

Energiespeicherung

- ein aktueller Überblick -

(Ergebnisse einer VDE-Studie)

Expertentreffen Energiemetropole Leipzig
Zukunft der Energienetze
Leipzig, 7. Dezember 2009

Dr.-Ing. Martin Kleimaier

- **Einsatzbereiche für Energiespeicher**
- **Bedarf für Energiespeicher insbesondere im Zusammenhang mit dem weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien**
- **Technische Eigenschaften verschiedener Speichertechnologien**
- **Wirtschaftlicher Vergleich verschiedener Speichertechnologien**
- **Speicher in Elektrofahrzeugen (vehicles to grid)**

VDE-Studie

**Energiespeicher in Stromversorgungssystemen
mit hohem Anteil erneuerbarer Energieträger**

Bedeutung, Stand der Technik, Handlungsbedarf

www.vde.com/VDE/Fachgesellschaften/ETG

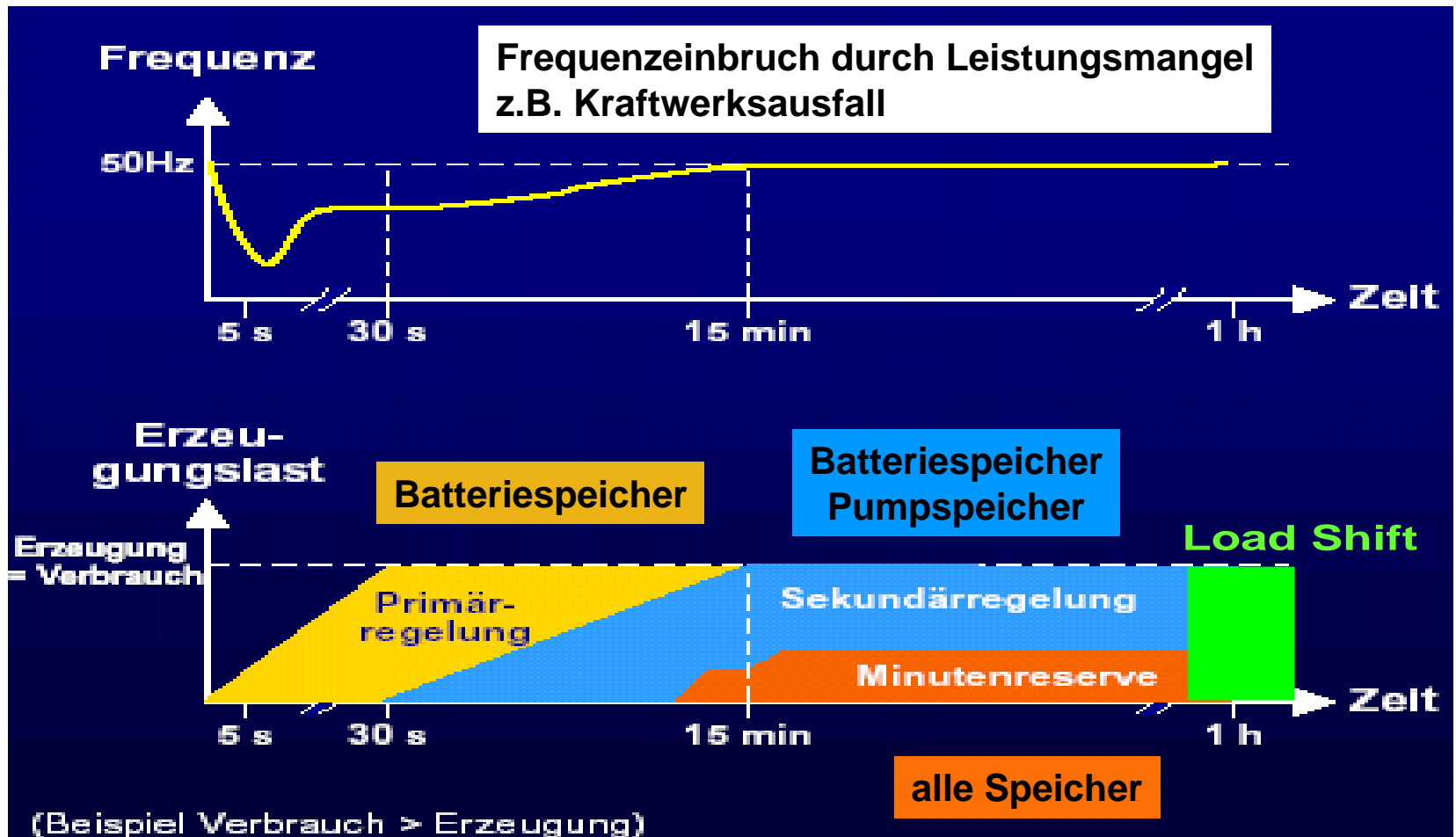
Kurzfassung: 12/2008

Langfassung: 06/2009

Einsatzgebiete für Energiespeicher



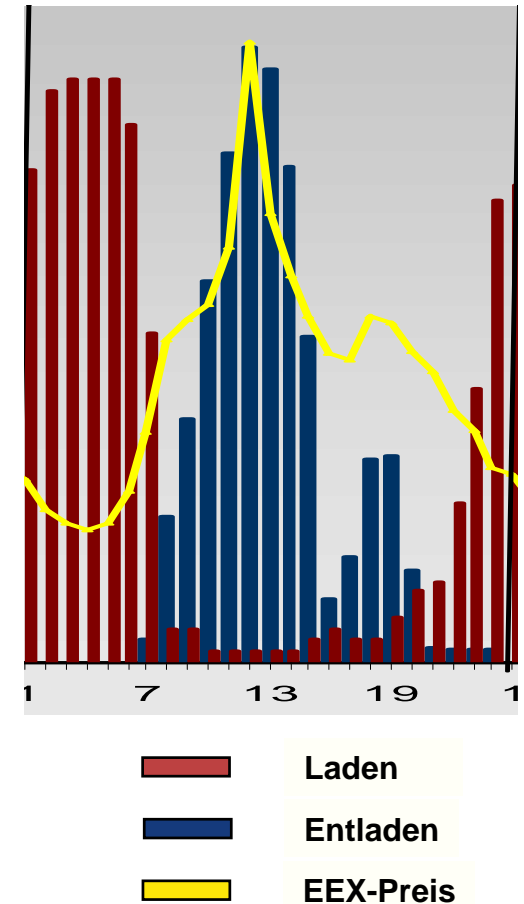
Speicher in der Netzregelung



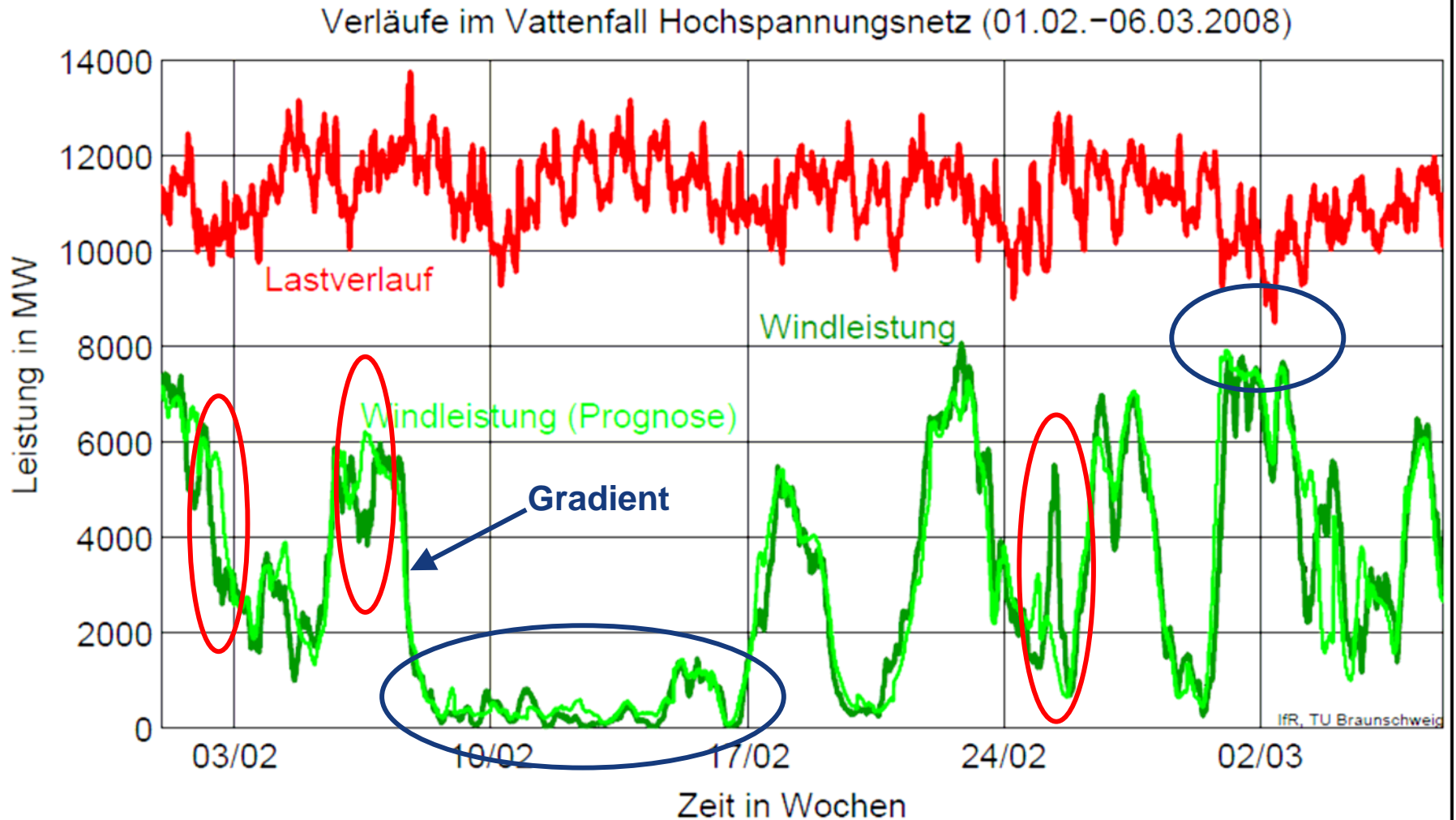
Quelle: Siemens

Speicher im Energiehandel

- Verschieben preisgünstiger Erzeugung „off-peak“ in Tageszeiten mit hohem Verbrauch und hohen Strompreisen („peak“)
- Refinanzierung über Preisdifferenzen (spread) zwischen Einlagerungspreis (Einspeichern) und Verkaufspreis (Ausspeichern) abzüglich der Wirkungsgradverluste und der Betriebskosten.
- Dauer der Nutzung: mehrere Stunden pro Tag („Stundenspeicher“)
- Heute typische Aufgabe von Pumpspeichern.



