

# Energieerzeugung durch Windkraft

## Zuverlässige Einspeisung regenerativer Energie

- Anteil regenerative Energieerzeugung durch Windkraftwerke stark wachsend
- **Leistungsbilanz**
  - Maximal Einspeiseleistung bei Windkraftwerken  $\approx 5\text{MW}$
  - Im Vergleich: Kohlekraftwerk Bexbach  $\approx 750\text{MW}$ 
    - Maximale Leistung entspricht 150 Windkraftwerken
- **Verfügbarkeit [h] = Anzahl Stunden 100% Einspeiseleistung pro Jahr**
  - Verfügbarkeit eines Kohlekraftwerkes  $\approx 7000\text{ h/a}$
  - Verfügbarkeit eines Windkraftwerkes  $\approx 1000..3000\text{ h/a}$
- **Vor- und Nachteile**
  - + Keine  $\text{CO}_2$ -Emissionen
  - + Primärenergie Wind ist unerschöpflich
  - Geringe Verfügbarkeit ( $\Delta \approx 8640\text{ h/a} - 2000\text{ h/a} \approx 5000\text{ h/a}$ )
  - Ausgleich der fehlenden Energie durch Reservekraftwerksleistung
  - Primärenergie Wind ist nicht planbar → **Unzuverlässige Primärenergie**
    - Einsatz von Prognosesystemen zur Wettervorhersage erforderlich



# Reservenergie für Windkraftwerke

## Zuverlässige Einspeisung regenerativer Energie

### Windkraft

Unzuverlässigkeit = Nicht-Planbarkeit des Windes

### + Elektrische Energie

Muss dann verbraucht werden, wenn sie erzeugt wird

= Konventionelle Kraftwerke müssen als Regelkraftwerke eingesetzt werden

- 1. Szenario: Windprognose = Windstärke 0..3 ✓
- 2. Szenario: Windprognose = Windstärke 4..8 ✓

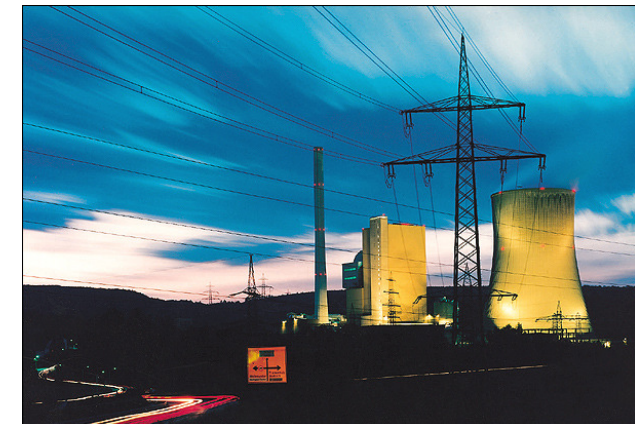
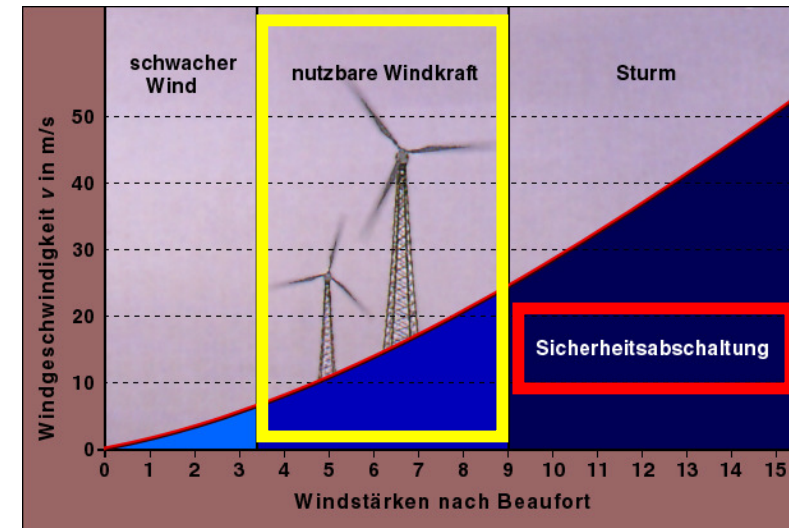
- 3. Szenario: Windprognose = Windstärke 8..12
  - Sicherheitsabschaltung, um mechanische Zerstörung zu vermeiden



