

# Photovoltaik und Elektrofahrzeuge im Energieverbund

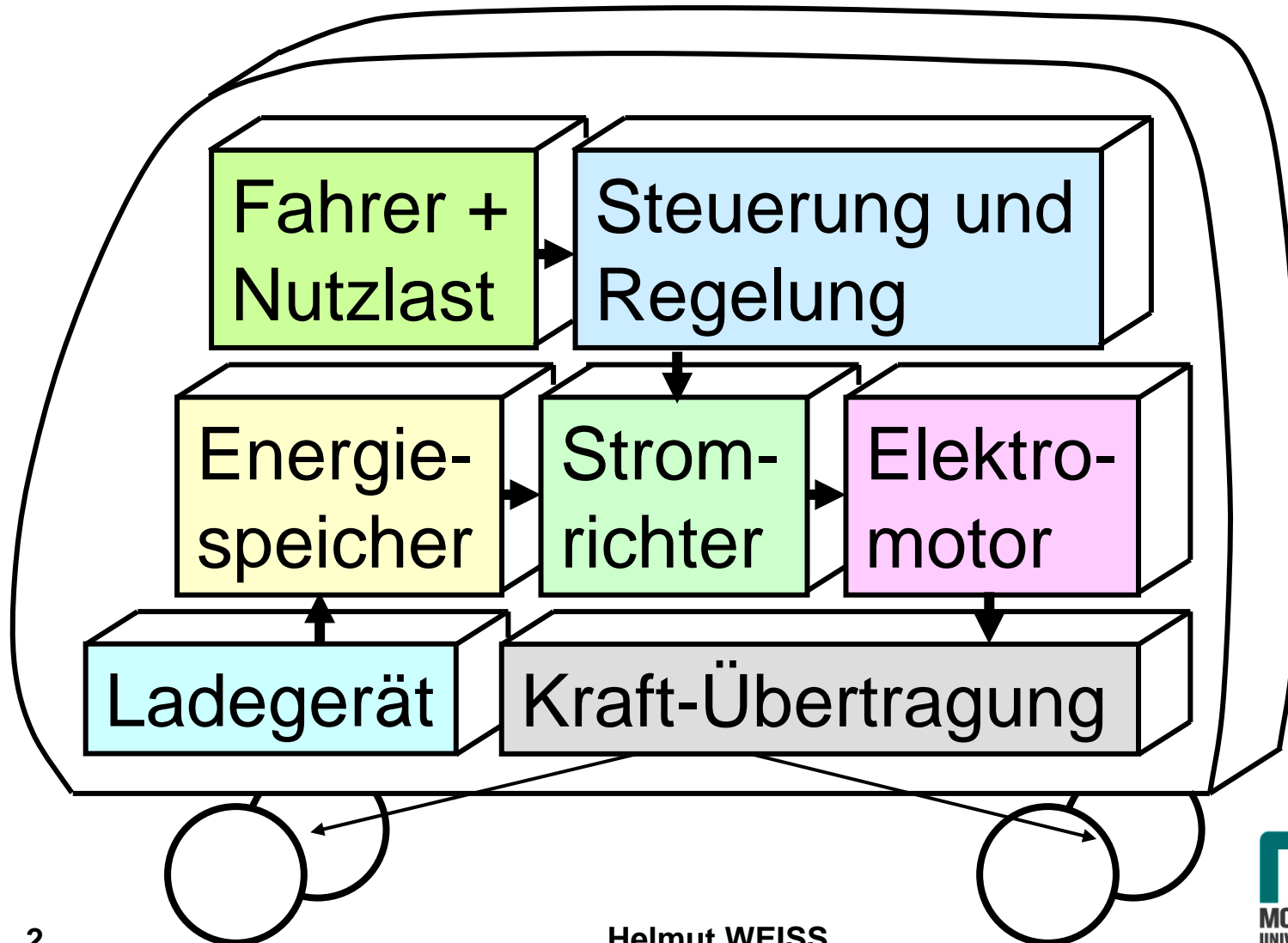
Dr. Helmut WEISS

Institut für Elektrotechnik, Montanuniversität Leoben

---

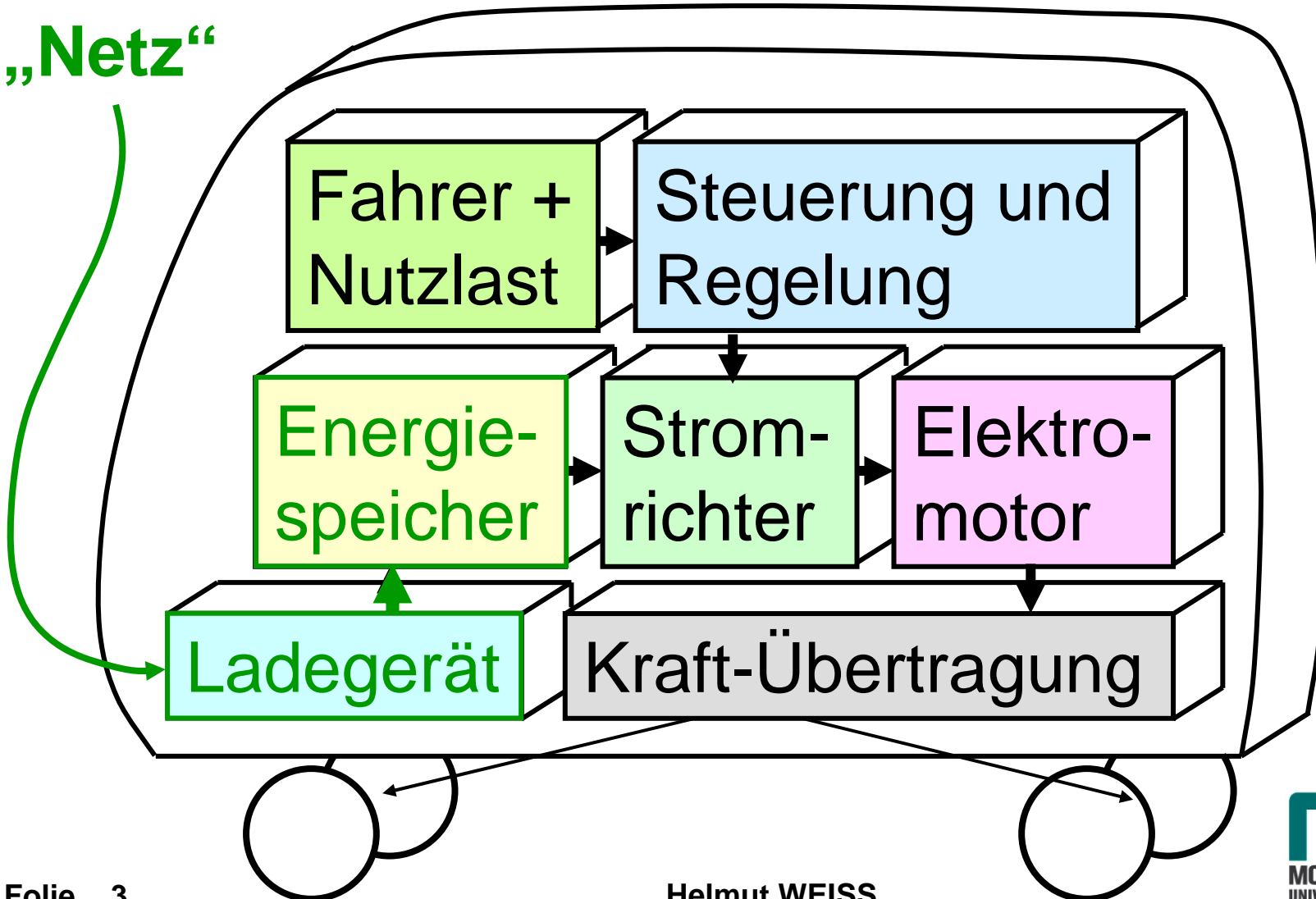
**Inhalt:** Elektrofahrzeuge und deren Batterien  
Batterie-Eigenheiten, Ladegeräte  
Photovoltaik-Energiewandlungskette  
Netzbetrieb, dynamische Regelung  
Potentiale für Energieverbund