Fluktuierende Einspeisung aus Windenergie



Verhalten der Windenergie in Deutschland

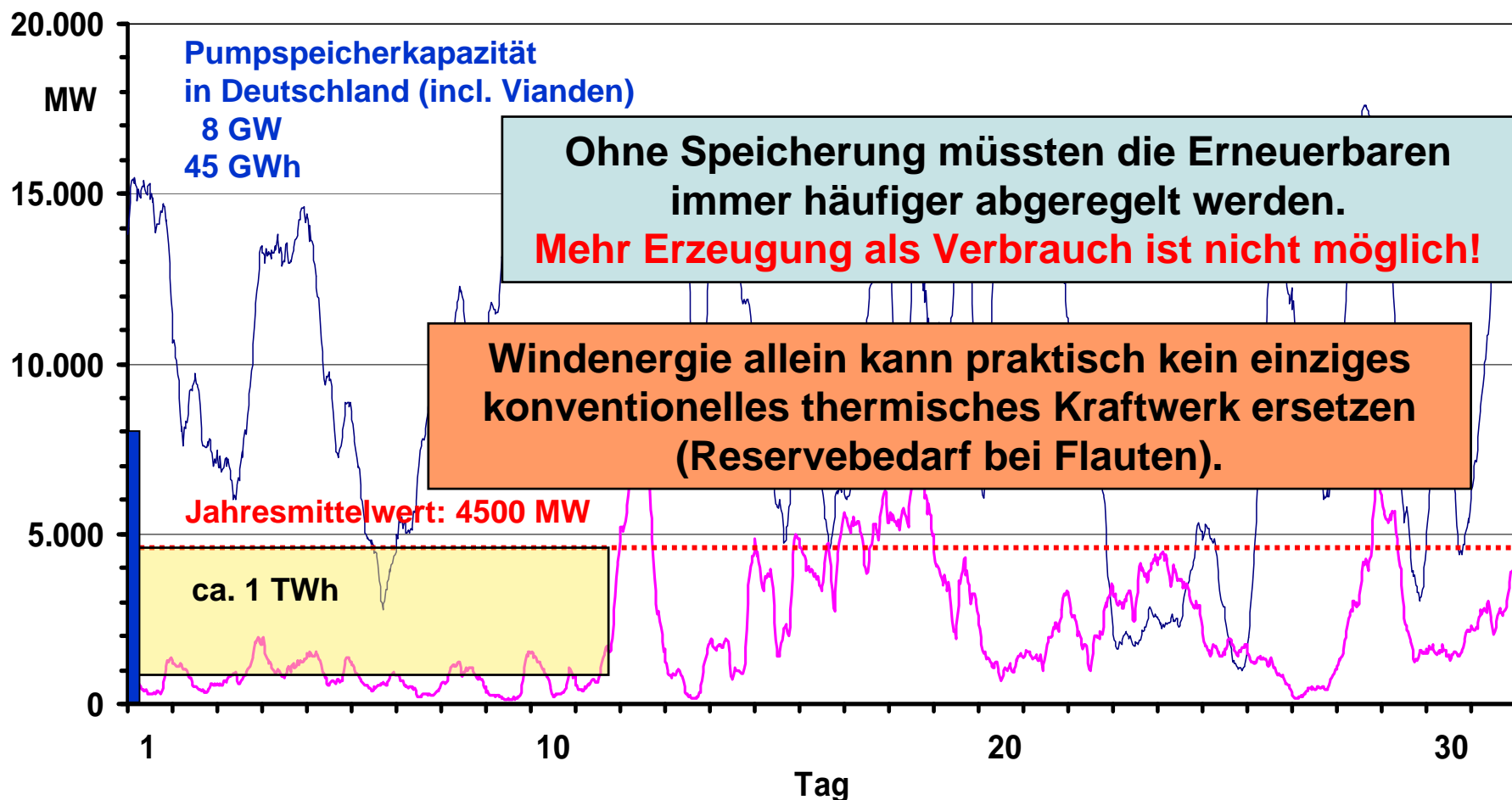
Windkraft in Deutschland 2007

2007: $E_{\text{wind}} = 39.713 \text{ GWh}$
ca. 1850 Volllaststunden

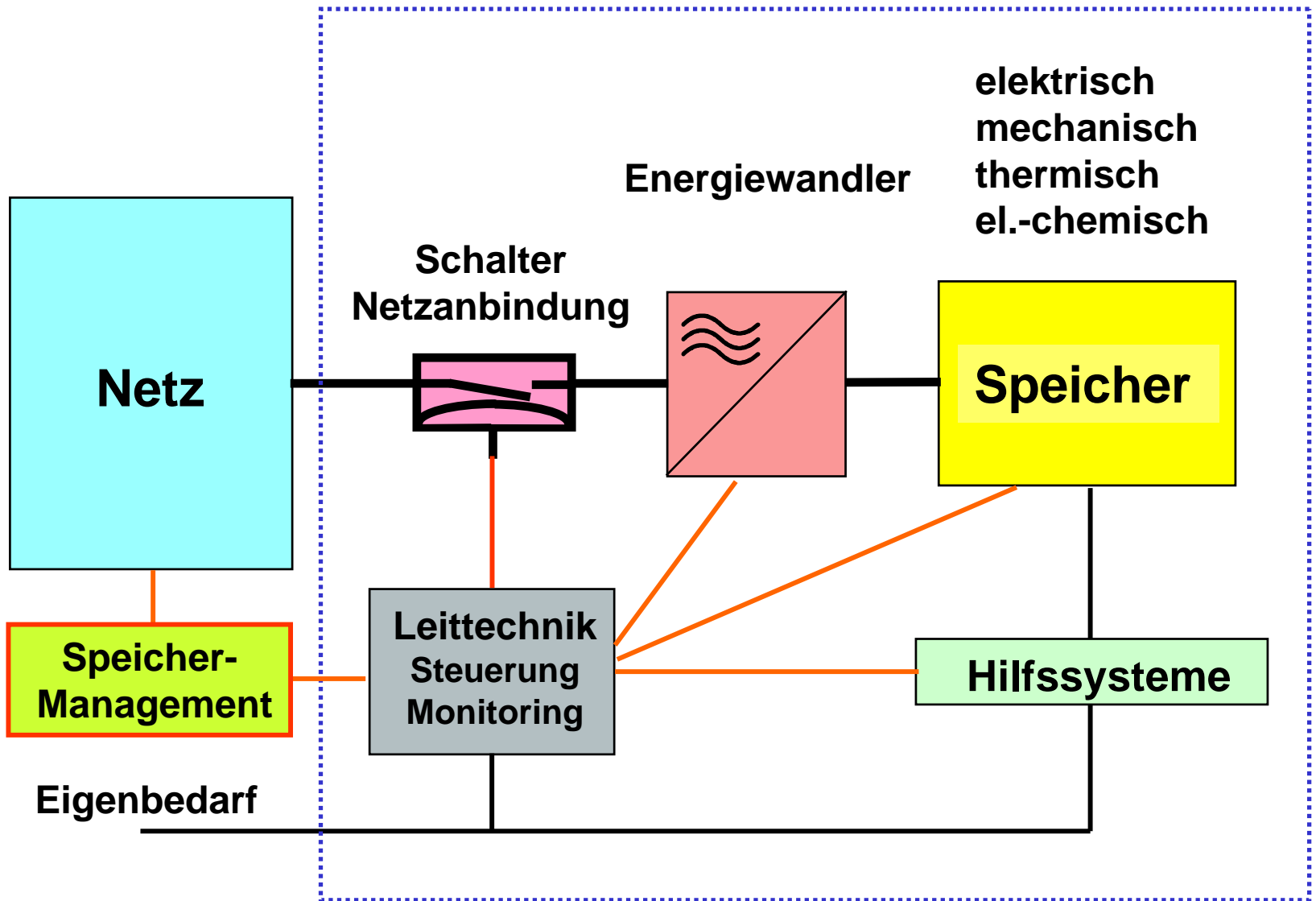
— Jan 07 — Okt 07

12/06: $P_{\text{inst}} = 20.622 \text{ MW}$

12/07: $P_{\text{inst}} = 22.247 \text{ MW}$



Energiespeichersystem

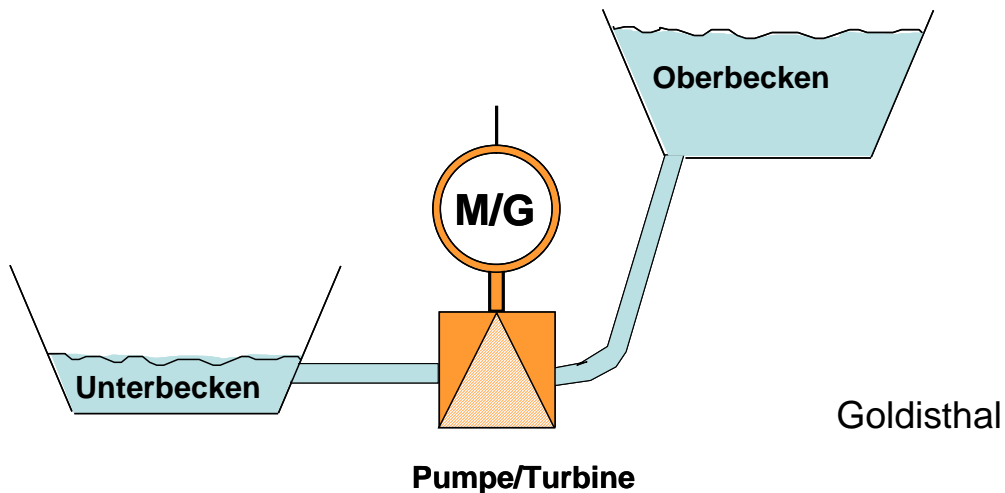


Einsatzbereich verschiedener Energiespeicherarten

- **Kondensatoren (ms)**
- **Supercaps (s)**
- **SMES (s)**
- **Schwungmassenspeicher (s-min)**
- **Druckluftspeicher klein (s-min)**
- **Batterien (min-h)**
- **Druckluftspeicher in Kavernen (h)**
- **Pumpspeicher (h)**
- **Wasserstoffspeicher (Tage-Wochen)**
- **Wasserspeicher (Wochen-Monate) nicht reversibel**
- **Wärme-/Kältespeicher (min-h) nicht reversibel**

