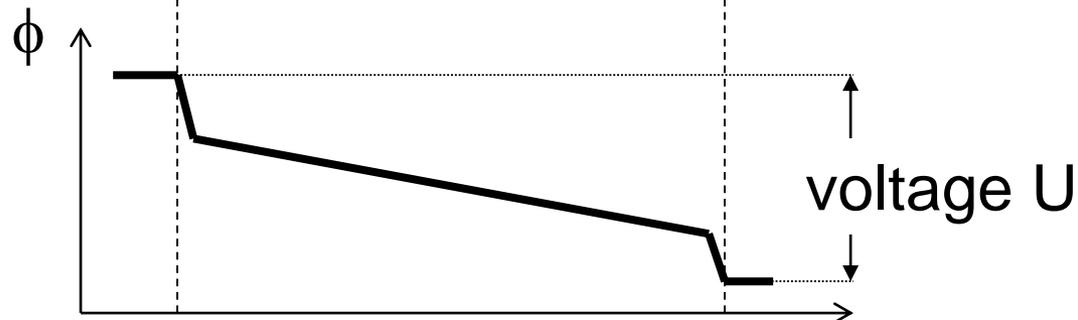


Anode

- e^- leave electrolyte and enter electrode
- electrode reaction: oxidation of species in the electrolyte

Cathode

- e^- leave electrode and enter electrolyte
- electrode reaction: reduction of species in the electrolyte

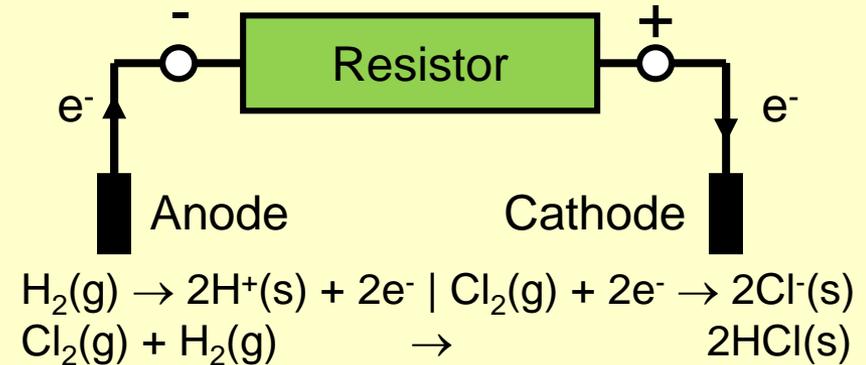


Galvanische Elemente und Elektrolysezellen

Galvanic cell

(batteries, fuel cells)

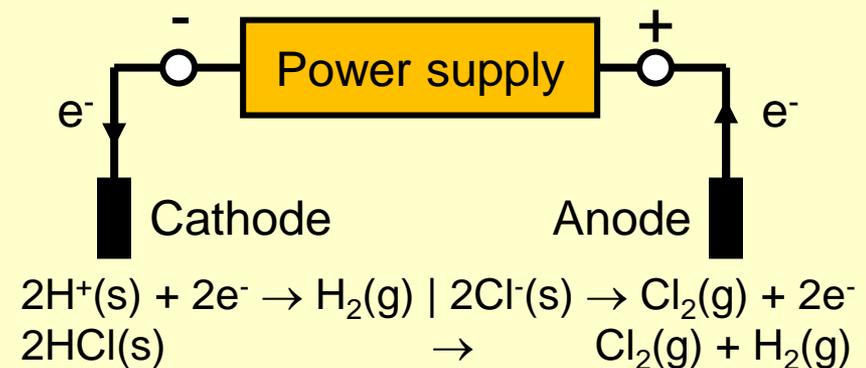
- spontaneous electrochemical reactions upon connection of electrodes
- energy flow:
chemical energy \rightarrow electrical energy