# Elektrofahrzeug, Blockdiagramm

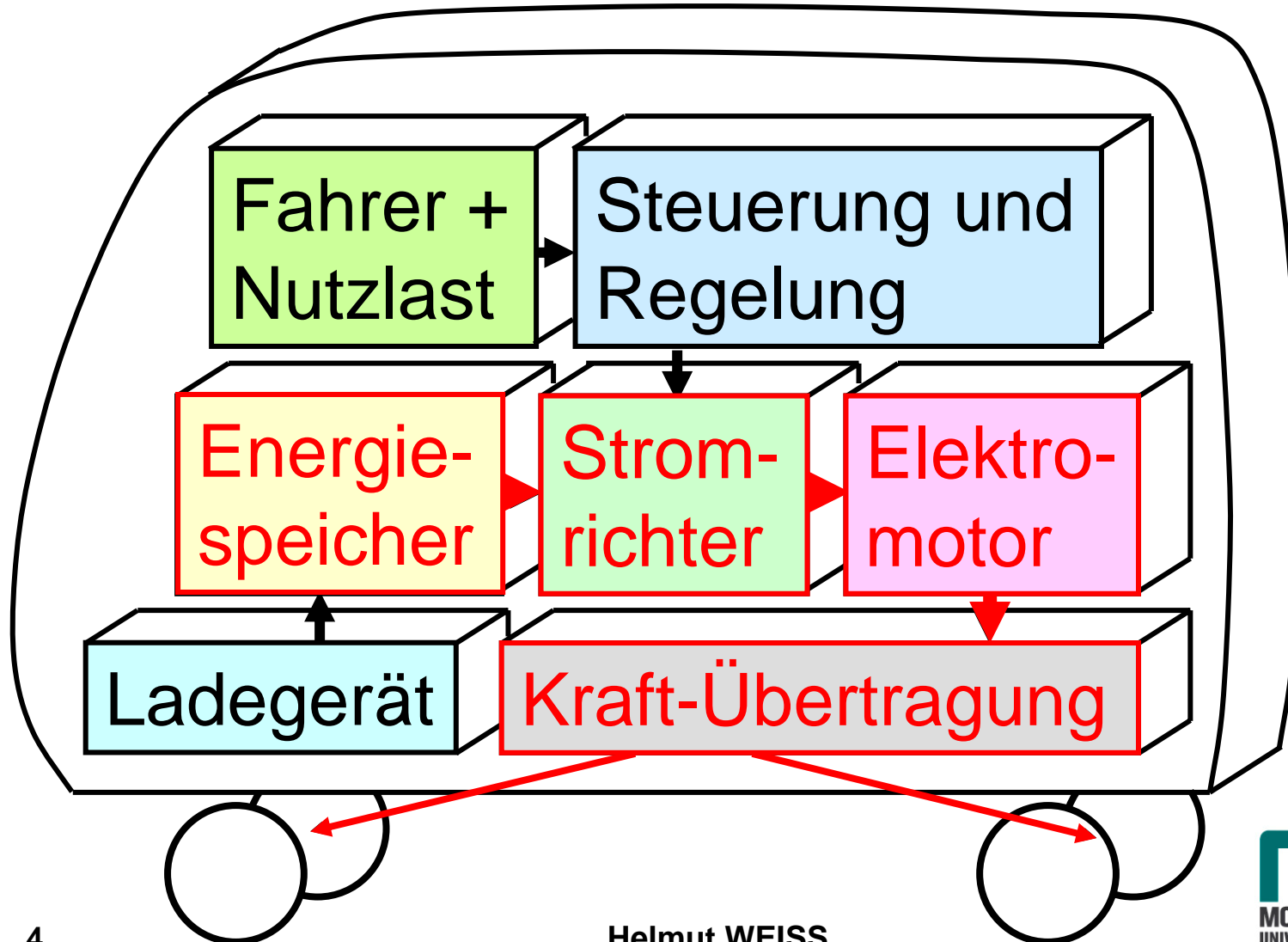


# Elektro-Fz, Energieflüsse **Laden**

„Netz“

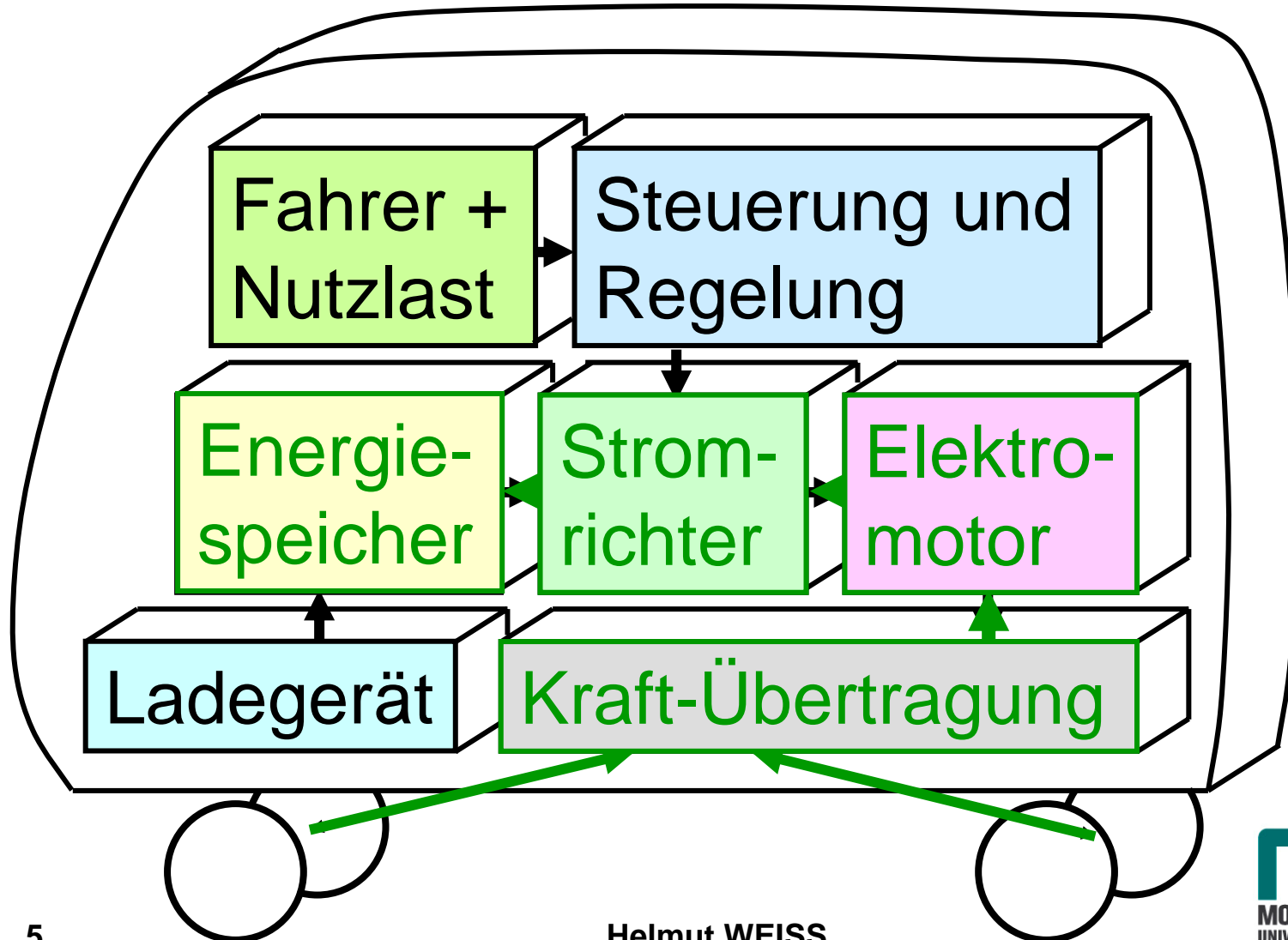


# Elektro-Fz, Energieflüsse **Fahren**





# Elektro-Fz, Energieflüsse Bremsen

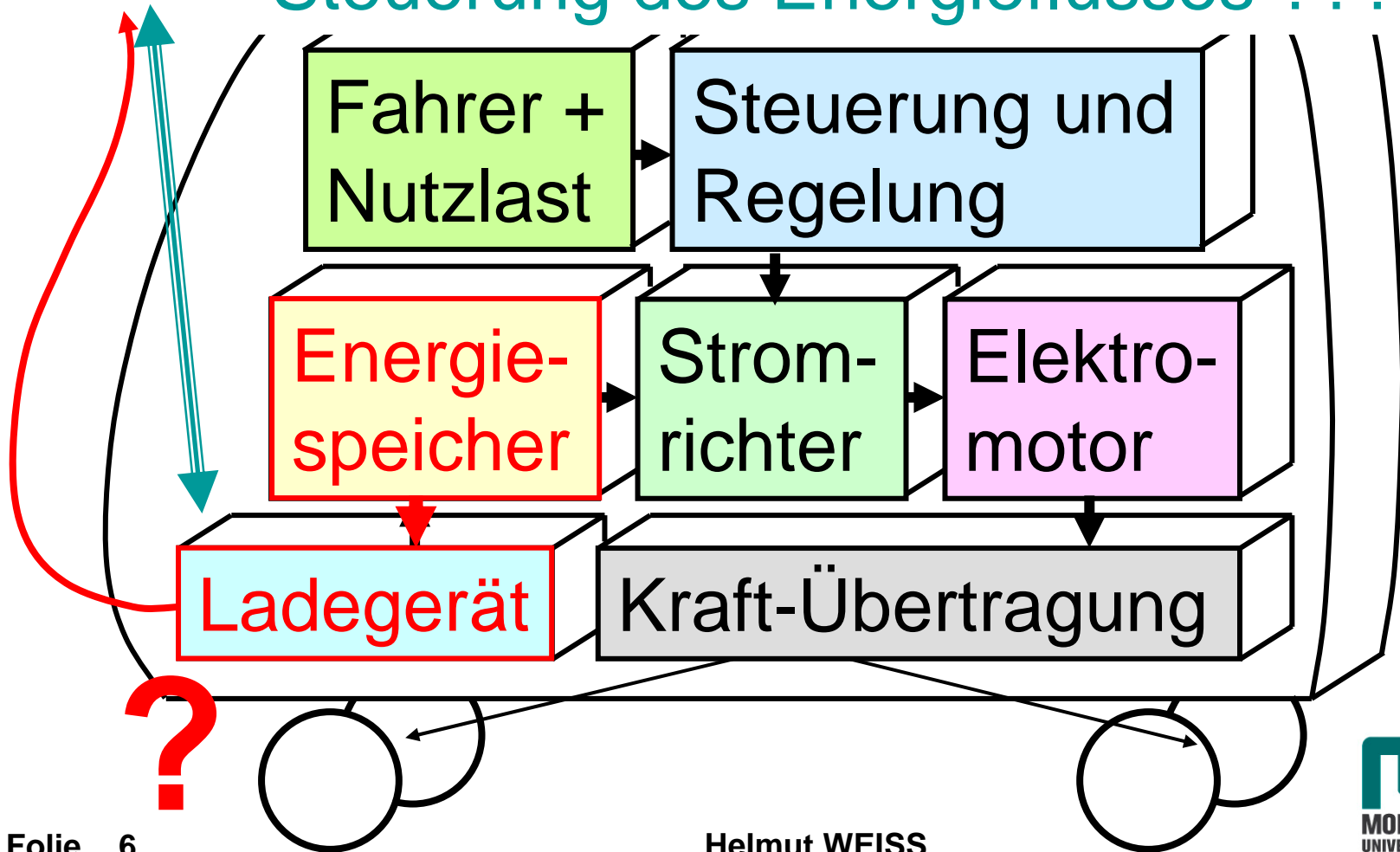


# Elektro-Fz in Netzurückspeisung

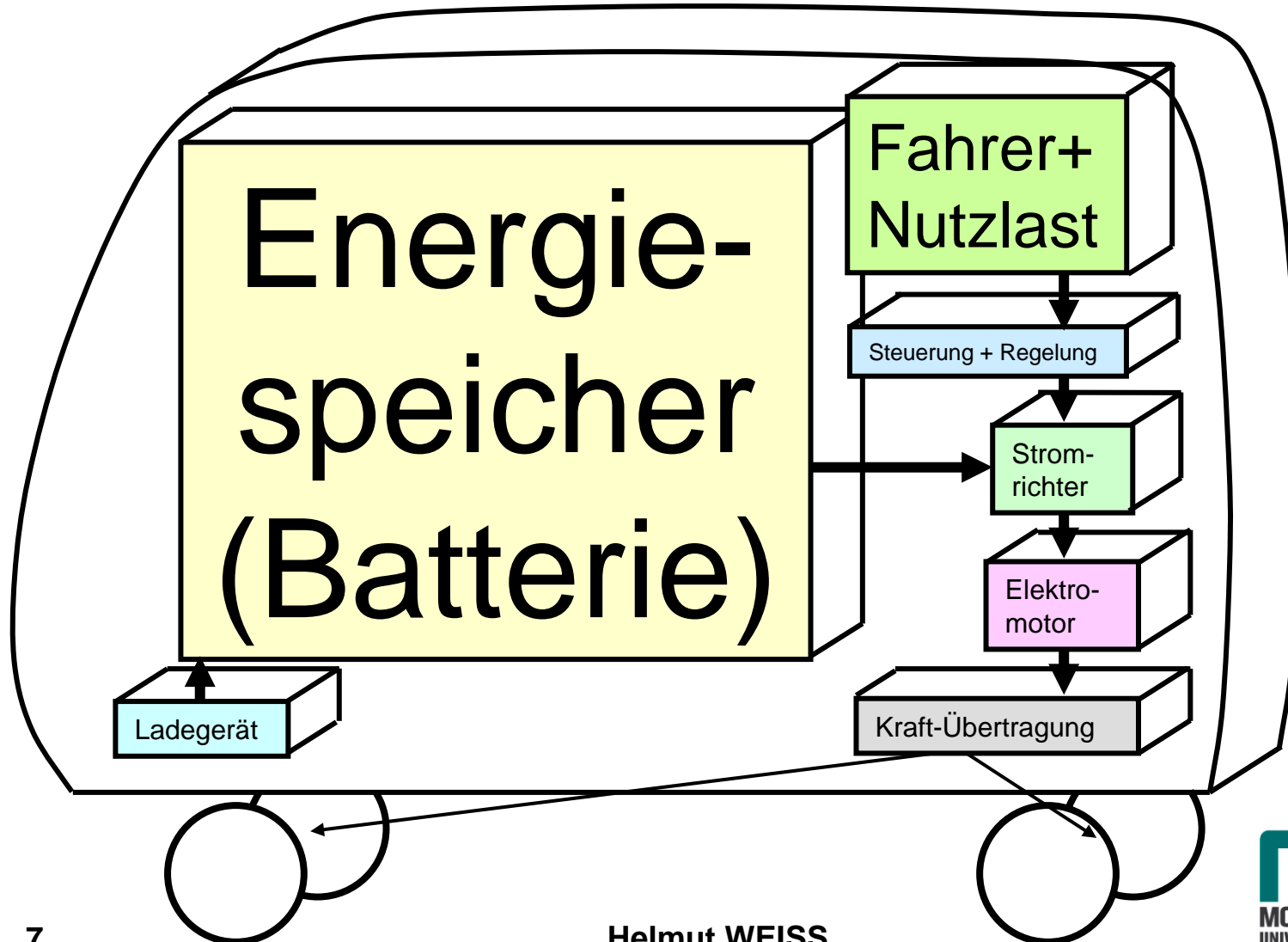
Kommunikation ???

Steuerung des Energieflusses ???

„Netz“



# „Transporter für eigene Batterie“





# Beispiel Nissan Micra Elektro



12 V 100 Ah  
 $\text{Pb-H}_2\text{SO}_4$

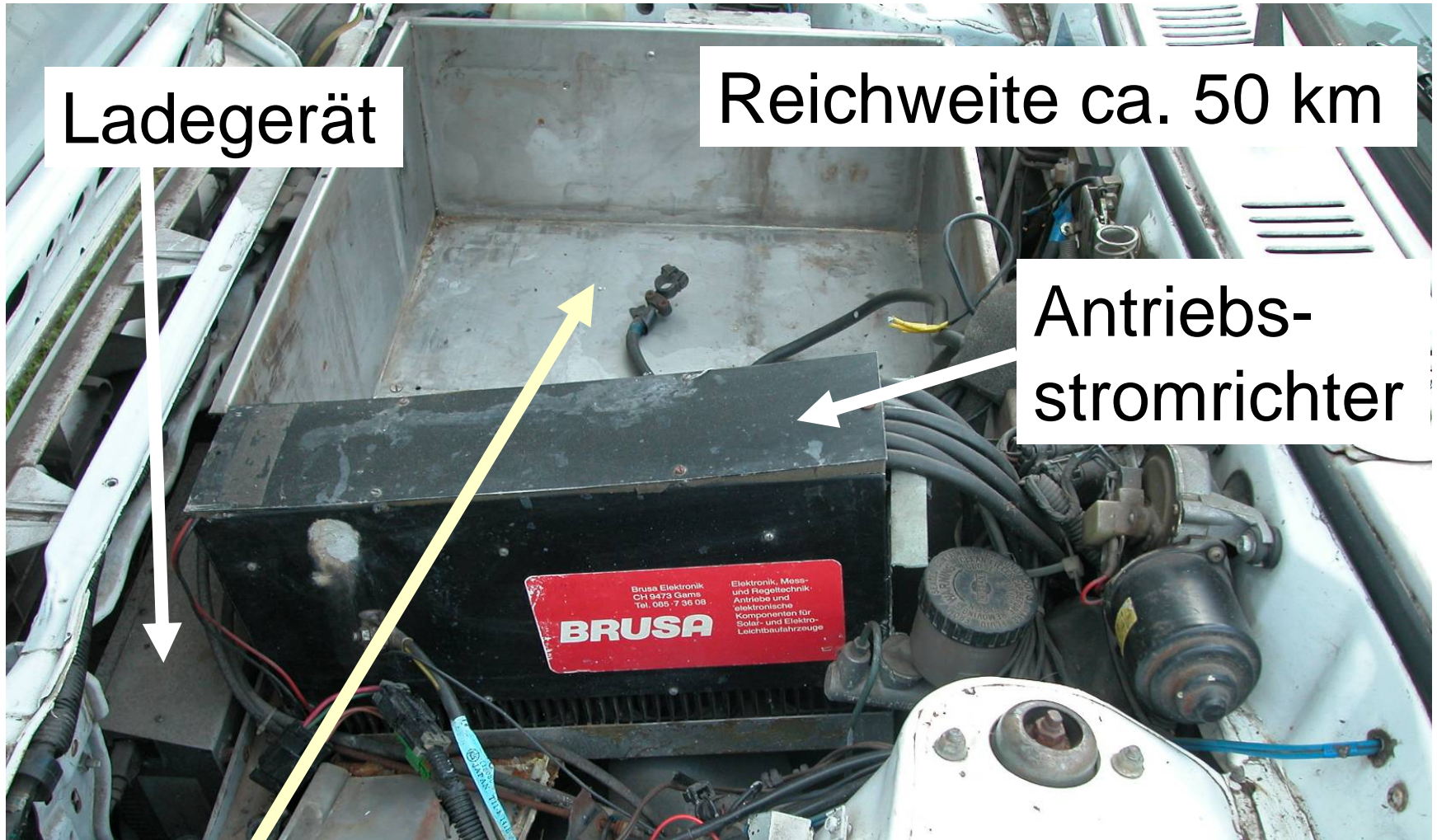
11 Stück => ges.