Zentrale Großspeicher: Pumpspeicher

- Kapazitätsbegrenzung durch Ober- oder Unterbecken
- Gesamtwirkungsgrade: 75 % - 80 %
- Anfahrzeiten (Beispiel Kraftwerk Goldisthal)
 - Stillstand bis Vollast Turbine: 75 s
 - Stillstand bis Vollast Pumpen: 185 s
- Verfügbare Gesamtleistung in Deutschland: ca. 7 GW (ohne Vianden)
- Gesamte Speicherkapazität in Deutschland: ca. 40 GWh (ohne Vianden)
- In Deutschland gibt es derzeit kaum konkrete Ausbaupläne (Geographie und Akzeptanz, touristische Nutzung von Stauseen)



Pumpspeicher-Kraftwerk – Potenziale

In Österreich und in der Schweiz werden derzeit bestehende Saisonspeicher (insbesondere mehrstufige Anlagen) um Pumpfunktion erweitert

Saison-Speicherkraftwerke (beispielhaft):

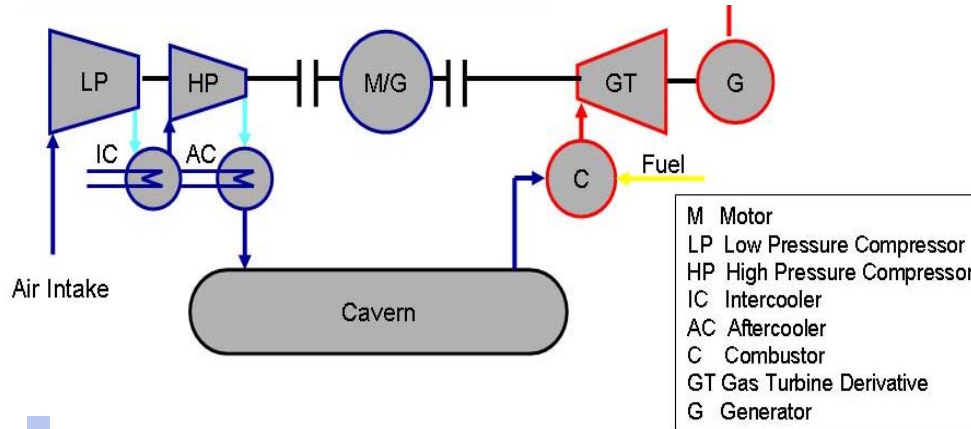
	Speicherkapazität	Leistung
Österreich	4,5 TWh	6 GW
Norwegen	81,7 TWh	29 GW
Schweden	33,8 TWh	16 GW

aber: Übertragungskapazität eines HGÜ-Seekabels: nur ca. 600...700 MW

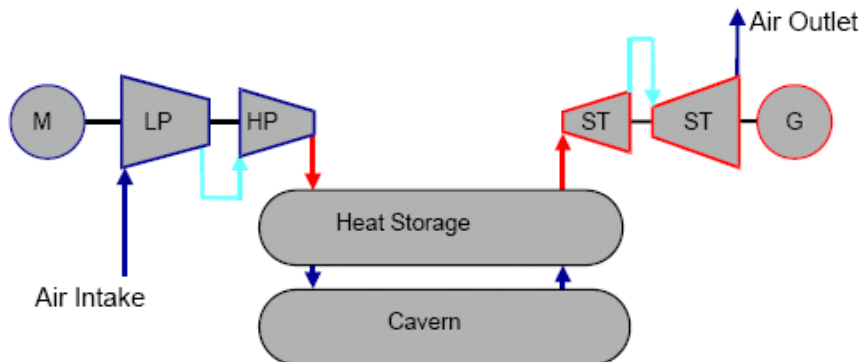
Stausee mit natürlichem Zulauf



Zentrale Großspeicher: Druckluftspeicher (CAES)



Huntdorf



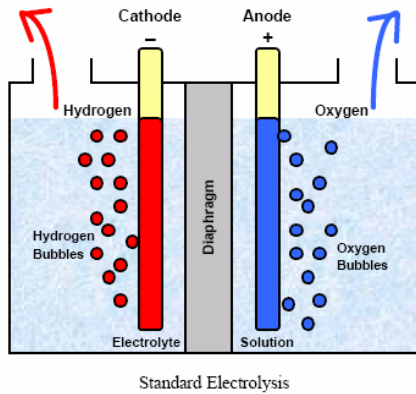
Wirkungsgrade:

Huntdorf: 45 %

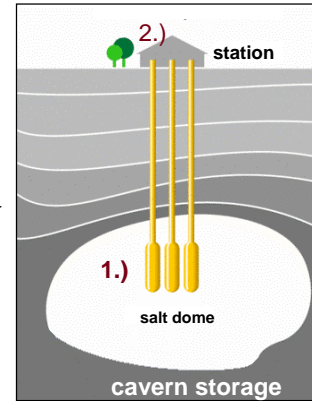
McIntosh: 54 %

adiabat: ca. 70 %

Zentrale Großspeicher: Wasserstoff



➔ **Kompressor** ➔



➔ **Brennstoffzelle**

➔ **GuD-Kraftwerk**

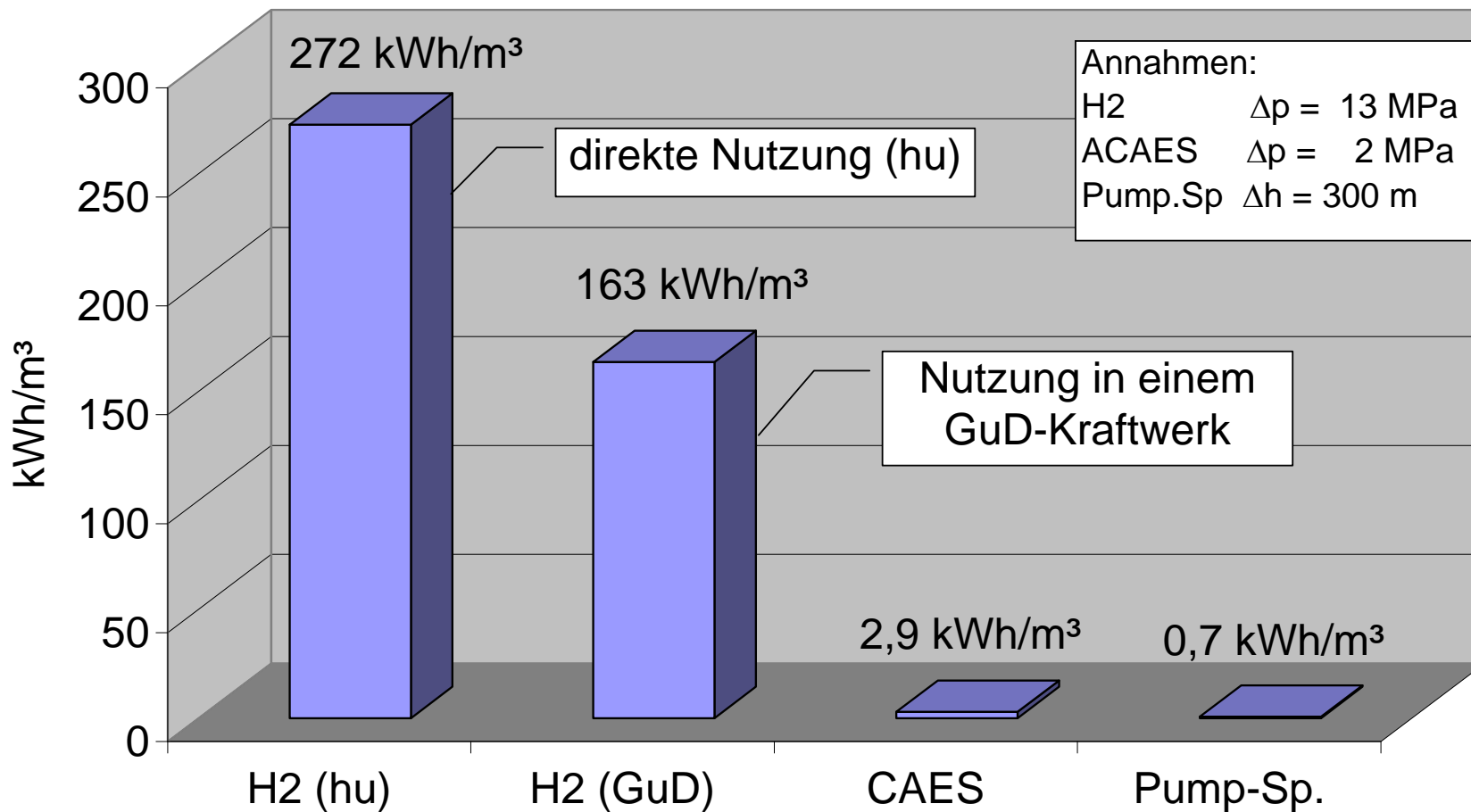
derzeit noch
Zumischung von
Erdgas erforderlich

Wasserstoff mit Kavernenspeichern



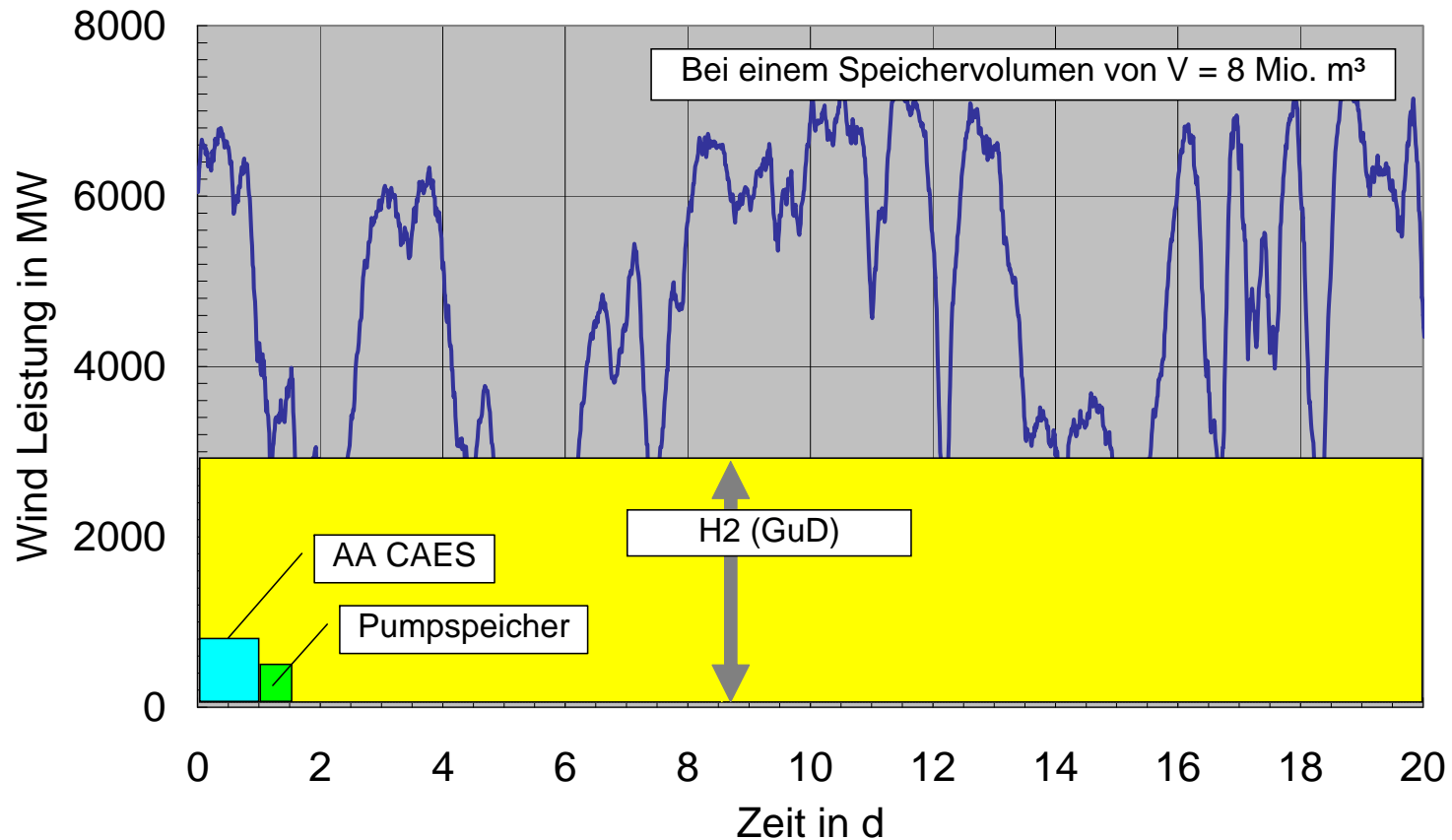
**Wirkungsgrad der gesamten Kette:
zukünftig bestenfalls ca. 40 %
(derzeit ca. 30 %)**

Vergleich der Speicherkapazitäten



Quelle: VDE-Studie

Vergleich von Speicherkapazitäten (Netto)