Electrolytic cell

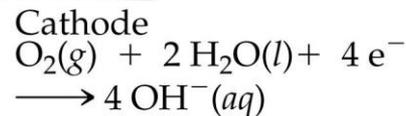
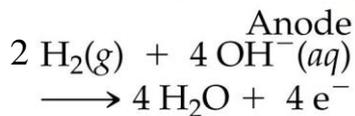
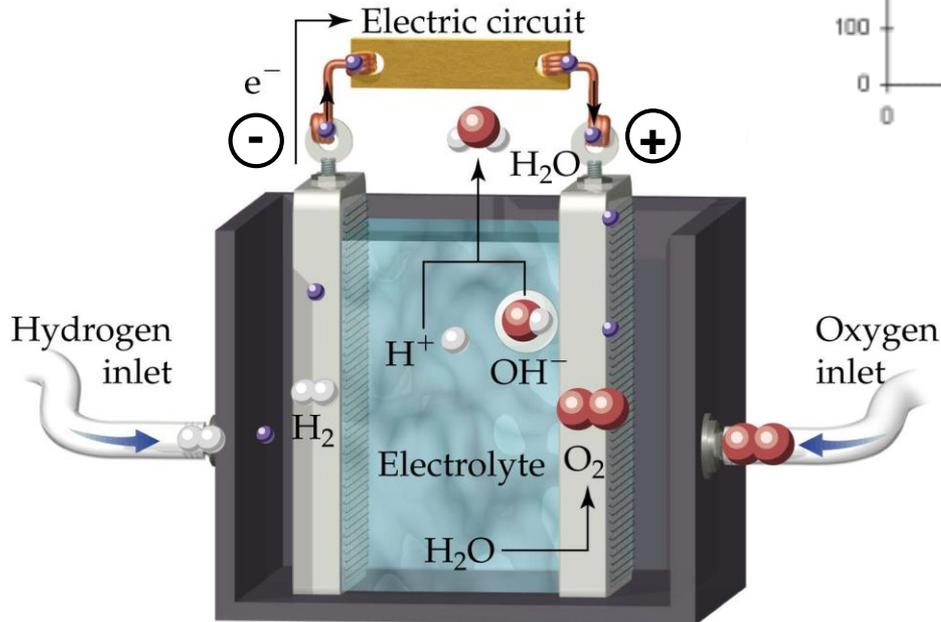
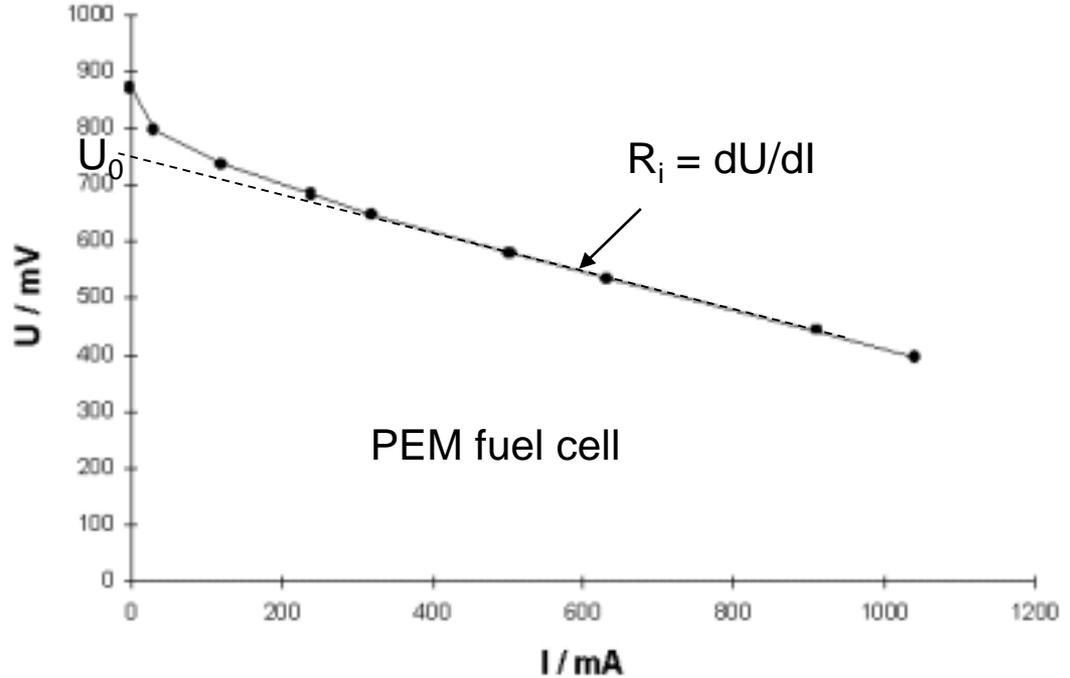
(electrolysis, electrosynthesis)