330 kg

$P_n = 12 \text{ kW}$

$U_n = 132 \text{ V}$

# Beispiel Nissan Micra Elektro



Ladegerät

Reichweite ca. 50 km

Antriebs-  
stromrichter

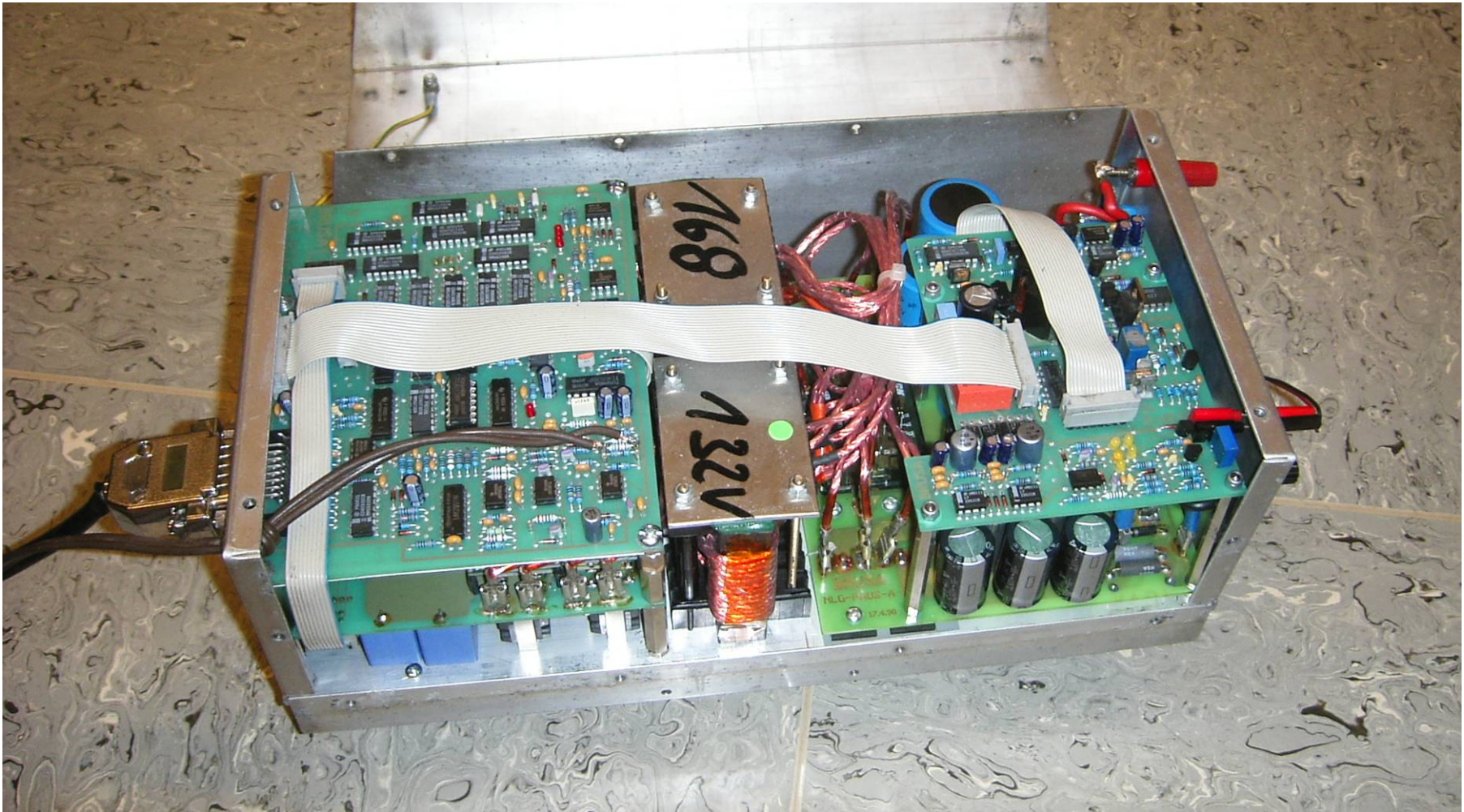
Platz für 6 Batterien (+5 im „Kofferraum“)

# Antriebsstromrichter



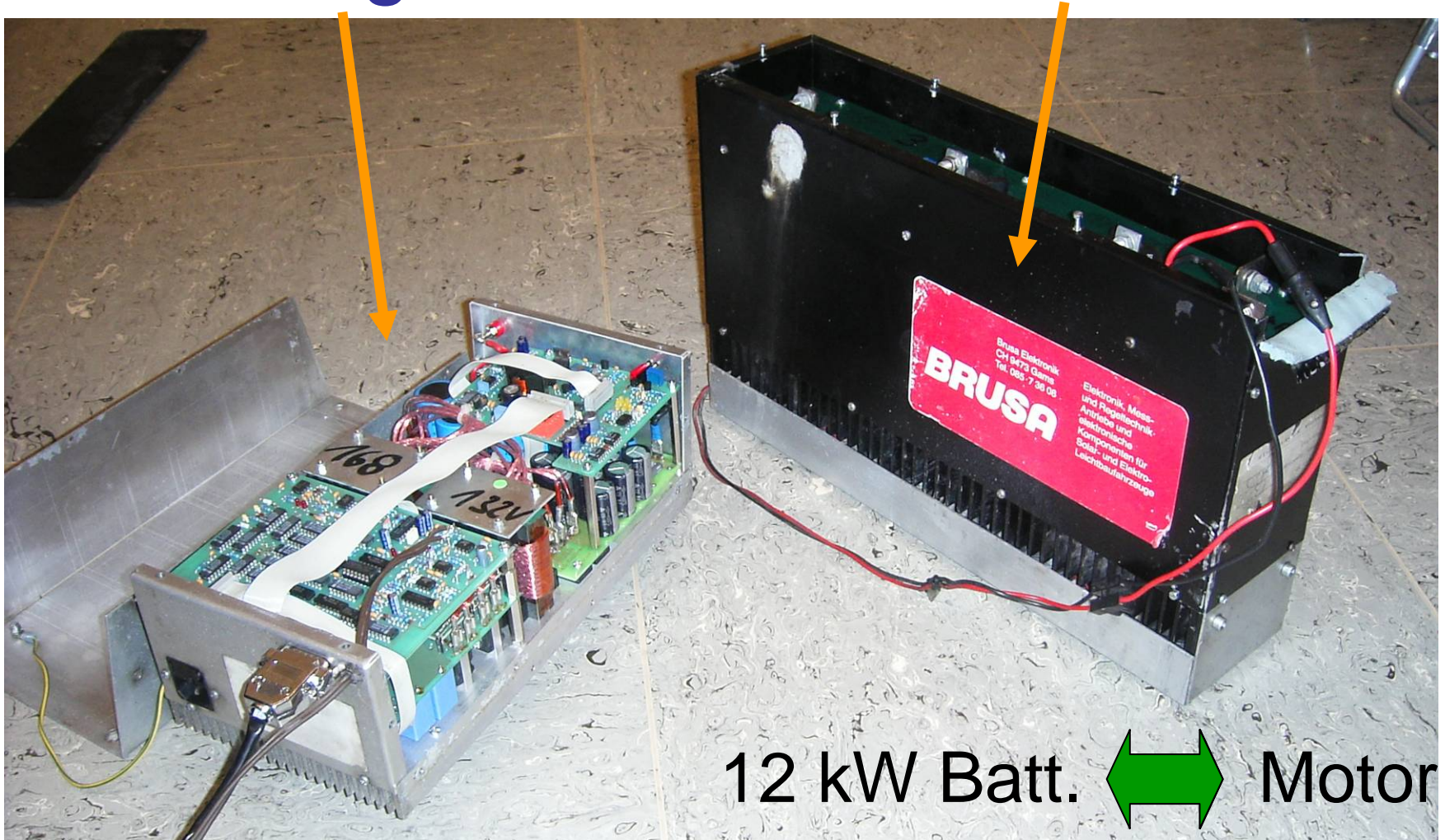
12 kW Nennleistung (dd), max. 20 kW

# Batterie(n)-Ladegerät



Ca. 3 kW Nennleistung (132 V + 12 V)