- Plötzlicher Ausfall der Einspeiseleistung
- Ausgleich durch Reservekraftwerke

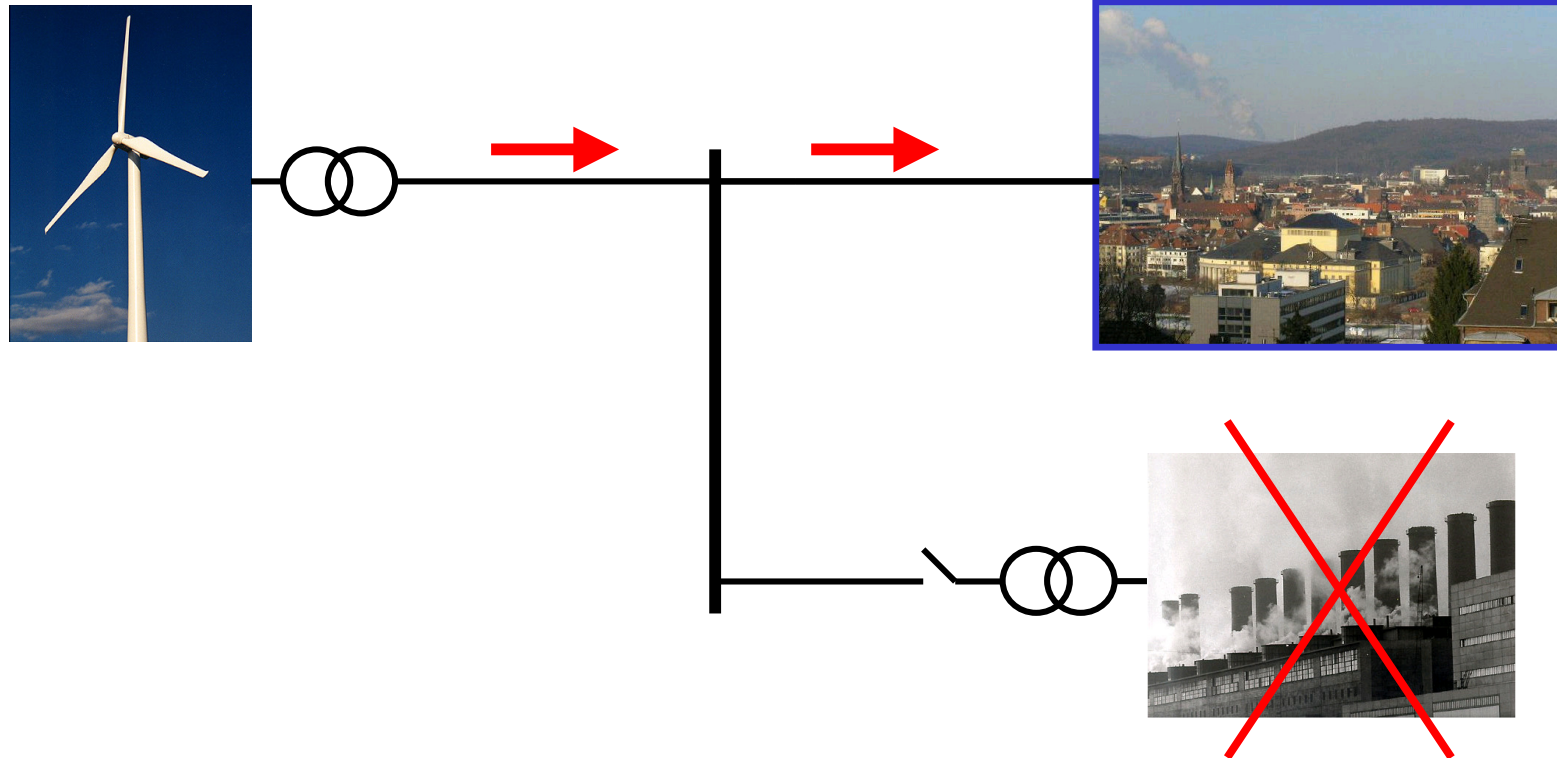
### Reservekraftwerke

- Pumpspeicherkraftwerke
- Kohlekraftwerke: 80..90% statt 100% Erzeugung
- Kohlekraftwerke: Standby als Warmreserve, d.h. ohne Leistungsabgabe (Anlaufzeiten)
  - CO<sub>2</sub>-Emission ohne Leistungsabgabe