Zum Vergleich: Pumpspeicher Goldisthal hat ein Speichervolumen von 12 Mio. m^3

Quelle: VDE-Studie

Vergleich der Speicherkosten / weitere Optionen

Kosten für das Speichermedium

Pumpspeicher (See): 10 ... 40 €/kWh

Druckluft (Kaverne): 10 ... 20 €/kWh

Wasserstoff (Kaverne): 0,2 ... 0,5 €/kWh

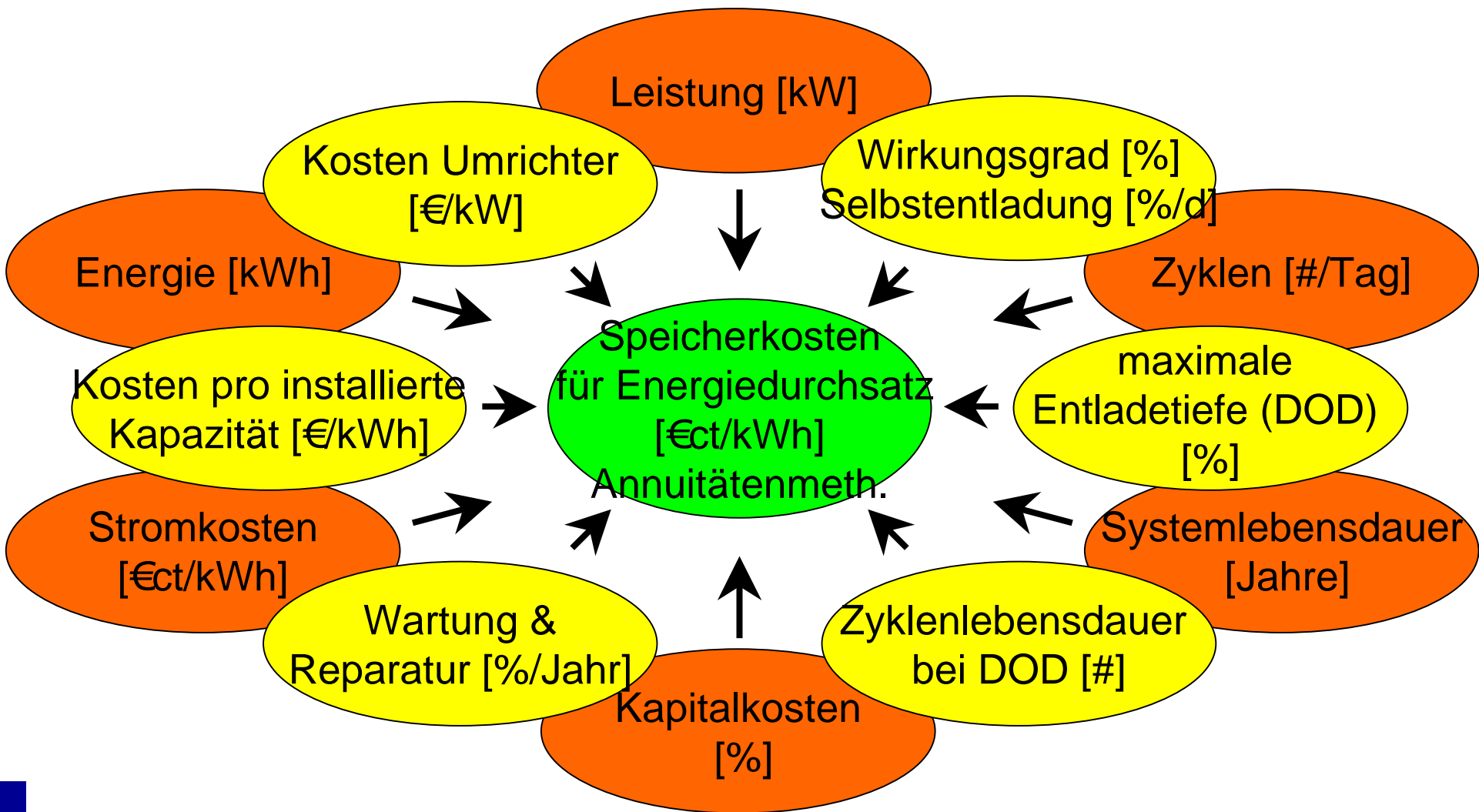
weitere Speicheroptionen:

Druckluft: Röhrenspeicher (dezentral)

Wasserstoff: Verflüssigung (Kryotanks)

**→ zusätzliche Verluste bei Verflüssigung
und Speicherung**

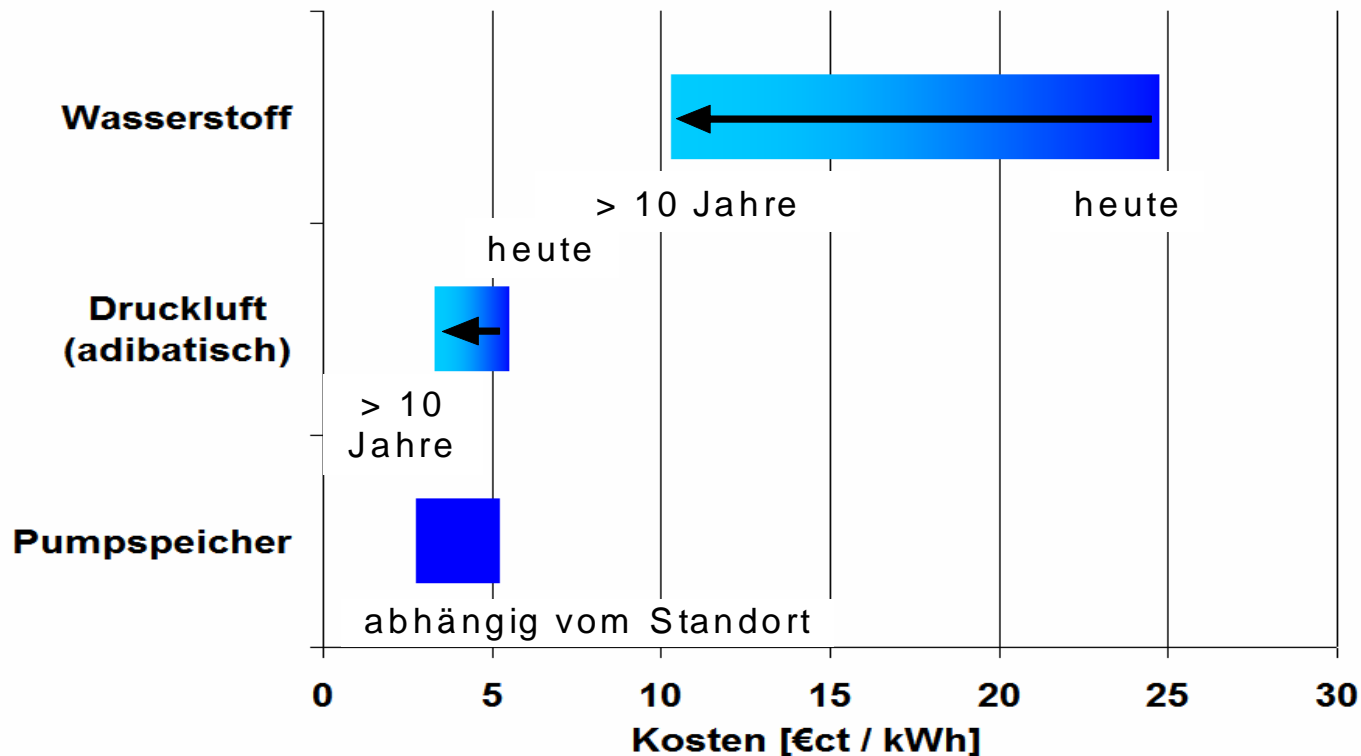
Kostenvergleich für Speicher (Modell)