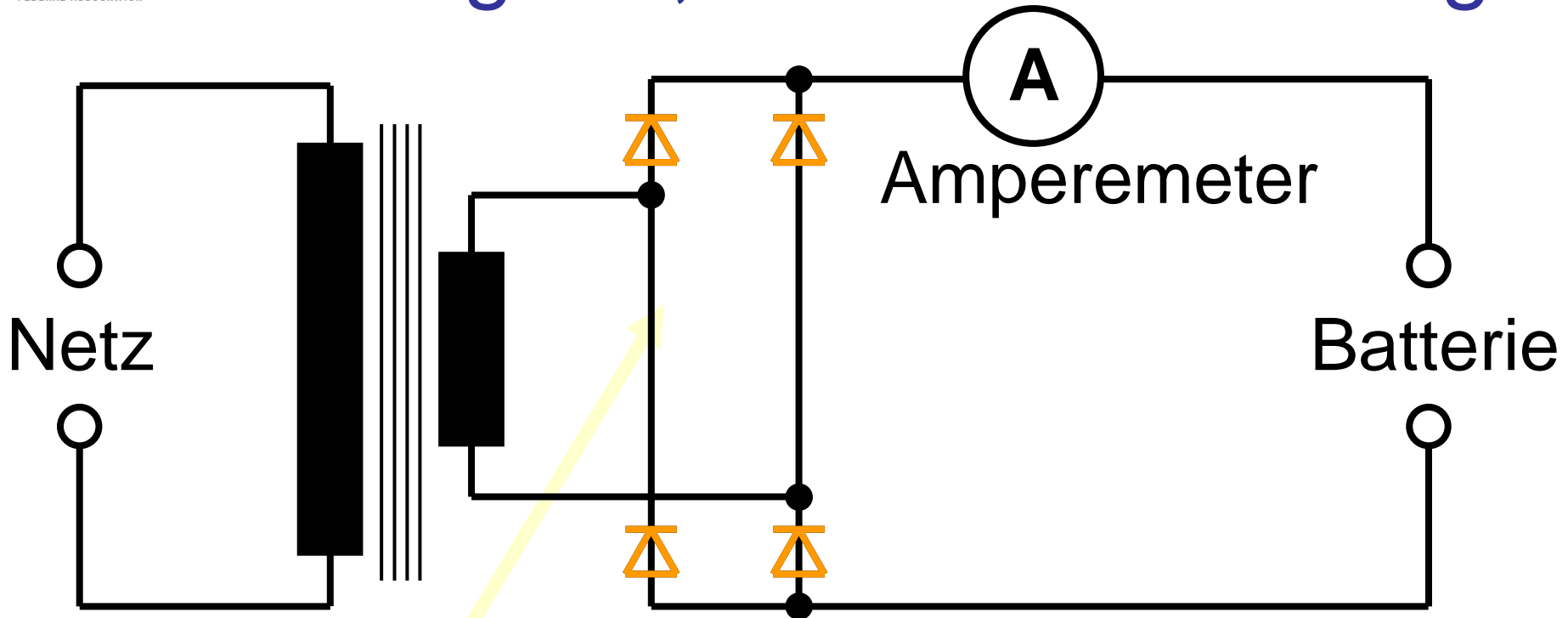
# Ladegerät + Antriebsstromrichter



3 kW Netz  Batterie

12 kW Batt.  Motor

# Ladegerät, einfache Schaltung



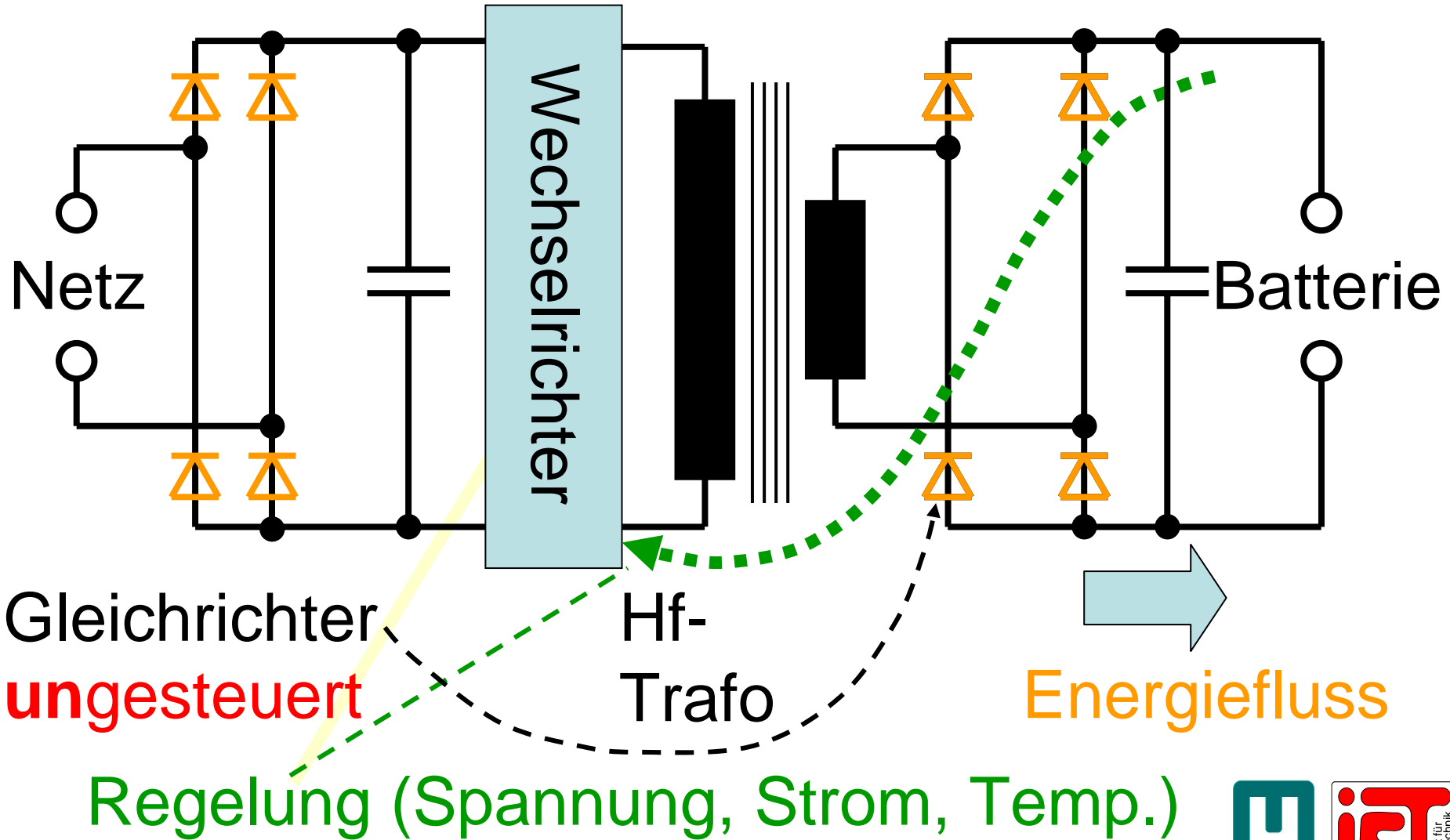
50 Hz -  
Transformator

Gleichrichter  
**ungesteuert**

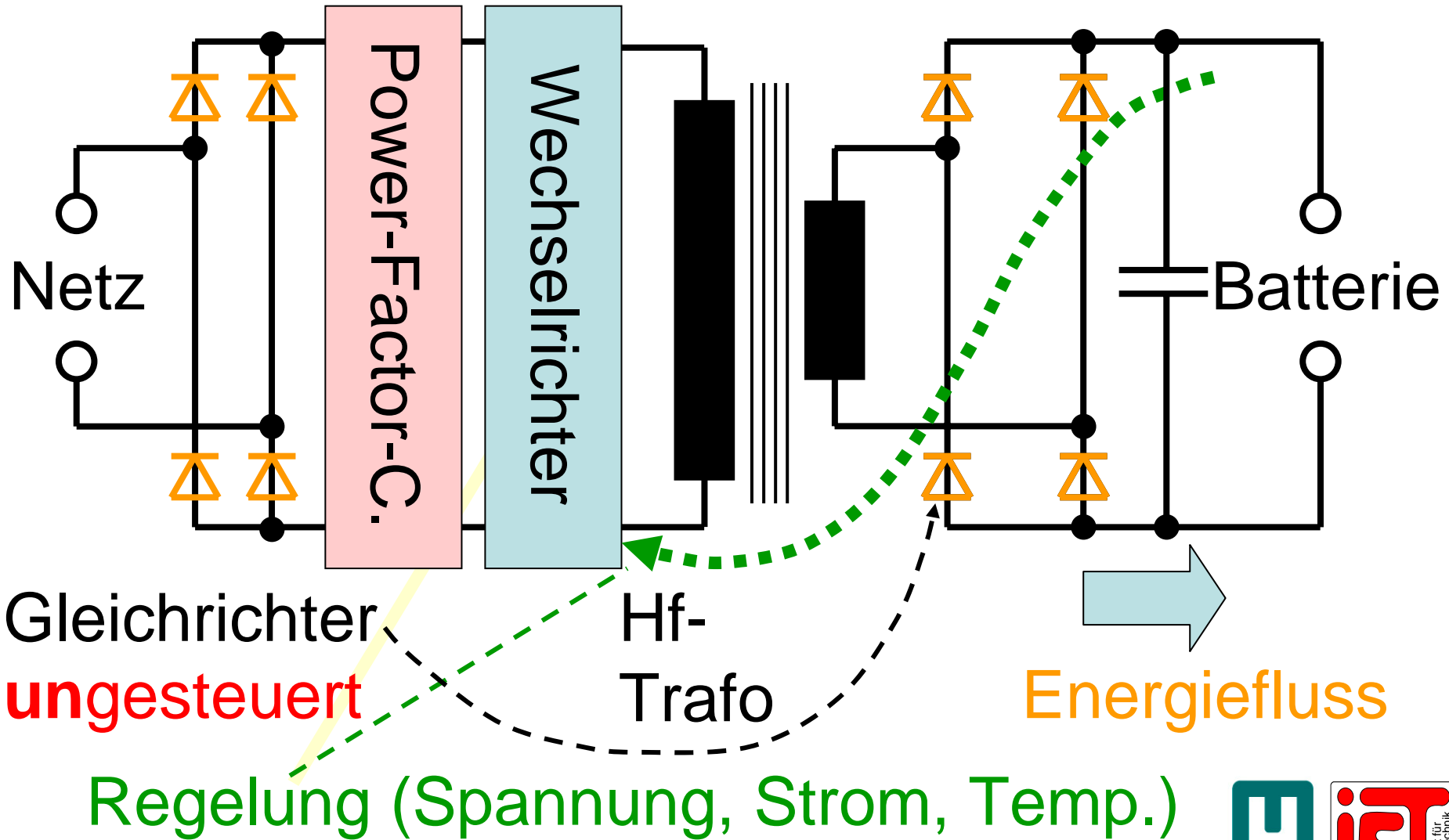
Energiefluss

**UNGEEIGNET FÜR ELEKTRO-FZ**

# Ladegerät, Hochfrequenz-Trafo

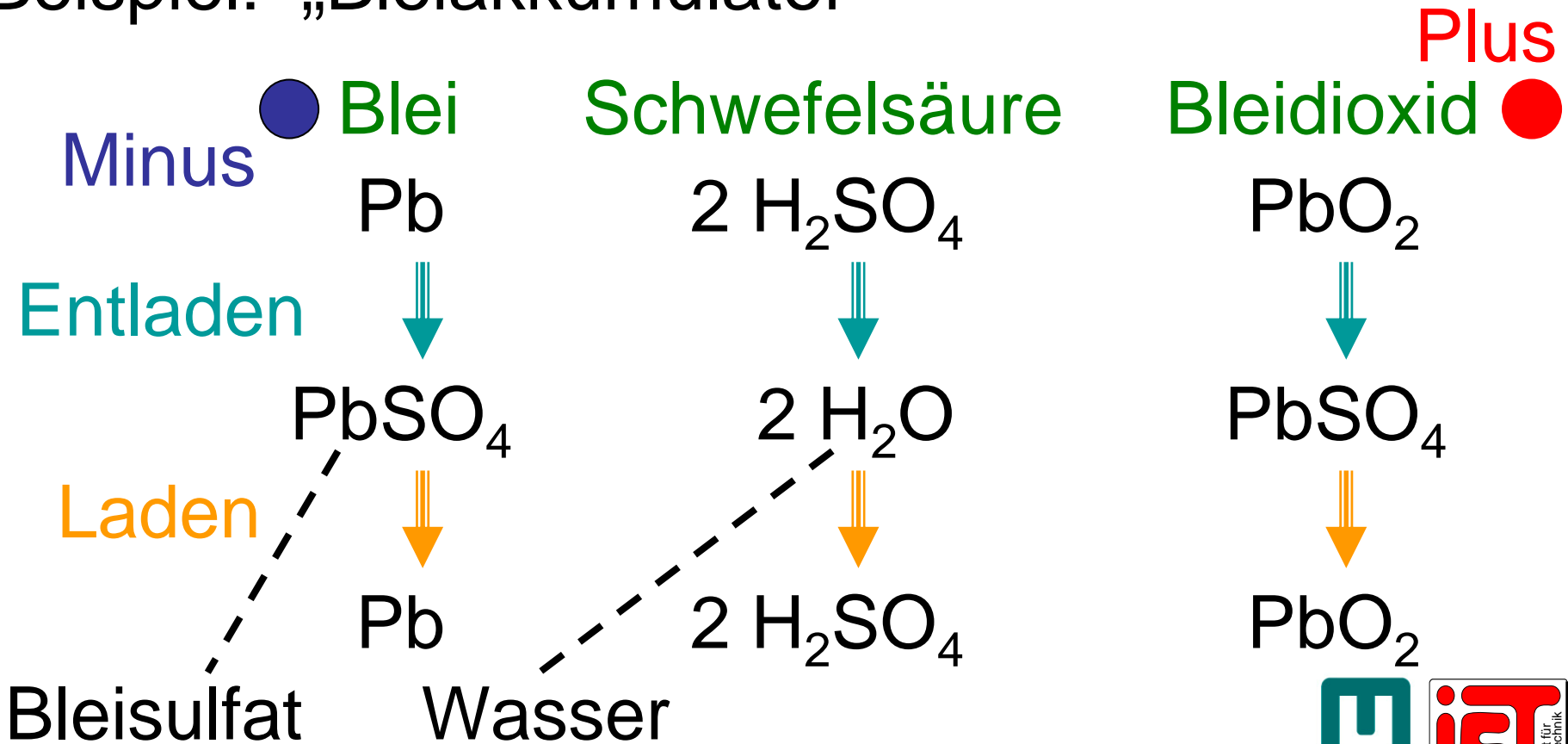


# Ladegerät, Hf-Trafo, PFC



# Sekundärbatterie = reversible elektrochemische Zelle

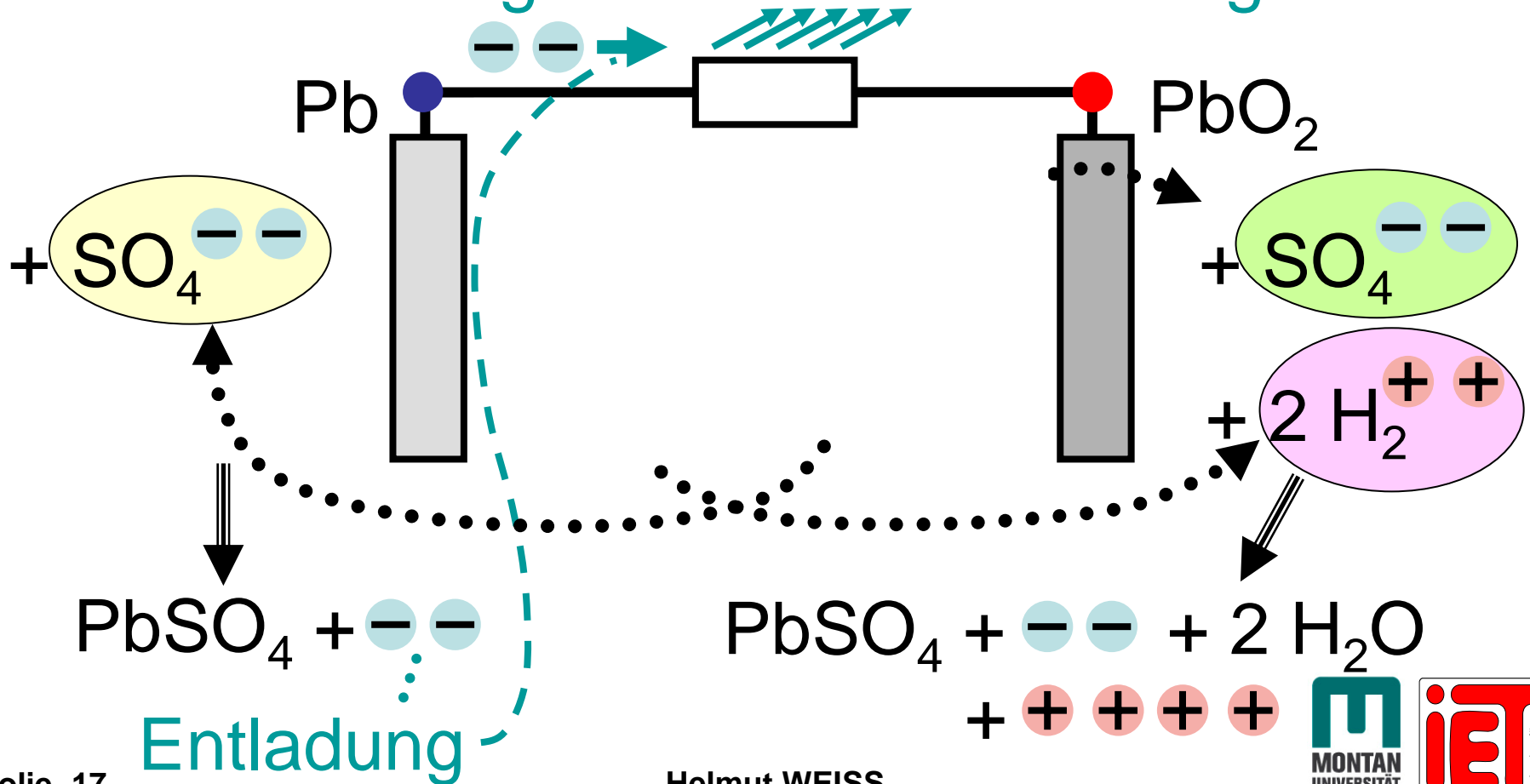
Beispiel: „Bleiakkumulator“



# Entladen des Bleiakkus

Start: Pb      2 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>      PbO<sub>2</sub>