# Energieversorgung durch Windkraft

## Zuverlässige Einspeisung regenerativer Energie

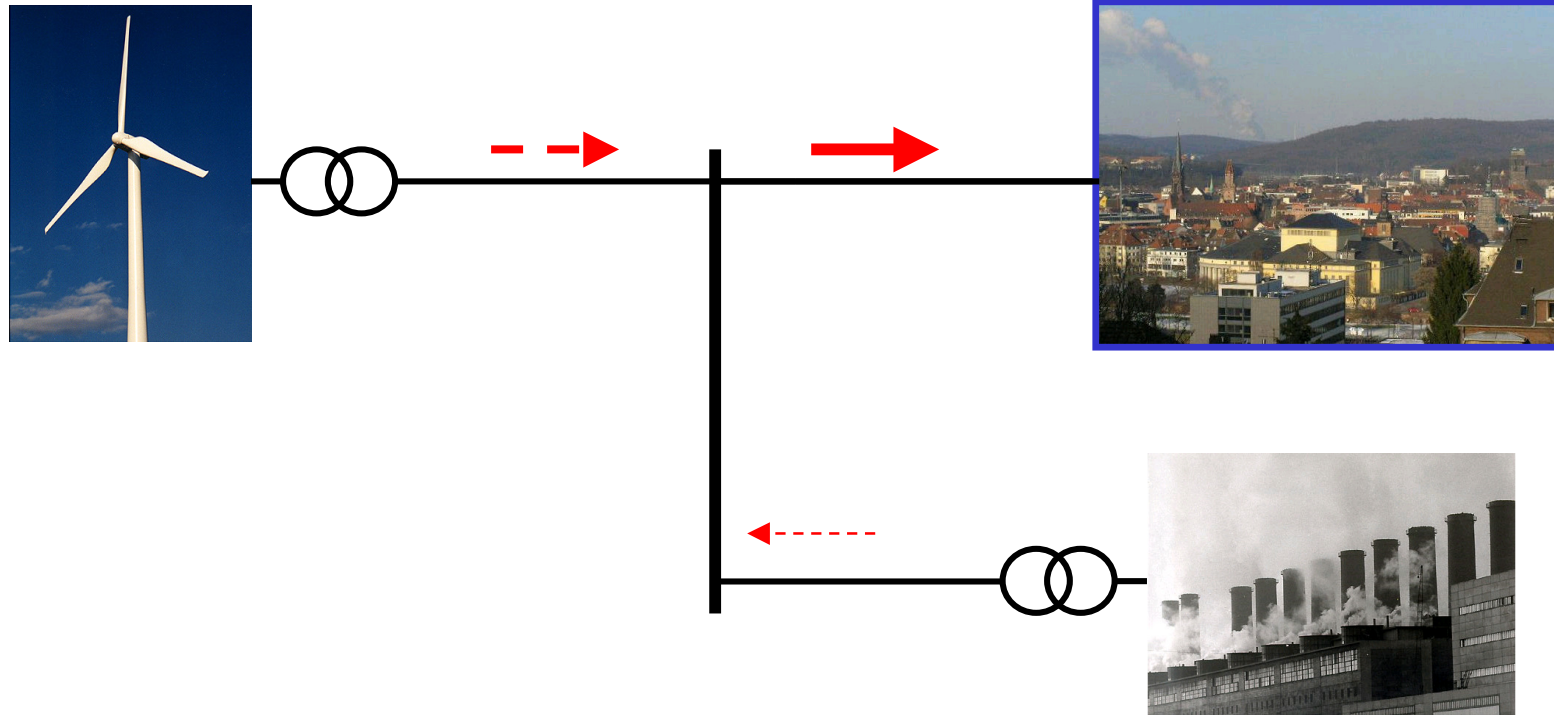


### Das angestrebte Ziel

- 100% Versorgung durch Windenergie
- Reservekraftwerke sind abgeschaltet

# Energieversorgung durch Windkraft

## Zuverlässige Einspeisung regenerativer