Quelle: Prof. Sauer, ISEA, RWTH Aachen

Speicherkosten bei zentraler „Stundenspeicherung“

1 GW für 8 Stunden (8 GWh), 1 Zyklus pro Tag, Zugriffszeit < 15 min.

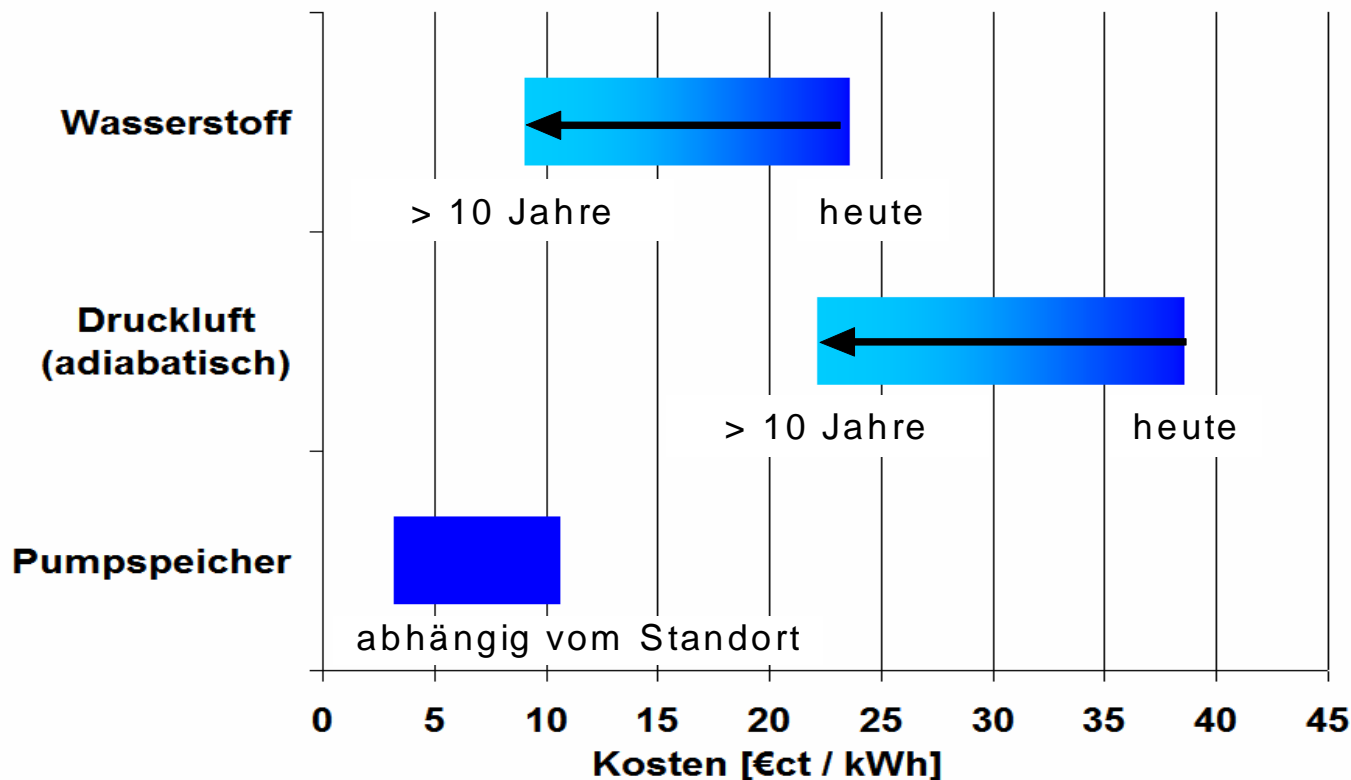


Reine Speicherkosten; die Kosten für den Einkauf der abzugebenden Energie sind jeweils noch zu addieren.

Quelle: VDE-Studie

Speicherkosten bei „Wochenspeicherung“

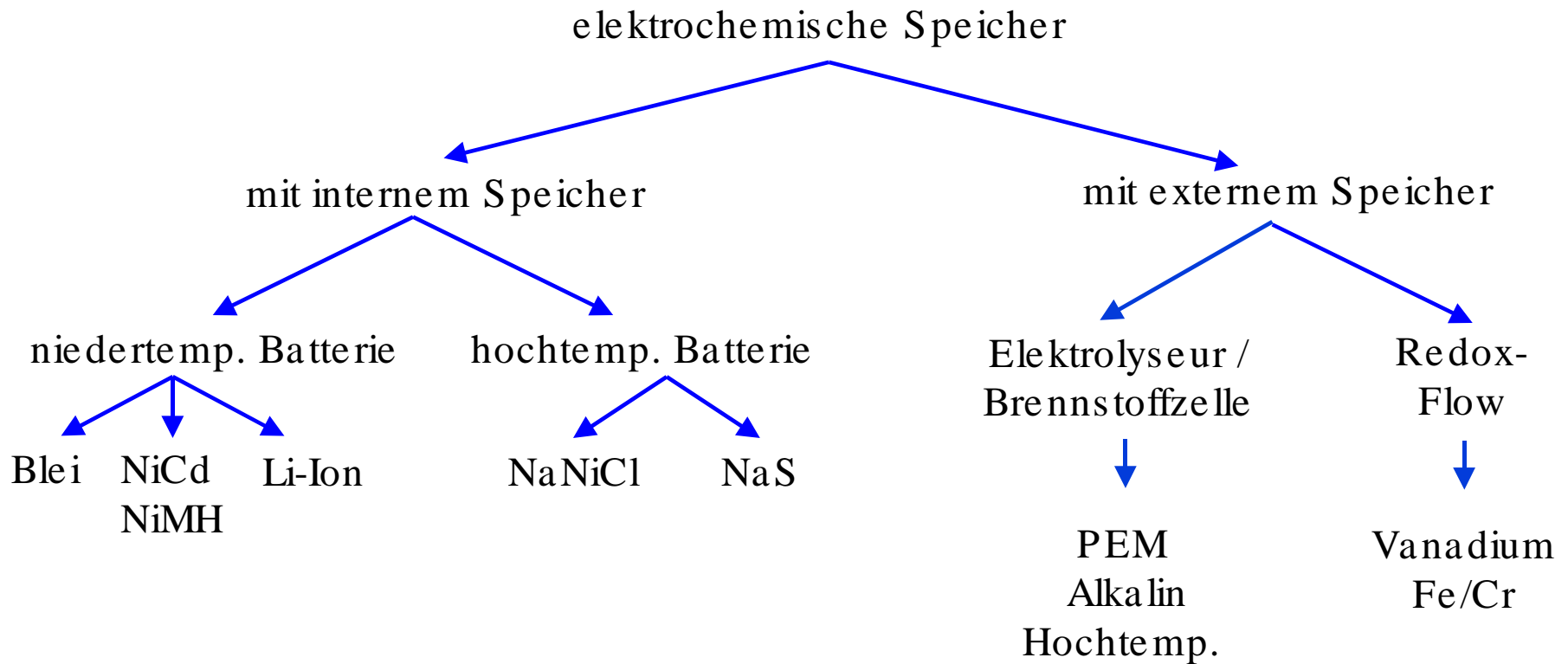
500 MW für 200 Stunden (100 GWh), 2 Zyklen pro Monat



Reine Speicherkosten; die Kosten für den Einkauf der abzugebenden Energie sind jeweils noch zu addieren.