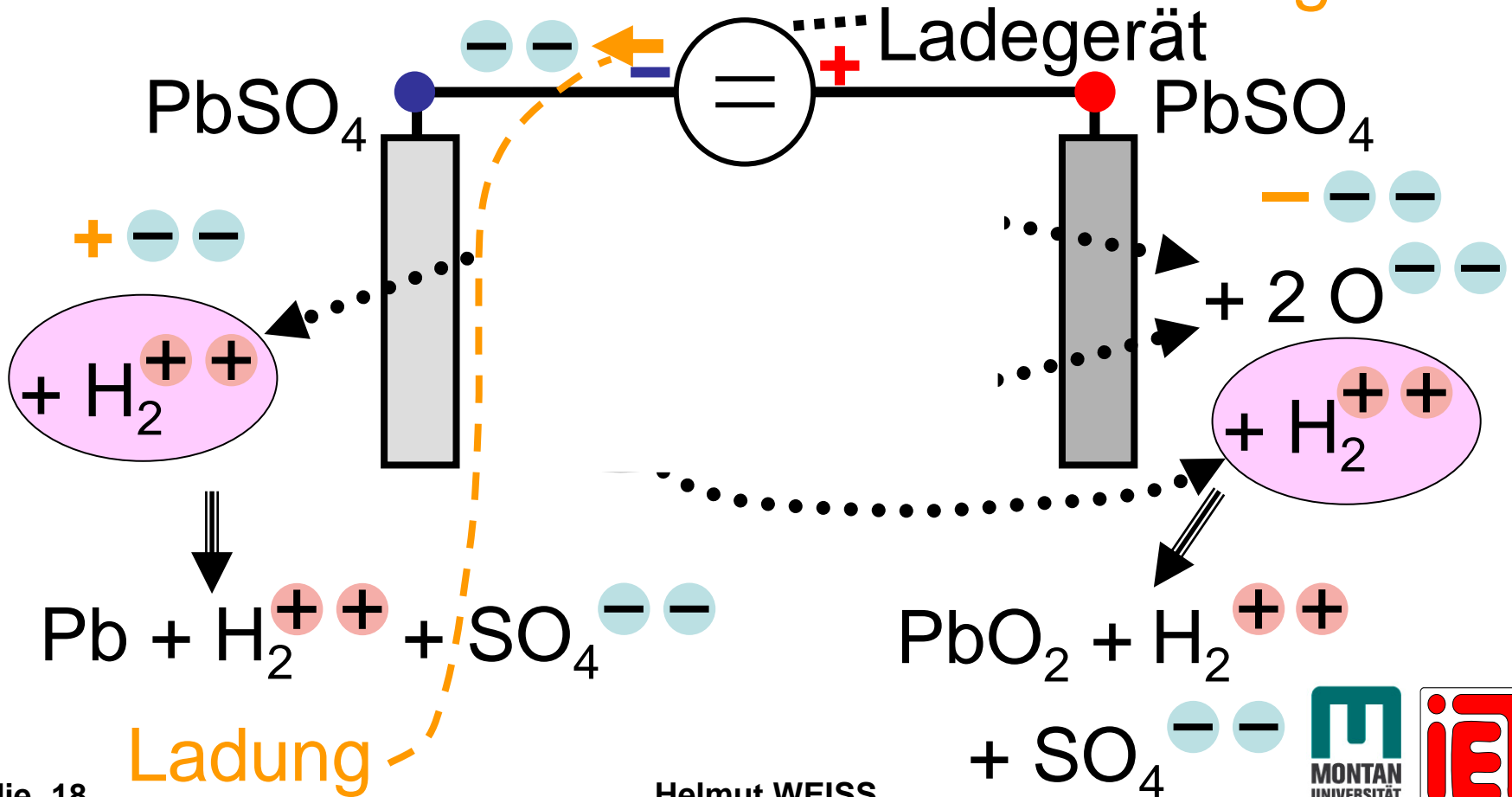
Akku: Abgabe elektrischer Energie



# Laden des Bleiakkus, vereinfacht

Start:  $\text{PbSO}_4$      $2 \text{H}_2\text{O}$      $\text{PbSO}_4$

Akku: Aufnahme elektrischer Energie



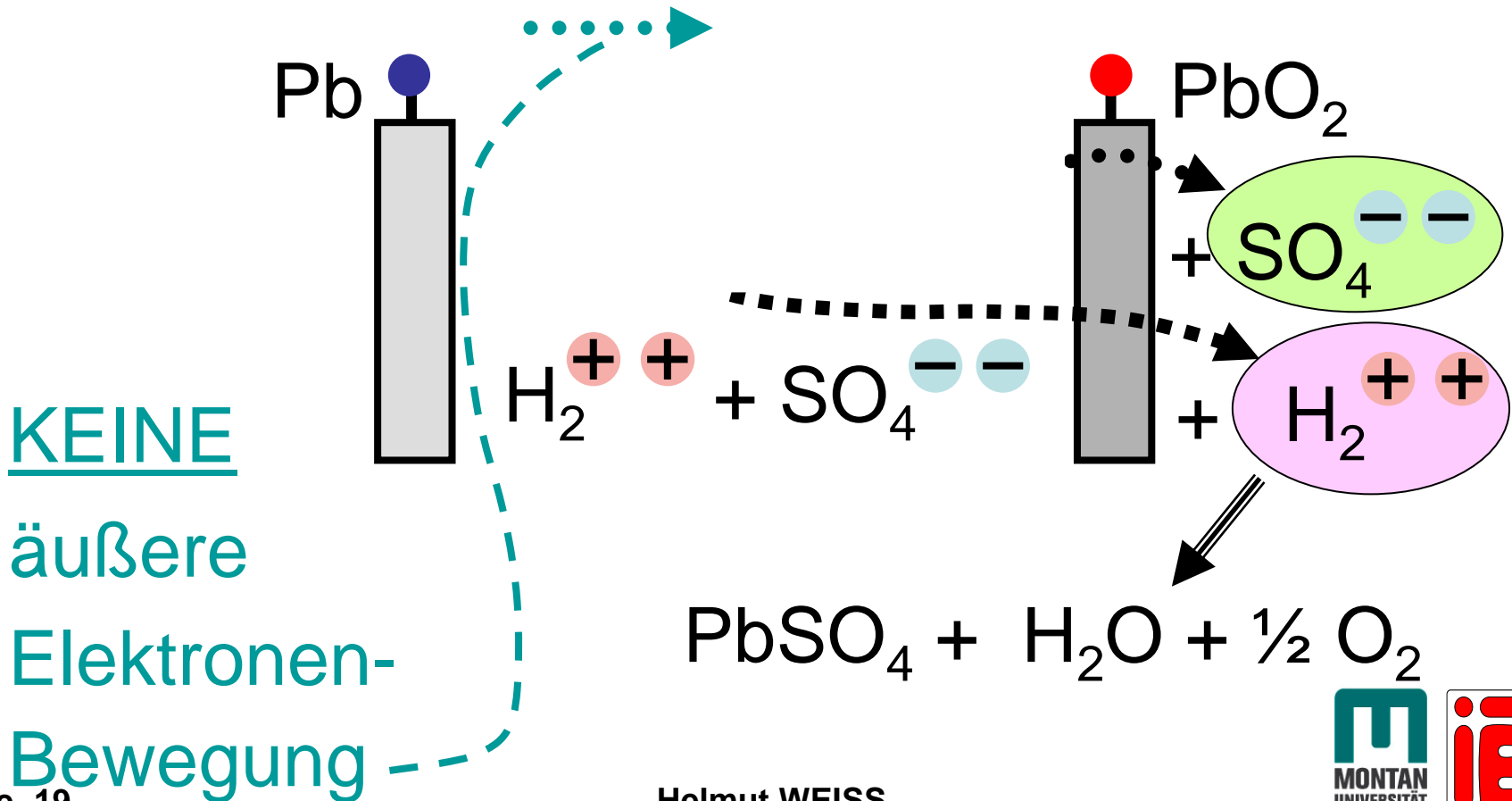
# Selbstentladung des Bleiakkus

Geladen: Pb

$2 \text{H}_2\text{SO}_4$

$\text{PbO}_2$

Akku: KEINE Abgabe elektrischer Energie



# Anforderungen, „Wunschliste“

Kostengünstig, robust bezüglich Ladung, Entladung, Tiefentladung, temperaturunabhängig

Für hohe Spitzenströme geeignet, ohne dass dadurch Rückgang der Kapazität oder Zyklen

Spannungsstabil, geringe Verluste (Laden und Entladen)

Hohe Leistung pro Masse

Hohe Energie pro Masse (wie z.B. Benzin)

Hohe Zyklenzahl ohne Kapazitätsverlust

# Verfügbare Batterietechnologien

## Sekundär-Batterie, Zellenreihenschaltung

Blei-Schwefelsäure: kostengünstig, robust, schwer, traktionstechnisch ungünstig, stationär gut wenn vollgeladen und Bereich 10 ... 20 ° C

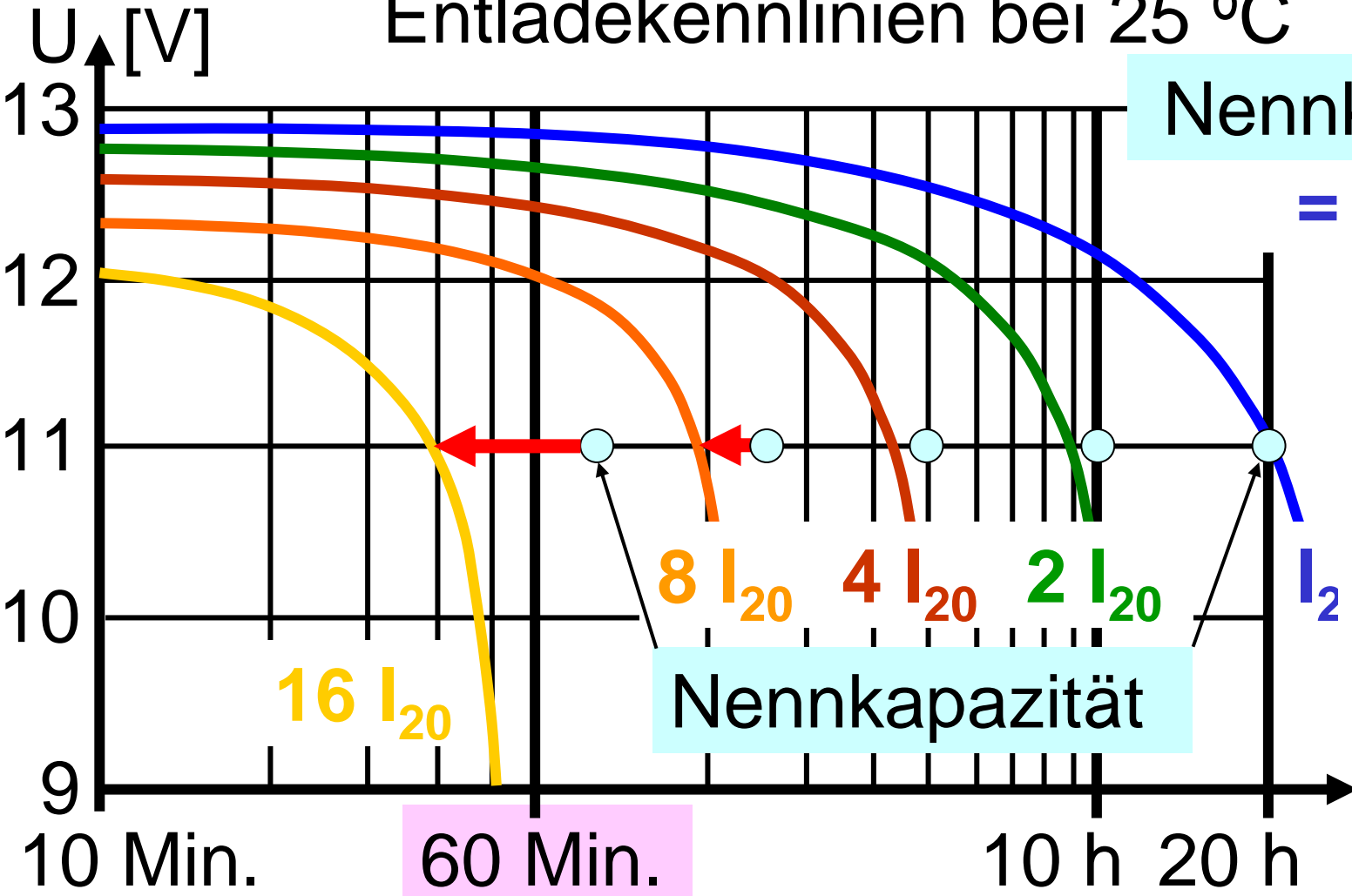
Nickel-Cadmium: E-Faktor 1,5 - 2 zu „Blei“, hohe Ströme, gut für tiefe Temp., aber Memory-Effekt

Nickel-Metallhydrid: Faktor 2 - 2,5 zu „Blei“, allg. wie NiCd, verringerter Memory-Effekt

Lithium-Ionen / Lithium-Eisen-Phosphat: E-Fakt. 3 - 4 zu „Blei“, ohne Memory-Effekt

# Blei-Schwefelsäure-Batterie, U/I

Entladekennlinien bei 25 °C



Nennkapazität

$$= I_{20} \cdot 20 \text{ h}$$

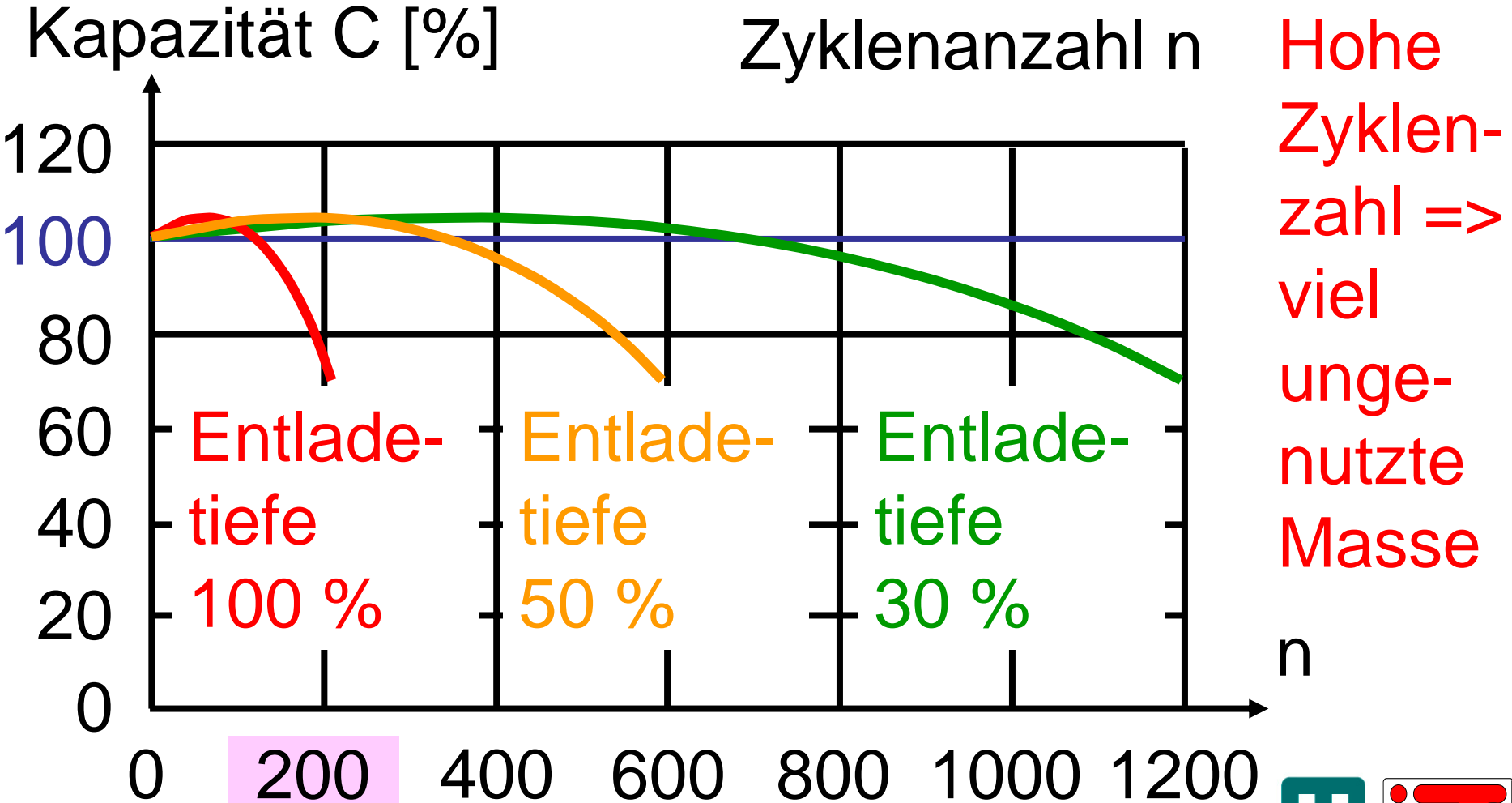
$$= 2 I_{20} \cdot 10 \text{ h}$$

$$= 4 I_{20} \cdot 5 \text{ h}$$

$$= 16 I_{20} \cdot 1,25 \text{ h}$$

Nennkapazität

# Blei-Schwefelsäure-Batterie, C(n)



# Blei-Schwefelsäure-Batterie, Lad.

Ladevorgang: relativ unkritisch ( $H_2$ , Kurzschluss)