Energie

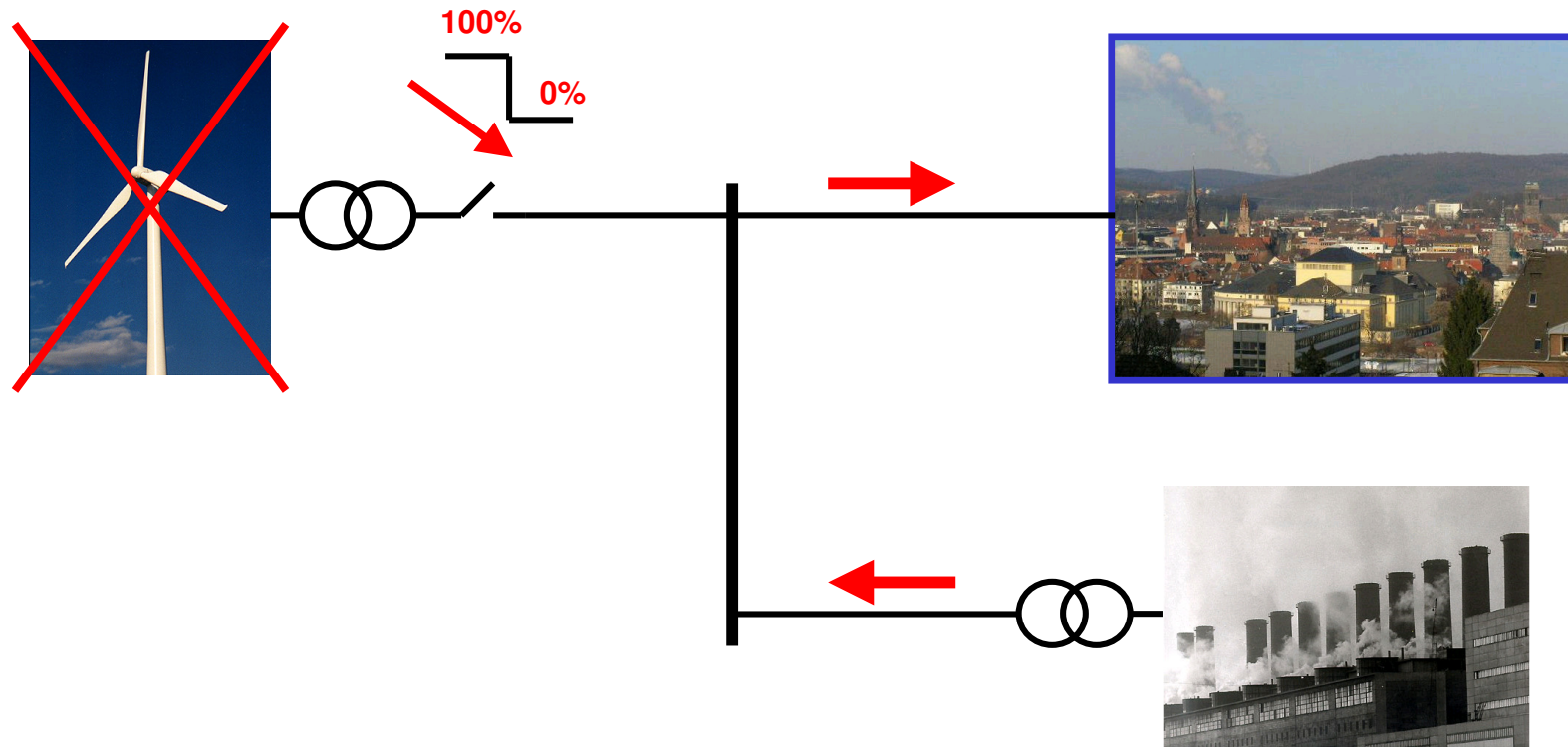


### Die heutige Realität

- Nicht-Konstante Erzeugung durch Windenergie
- Reservekraftwerke sind **ständig** zur Regelung zugeschaltet
  - Kaltstartzeiten im Bereich **Minuten .. Stunden**
  - **CO<sub>2</sub>-Emissionen, Betriebskosten, usw.**