- electrochemical reactions induced by external current
- energy flow:
electrical energy \rightarrow chemical energy



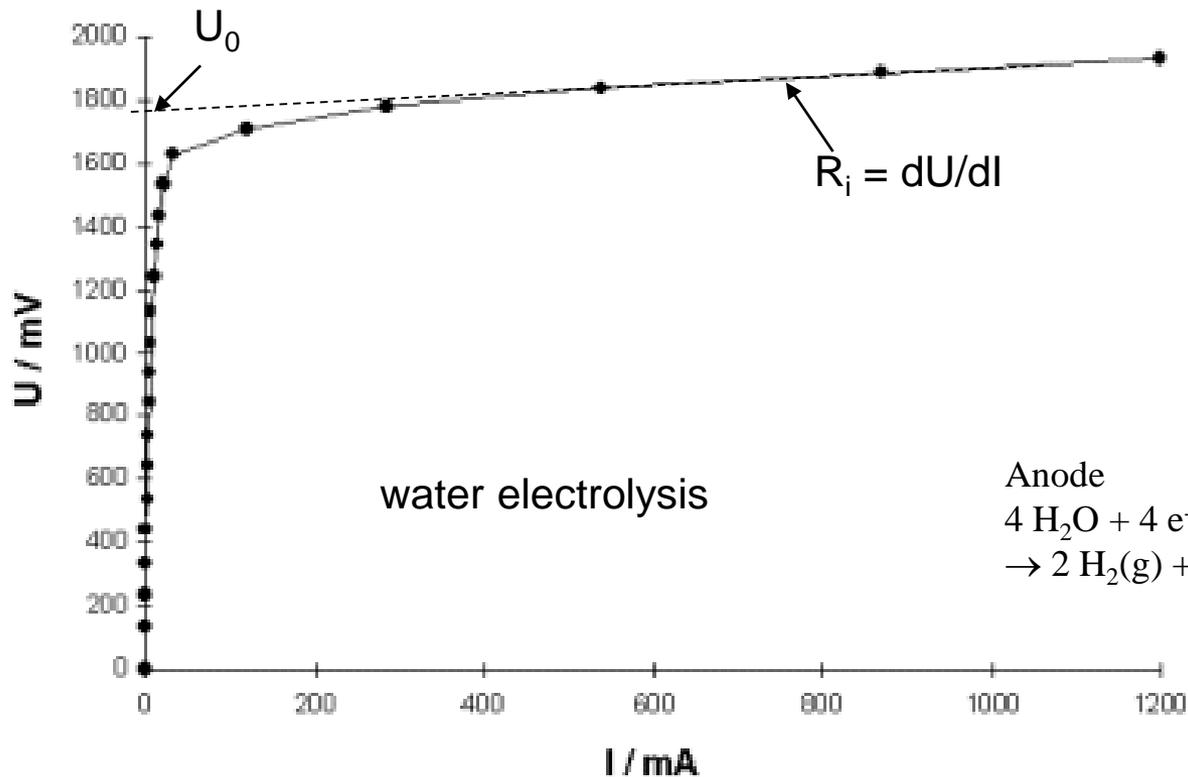
1 / 40 Galvanische Elemente

- spontaneous electrochemical reactions upon connection of electrodes
- energy flow: chemical energy → electrical energy
- examples: batteries, fuel cells



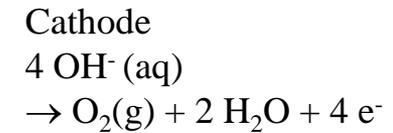
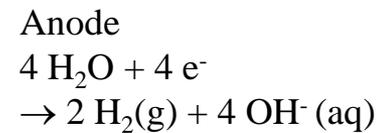
1 / 41 Elektrolysezelle