Strombegrenzt, 12 V: höhere Spannung (14,4 V) für maximale Energie, dann Erhaltungsladung (ca. 13,5 – 13,8 V) unter Gasungsspannung

„Pufferung“: Dauerladung unter begrenzter Spannung; „dicht“ bzw. Nachfüllen von Wasser

Verbleiben in entladene Zustand auch schon über Stunden => Sulfatierung (irreversible Passivierung der Batterie), Einfriergefahr der entladene Batterie

# Batteriekurzschluss (1)

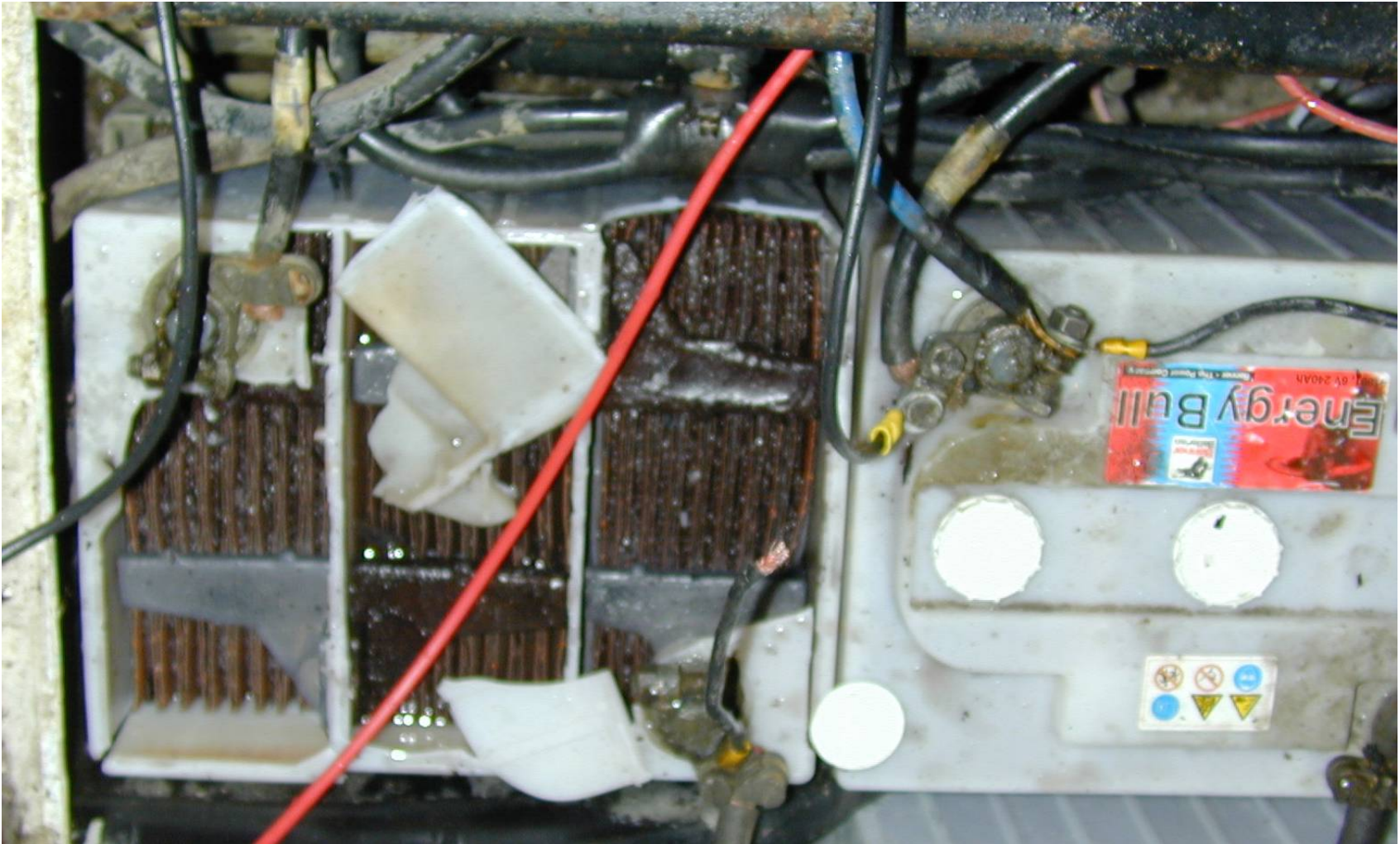


Foto Dr. Aschenbrenner, Institut für Elektrotechnik

Folie 25

Helmut WEISS

# Batteriekurzschluss (2)



Foto Dr. Aschenbrenner, Institut für Elektrotechnik

# Nickel-Cadmium, -Metallhydrid

C: Energie-Faktor/kg 1,5 bis 2,5 zu Pb-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Sehr gut geeignet für hohe Ströme, ohne dass Kapazität absinkt, und tiefe Temperaturen

Ungeladener Zustand unkritisch (Lebensdauer)

Dauer-Erhaltungsladung führt zu Memory-Effekt (fortlaufender Verlust der nutzbaren Kapazität, irreversibel) => zwangsweise Zyklen fahren

Aufwändigere Ladeverfahren (Temperatur!)

Nickel-Metallhydrid: C↑, Memory-Effekt↓

# Lithium-Ionen, Li-Eisen-Phosphat

Hohe Zellspannung ( $>3V$ ), geringe Masse / kWh

Lithium-Eisen-Phosphat: geeignet für hohe Ströme ohne Reduktion der Kapazität

Sehr gute Leistungs- und Energiedichte (kW/kg, kWh/kg), Energie/kg: Faktor 3 - 4 zu „Blei“

Sehr aufwändige Ladetechnik (Spannung pro Zelle, Temperatur), aber schnellladefähig

„Passive / active Balancing“ => Ausgleich der Zellspannungen / Energien über Batterie hinweg

Hohe Zyklenzahl, Lebensdauer (?)

# Lithium-Eisen-Phosphat-Batterie

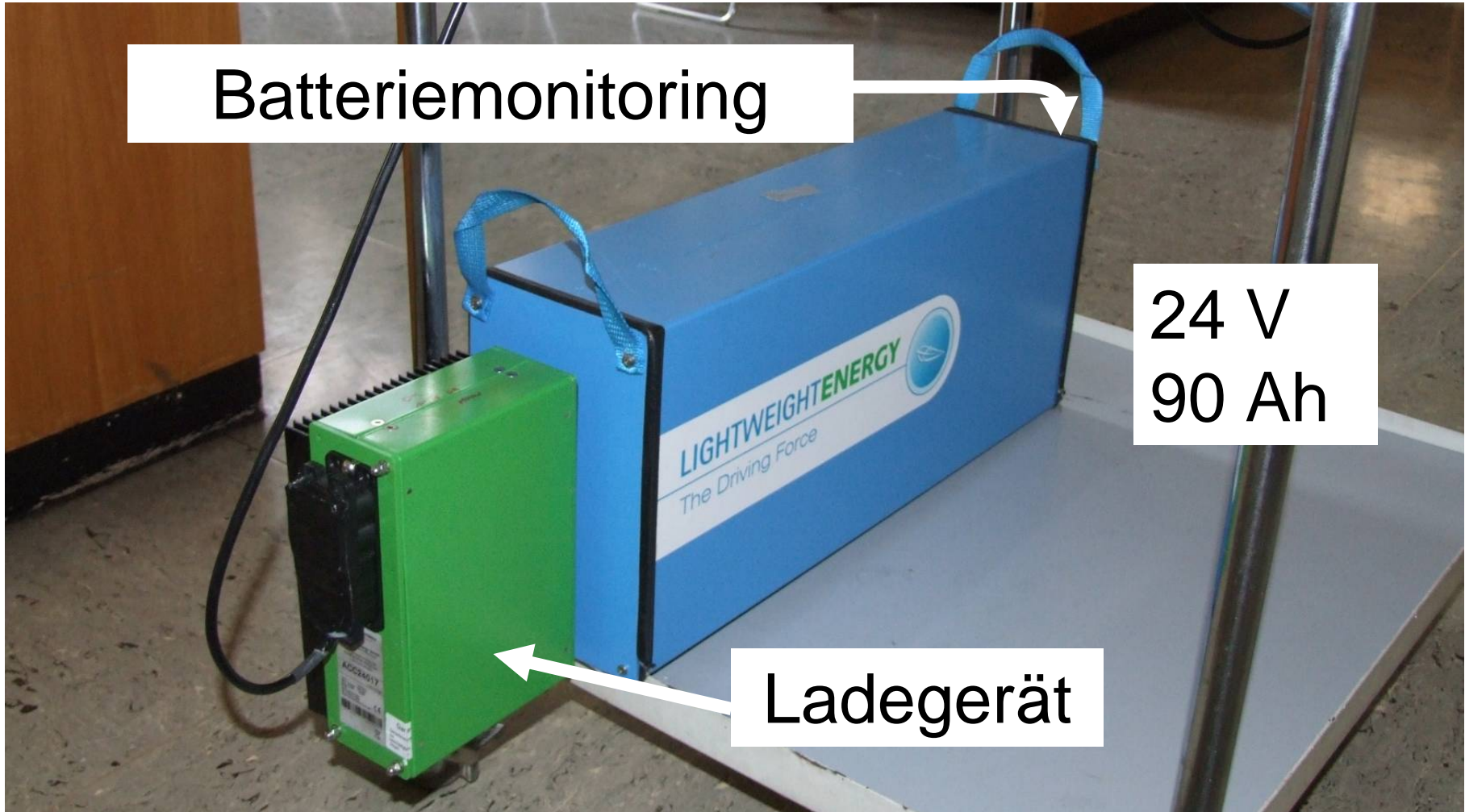
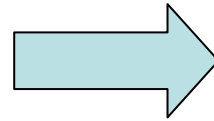


Foto Dr. Aschenbrenner, Institut für Elektrotechnik

„Batterie“



BATTERIE

- Behelfsmäßiger 15 km : 1 kg Diesel oder 30 ...  
100 kg Batt.
- Aufwändiger  $\ominus \Rightarrow$   $\text{Pb} + \text{H}_2\text{SO}_4 + \dots$
- Teurer 1 kWh:  $\text{PbSO}_4 = 150 \text{ €}$ ,  $\text{LiFePO}_4 = 3000 \text{ €}$
- Tendenziell kurzlebiger 200 – 2000 Zyklen  
= 10.000 – 200.000 km
- Elektro-chemischer
- Risiko behafteter z.B. Kurzschluss
- Immens schwerer und großer z.B. 200 ...  
300 kg
- Energiespeicher



# Photovoltaik-Energiewandlung

Sonnenstrahlung

Photovoltaik-Panel

Elektrische Energie  $U=$   $I=$

Hochsetzsteller / MPP 

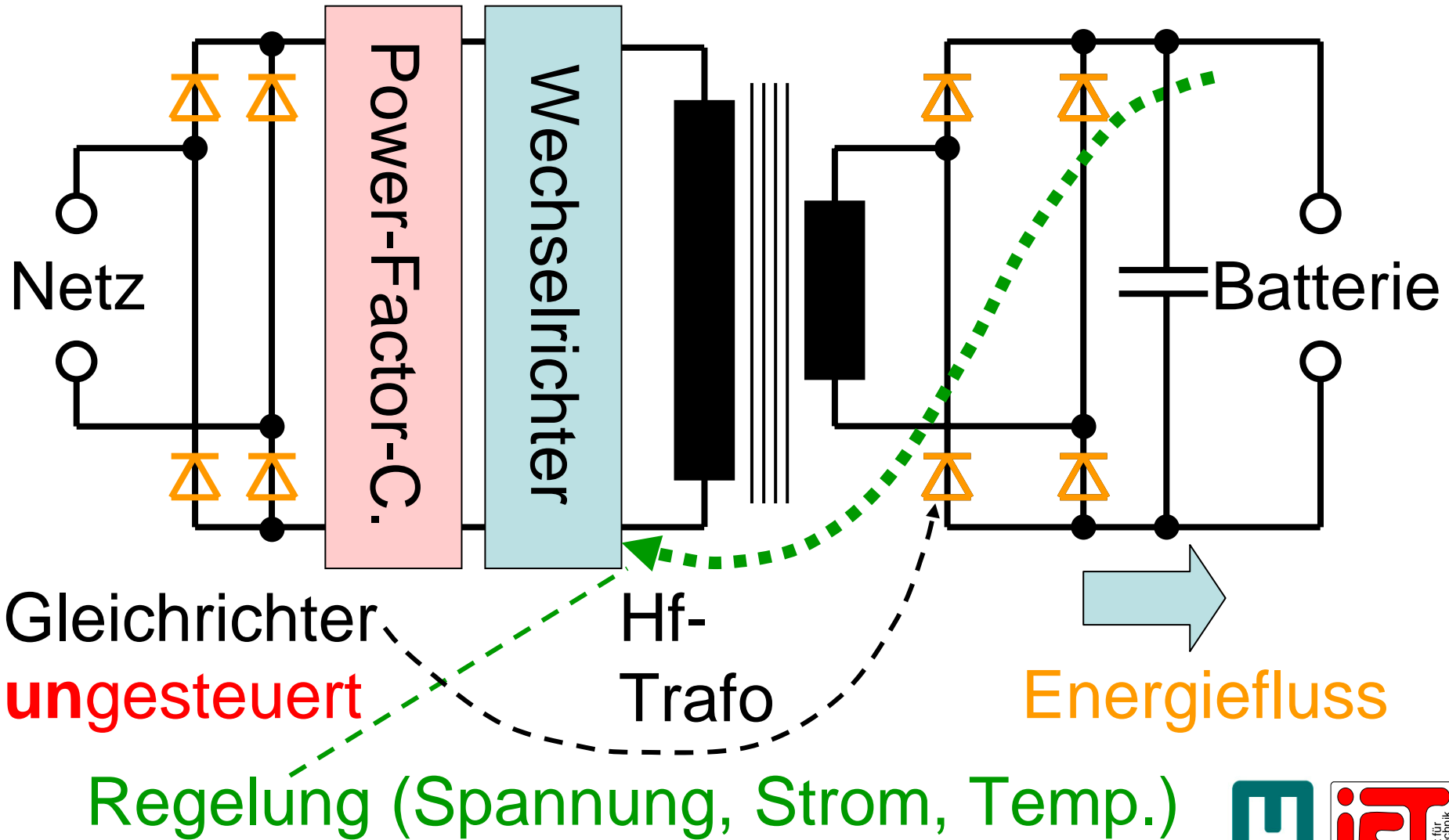
$U=$  konstant,  $I=$  maximal (Sonne)