# Energieversorgung durch Windkraft

## Zuverlässige Einspeisung regenerativer Energie

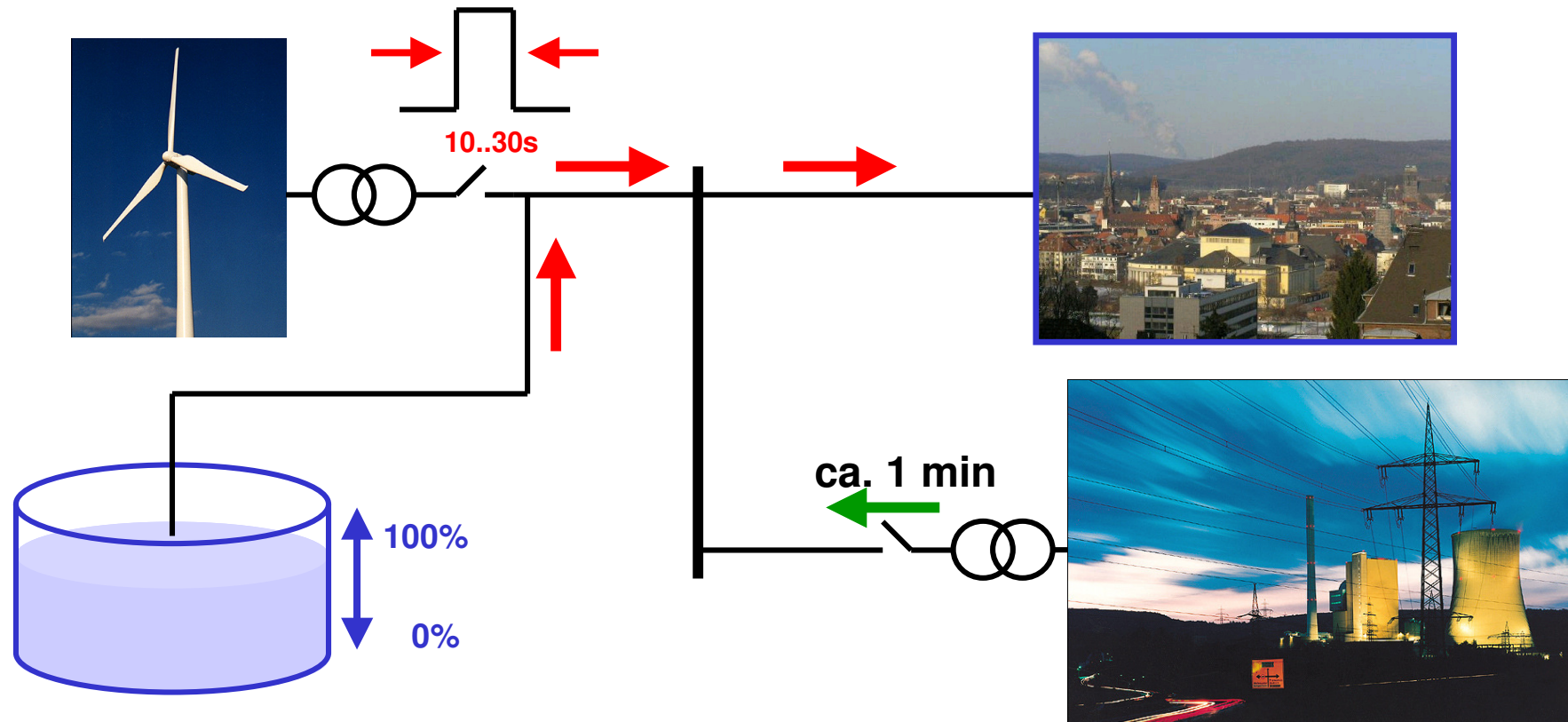


### Sicherheitsabschaltung bei hohen Windstärken

- Plötzlicher Ausfall der Windenergie
- Reservekraftwerke übernehmen sehr schnell (**Sekunden**) Energieerzeugung
  - Reservekraftwerke laufen oftmals im Leerlauf mit (Warmreserve)
  - **CO<sub>2</sub>-Emissionen, Betriebskosten, usw.**