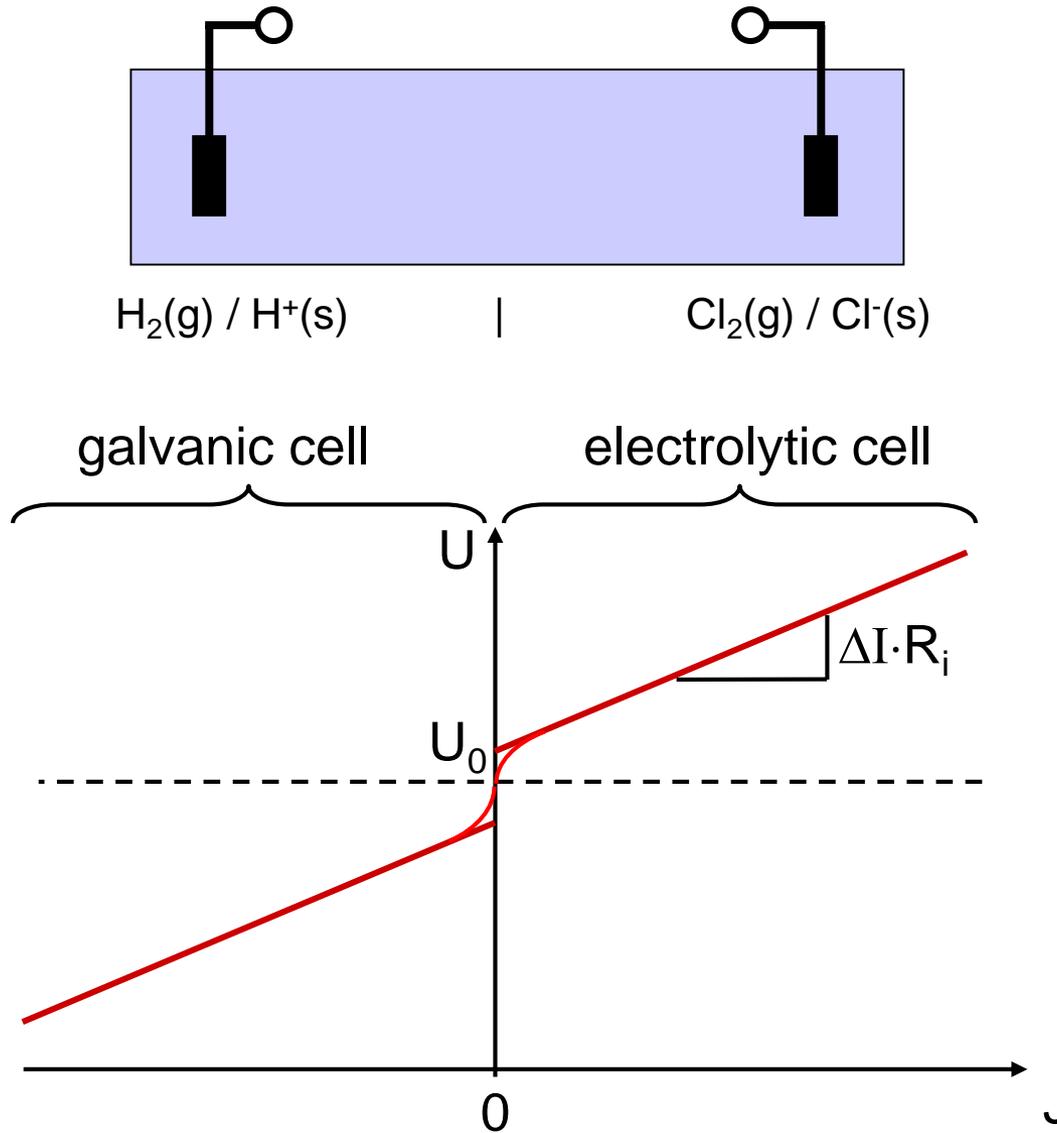
- electrochemical reactions induced by external current
- energy flow: electrical energy \rightarrow chemical energy
- examples: water electrolysis, electroplating



⊕

⊖





1. Faradaysches Gesetz:

Stöchiometrisches Verhältnis zwischen Elektronenfluß und umgesetzter Stoffmenge

$$Q = I \cdot t = \Delta m \cdot n \cdot e_0 \cdot N_A$$

$e_0 \cdot N_A \equiv F = 96494 \text{ C mol}^{-1}$; Faraday Konstante

$n \equiv$ Anzahl umgesetzter Elementarladungen pro Formeleinheit

$\Delta m \equiv$ umgesetzte Stoffmenge in Mol