Wechselrichter 

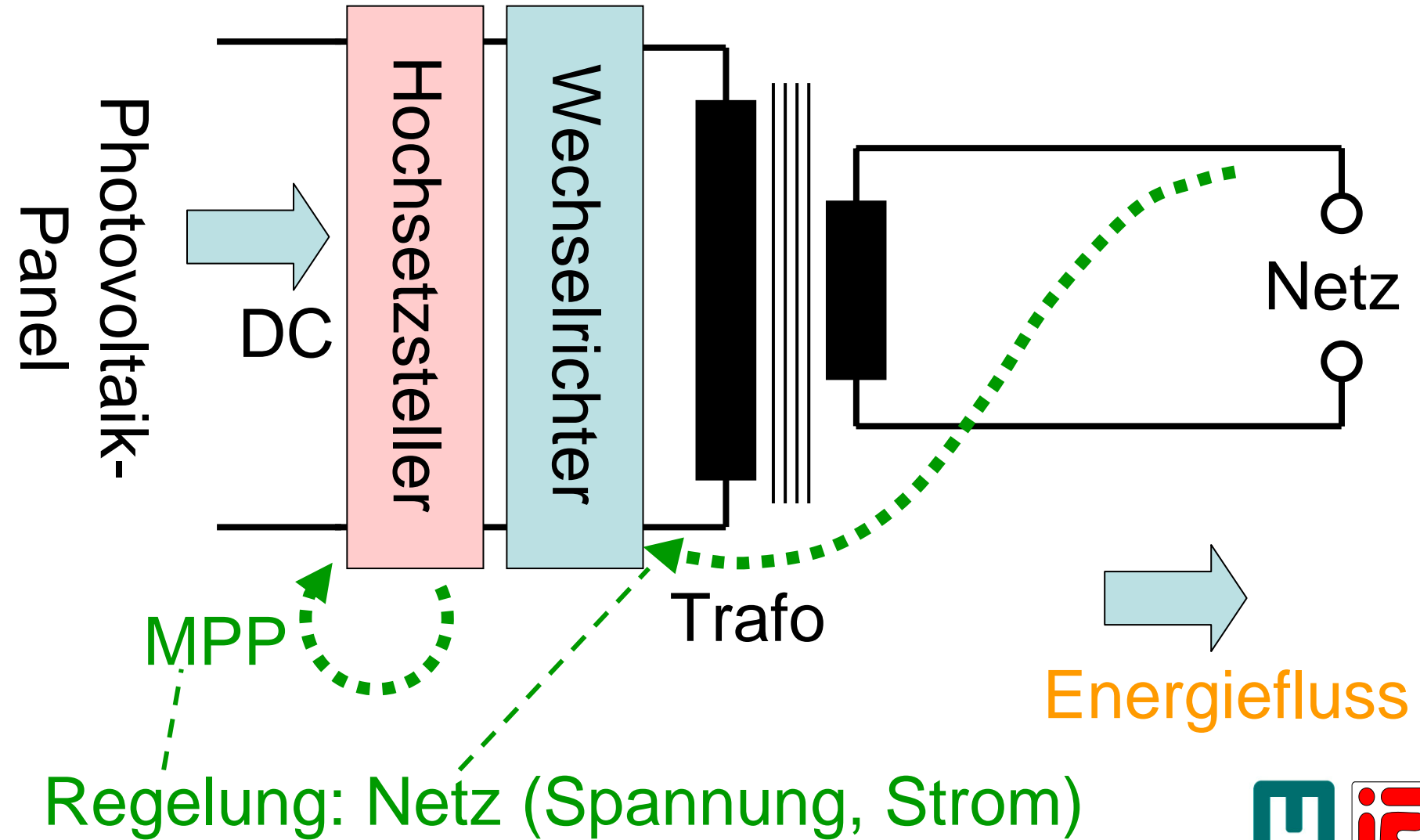
Wechselspannung 50 Hz (Netz)