# Energieversorgung durch Windkraft

## Zuverlässige Einspeisung regenerativer Energie

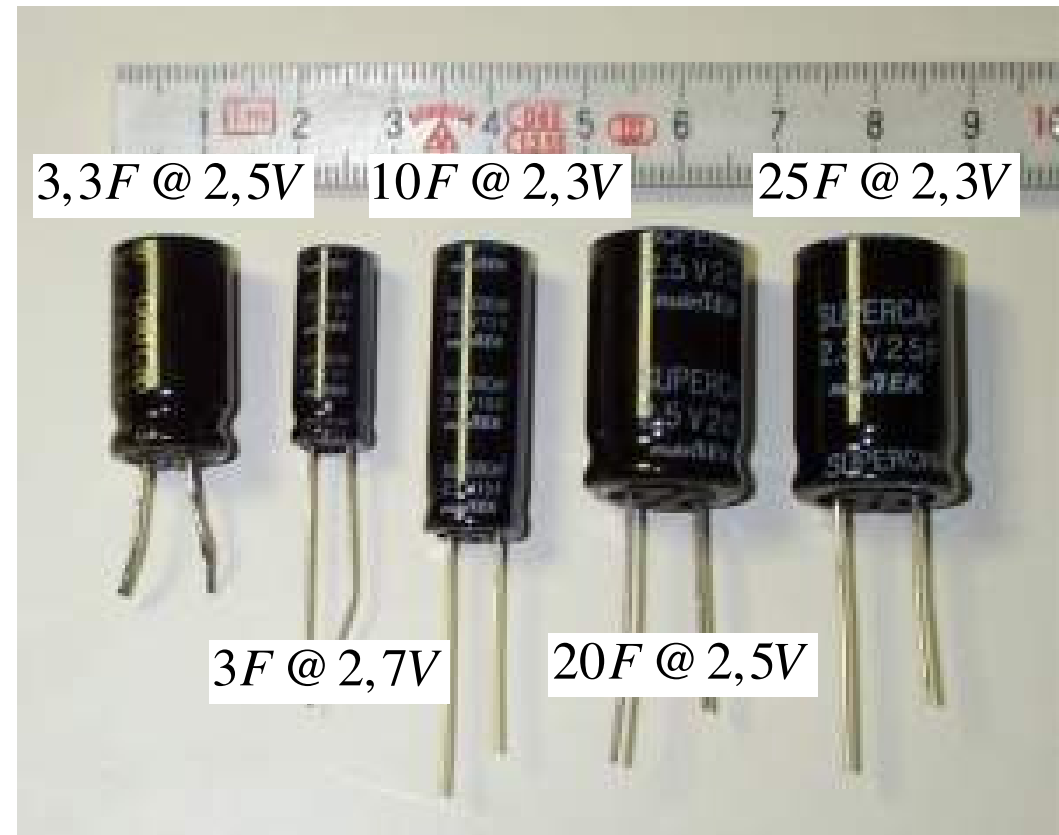


### Die Vision

- 100% Versorgung durch Windenergie
- Kurzzeitspeicher zur Überbrückung unmittelbar nach Ausfall der Windenergie
- Reservekraftwerke als Kaltreserve übernehmen dann die Energieerzeugung
  - Geringere CO<sub>2</sub>-Emissionen, Geringere Betriebskosten, usw.

### Kurzzeitspeicher

- Schwungradspeicher
- Speicherung in supraleitenden Spulen
- **Kondensatorspeicher**  
(SuperCap, UltraCap)



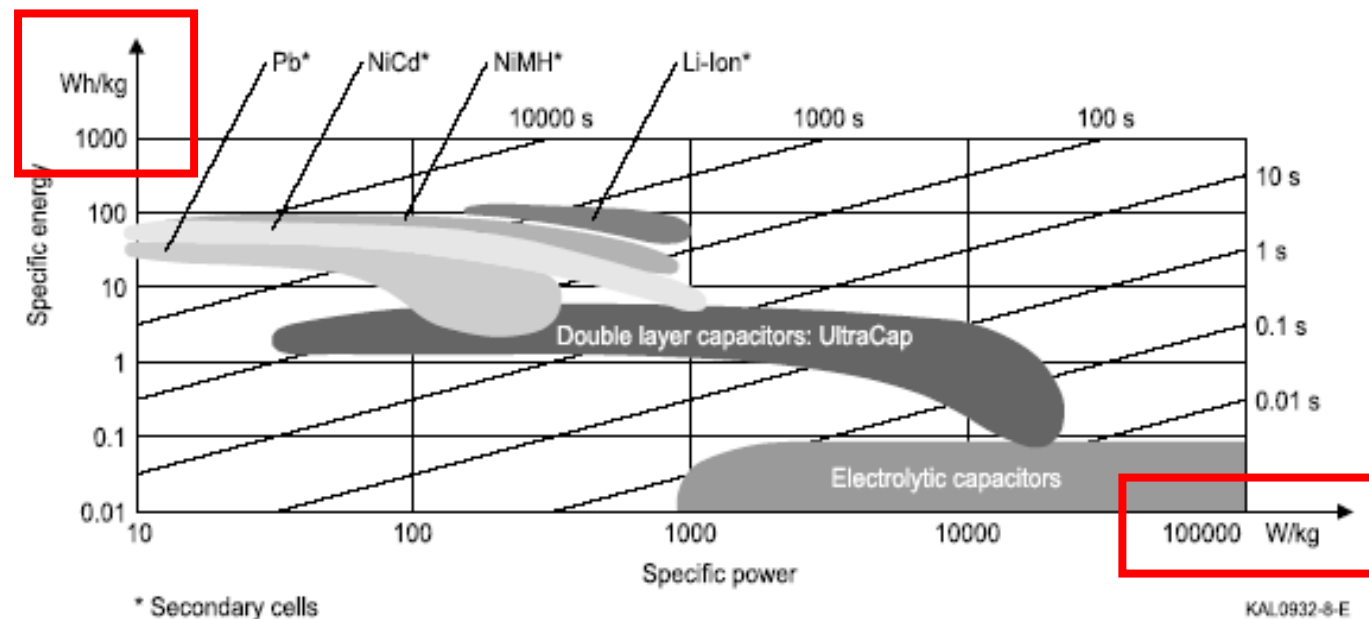
### Vergleich von Speichermedien

#### UltraCap Technologie:

- Relativ hohe Energiedichte
- Hohe Leistungsdichte
- langzeitstabil
- wartungsfrei