„Netz“ => Energiequelle, En.-Senke  
+ Energieverteilung

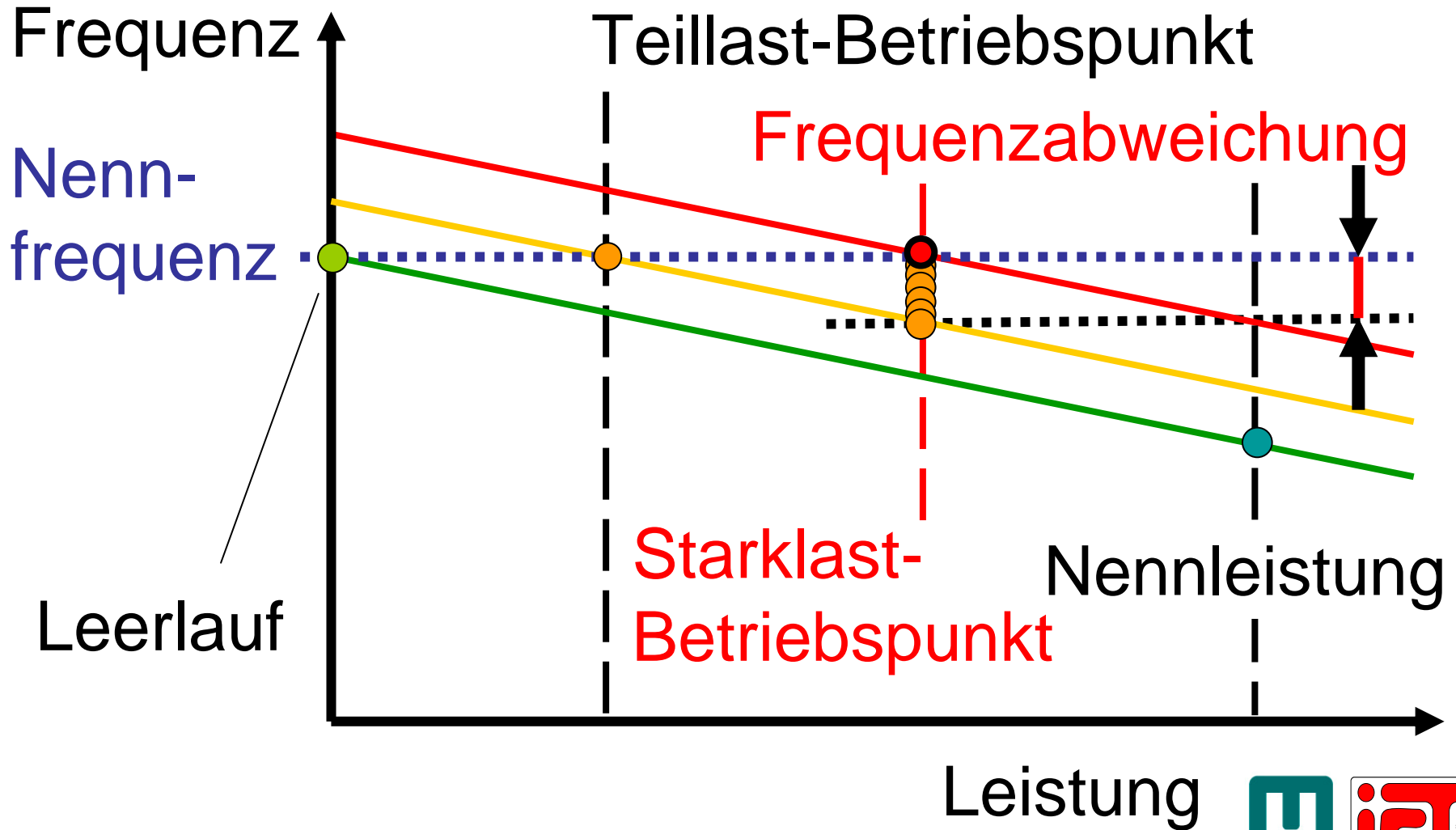
# Ladegerät, Hf-Trafo, PFC



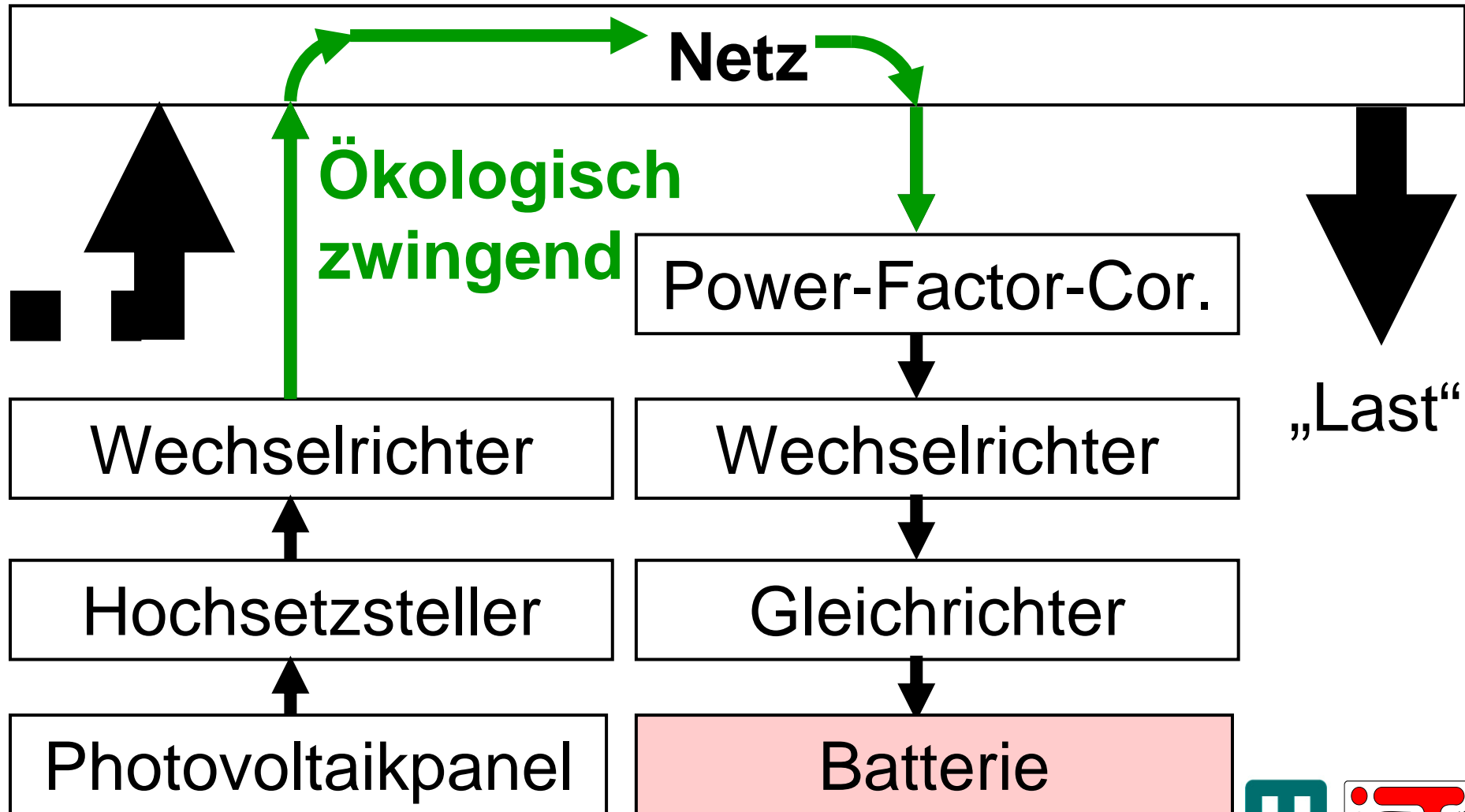
# Photovoltaik-Energieformung



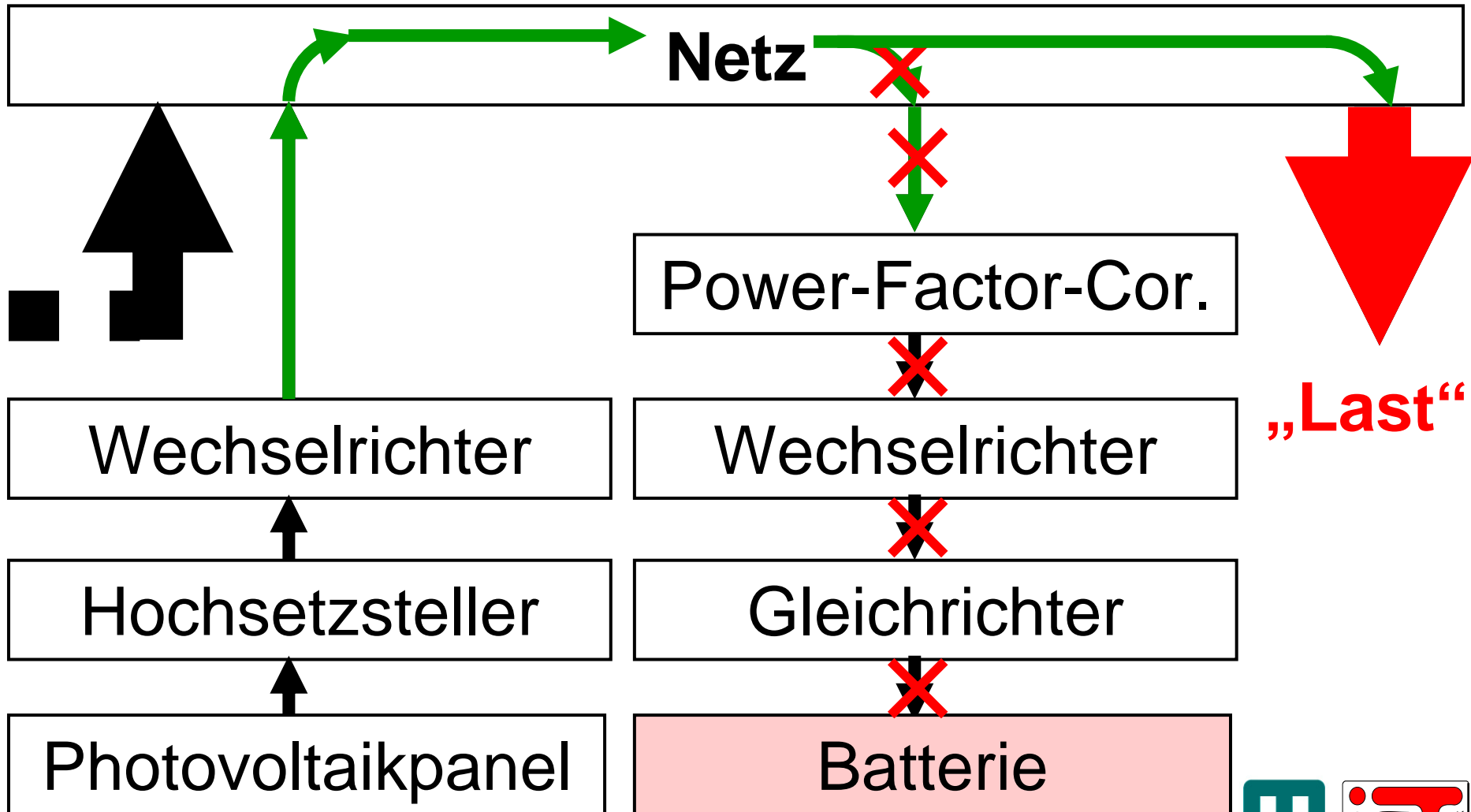
# Netzregelung



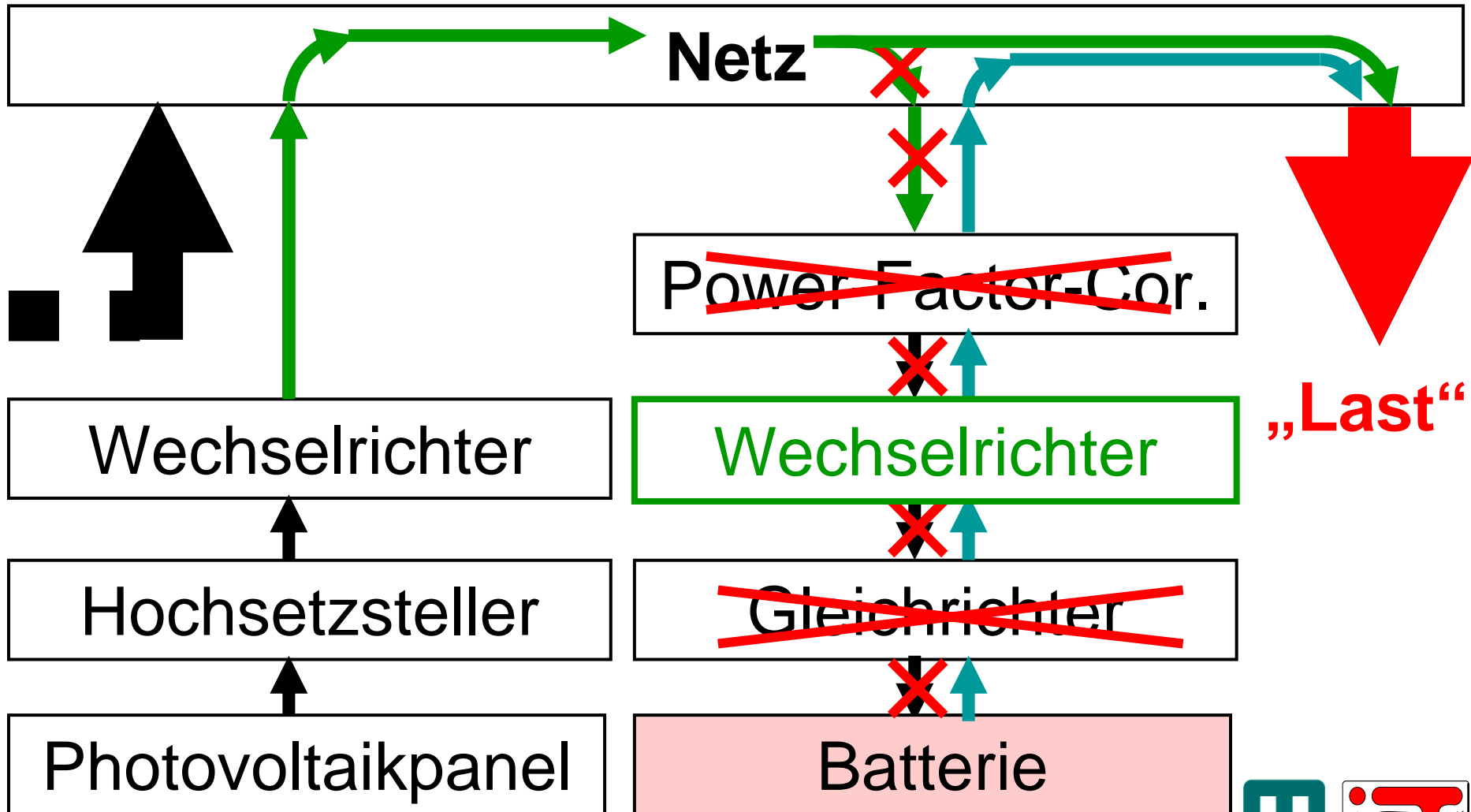
# Spitzenlast-Unterstützung (0)



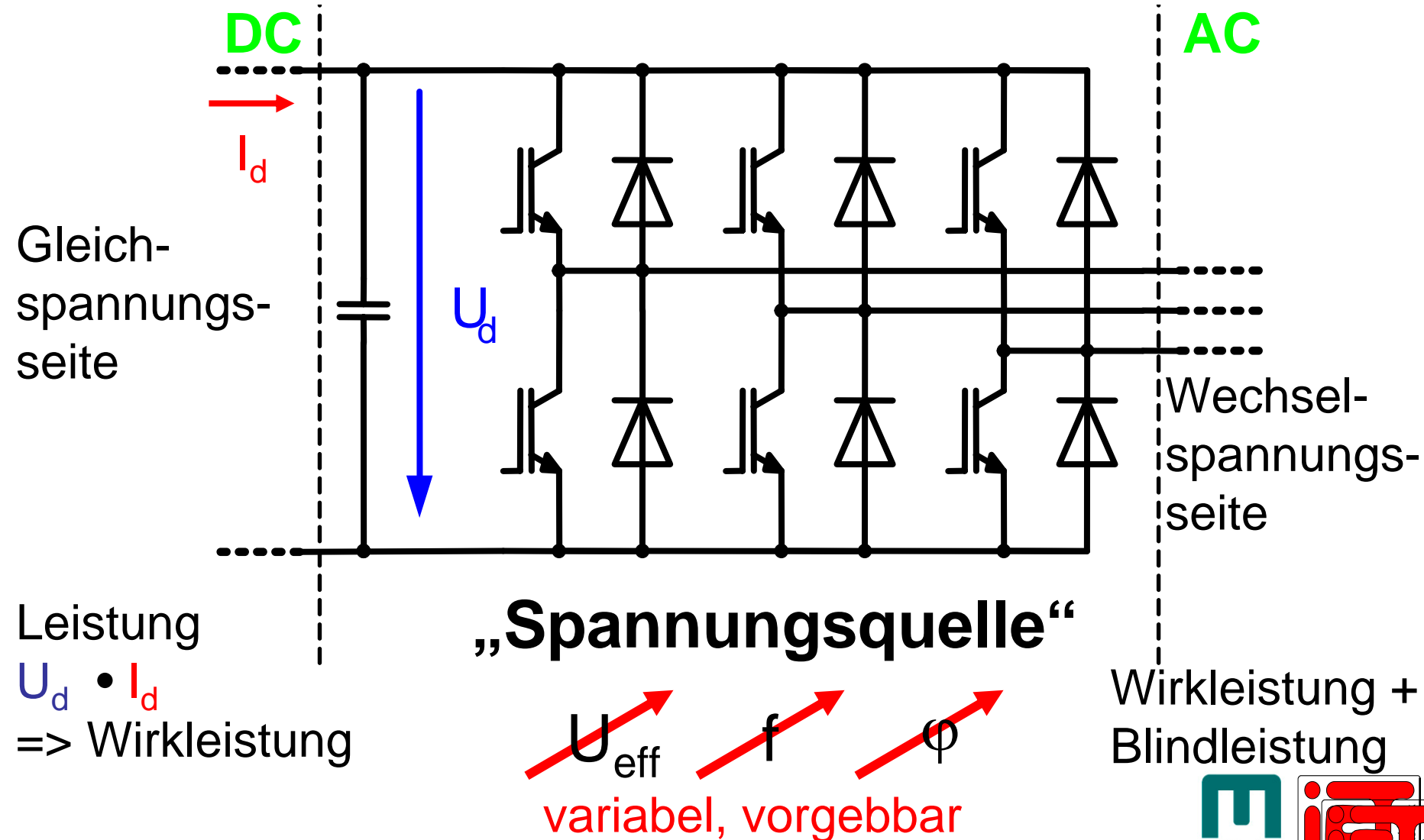
# Spitzenlast-Unterstützung (1)



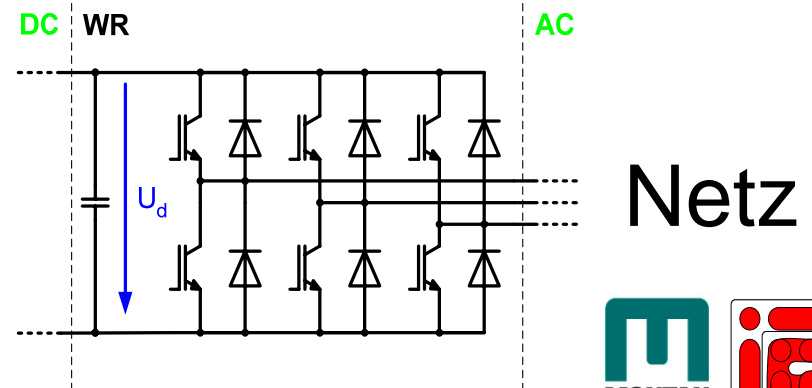
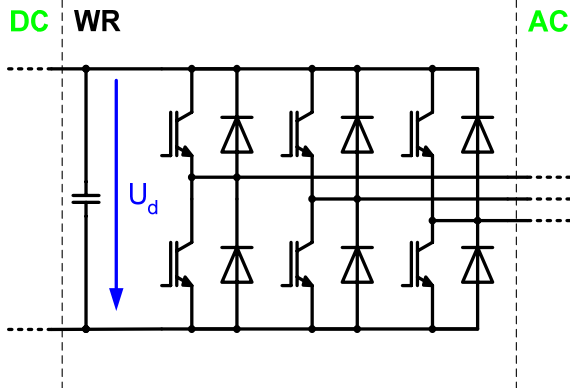
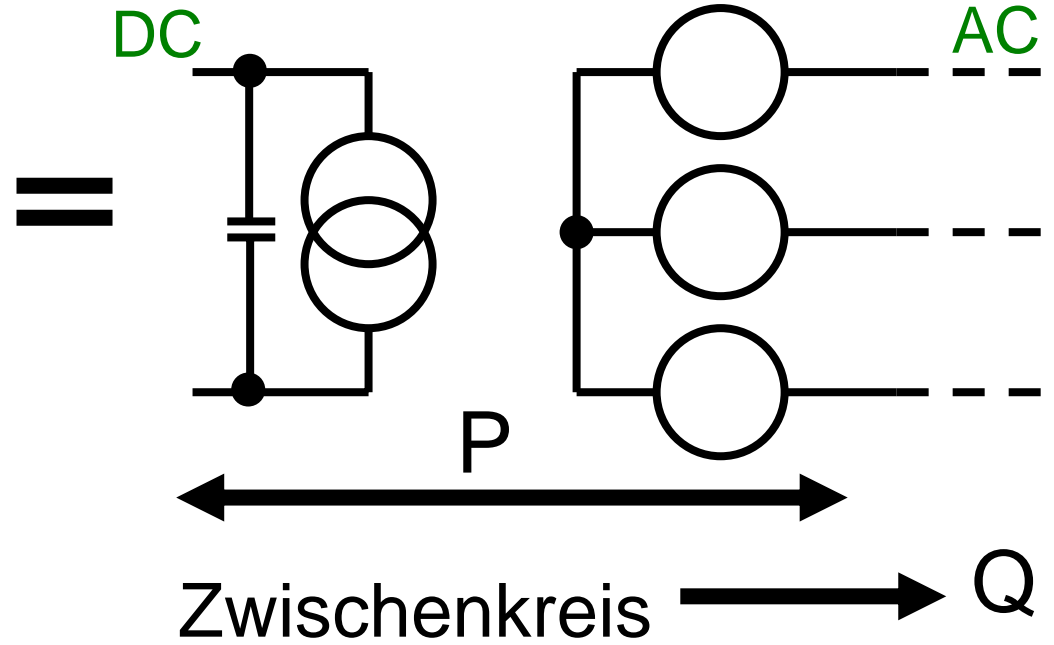
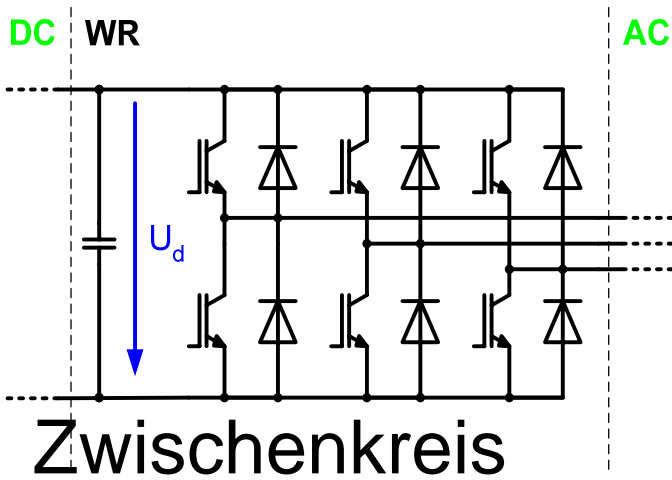
# Spitzenlast-Unterstützung (2)



# Pulswechselrichter



# Pulswechselrichter



# Zusammenfassung, Schlüsse

Spitzenlast-Bereitstellung mit Leistungsverzicht

Frequenzsensible Ladegeräte (wenig Aufwand)

Schnellladefähige „Ladegeräte“ sind **dreiphasig**

Bidirektionalität für P durch Pulswechselrichter

Verwendung des Antriebsstromrichters möglich

Fahrbatterie muss „geeignet“ sein

Problem 1: Fahrbatterie entladen, aber Fahrt ?

Problem 2: Spitzenleistungsabrechnung  
und Aufwand