#### UltraCap technology

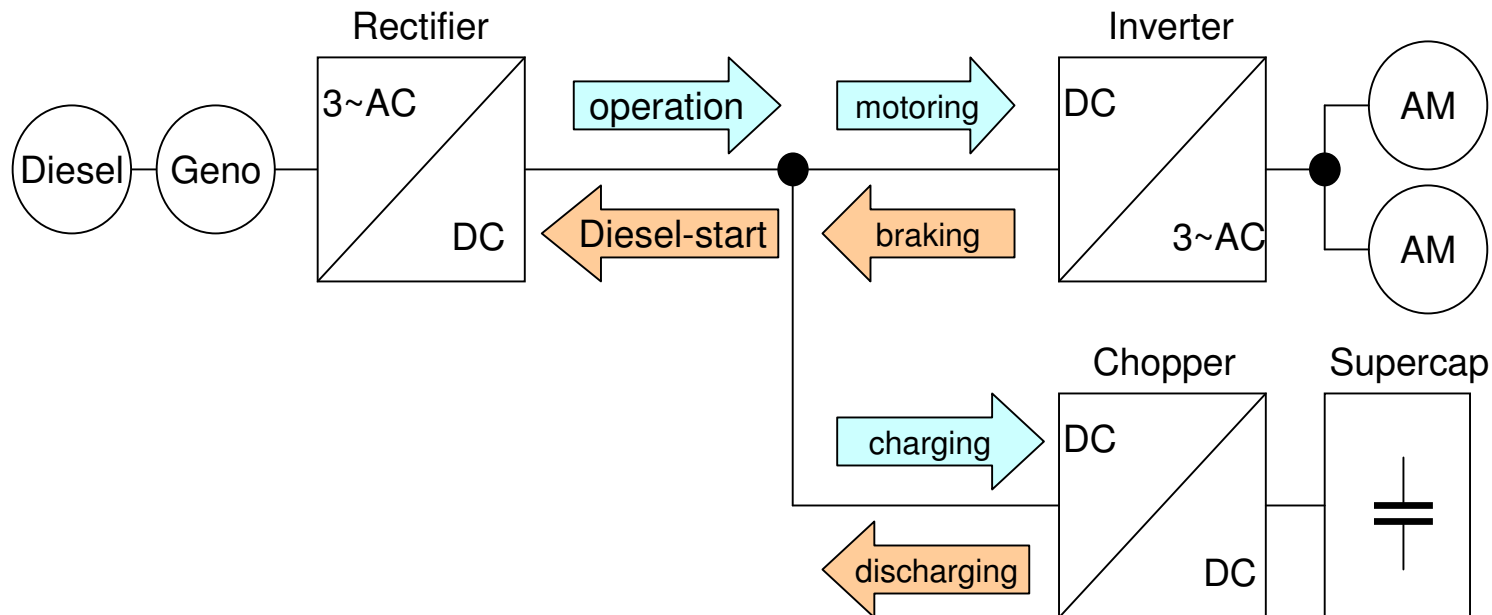




# Netzanbindung des Kurzzeitspeichers

## Zuverlässige Einspeisung regenerativer Energie

### Technologie aus der Traktionstechnik



#### Supercap technology

- for storage of braking energy
- for travelling without overhead line (trams)
- for Diesel electric bus (start-stop and regeneration)