Quelle: VDE-Studie

Batterietechnologien

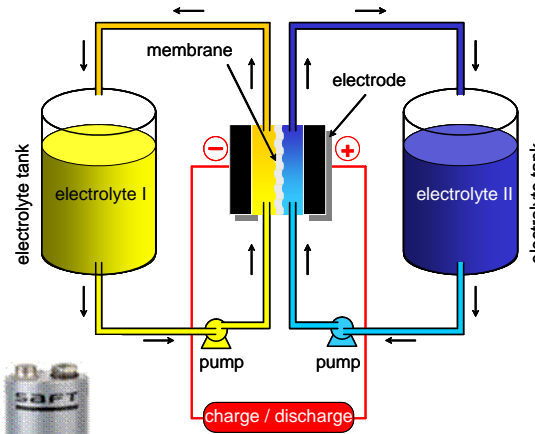


Quelle: VDE-Studie

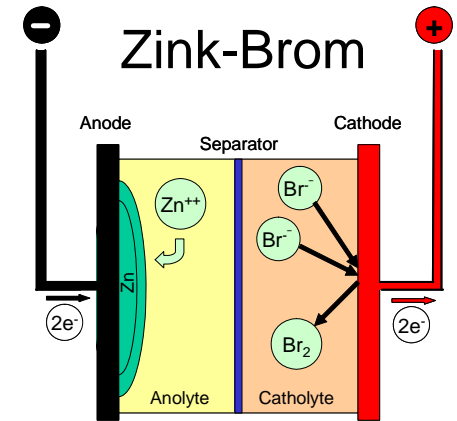
Batterietechnologien



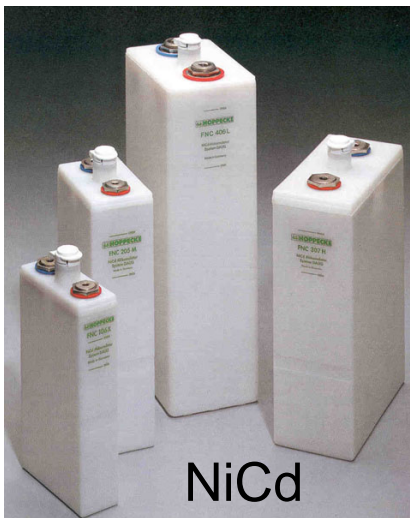
NaS / NaNiCl



Redox-flow



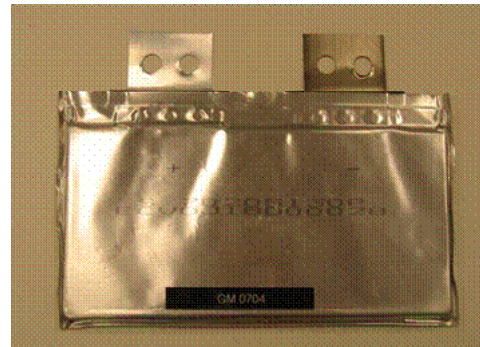
Zink-Brom



NiCd



Lithium-Ionen

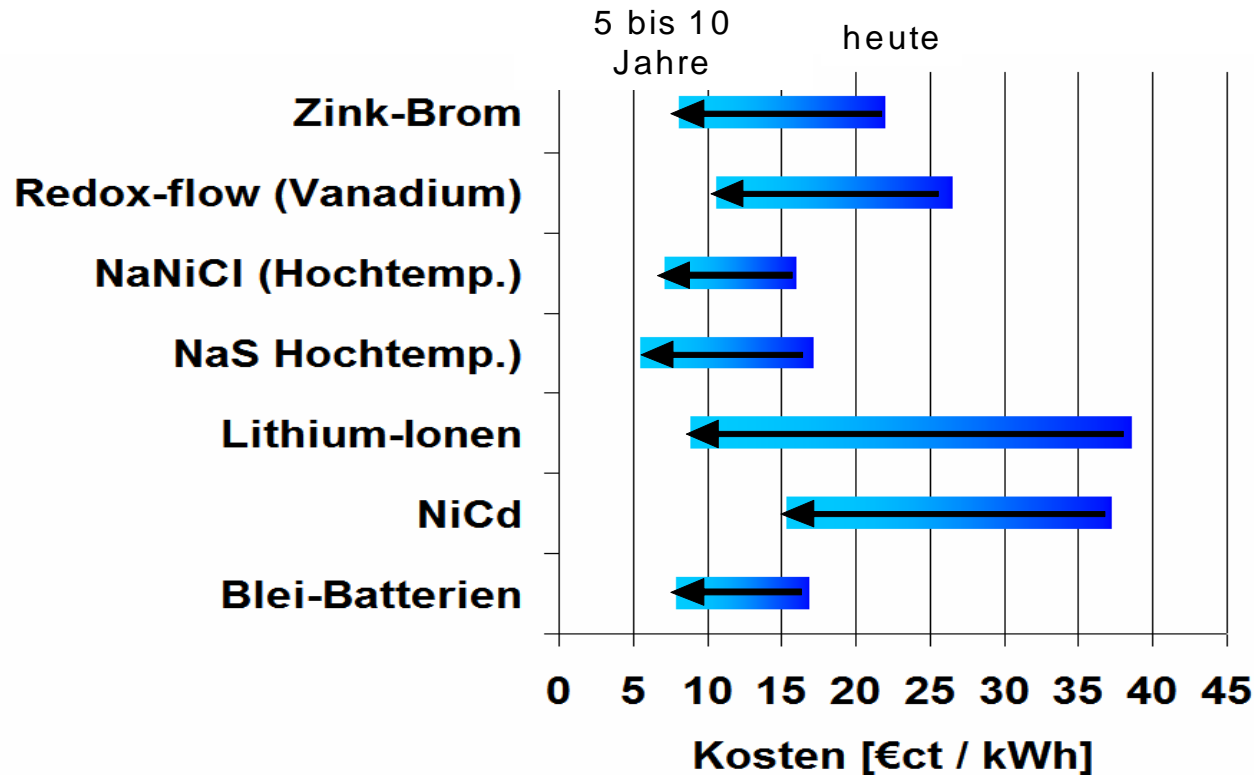


Bleisäure

Quelle: Prof. Sauer, ISEA, RWTH Aachen

Kosten für Energie aus Speichern im NS-Netz

100 kW für 2,5 Stunden (250 kWh), 2 Zyklen pro Tag



Reine Speicherkosten; die Kosten für den Einkauf der abzugebenden Energie sind jeweils noch zu addieren.

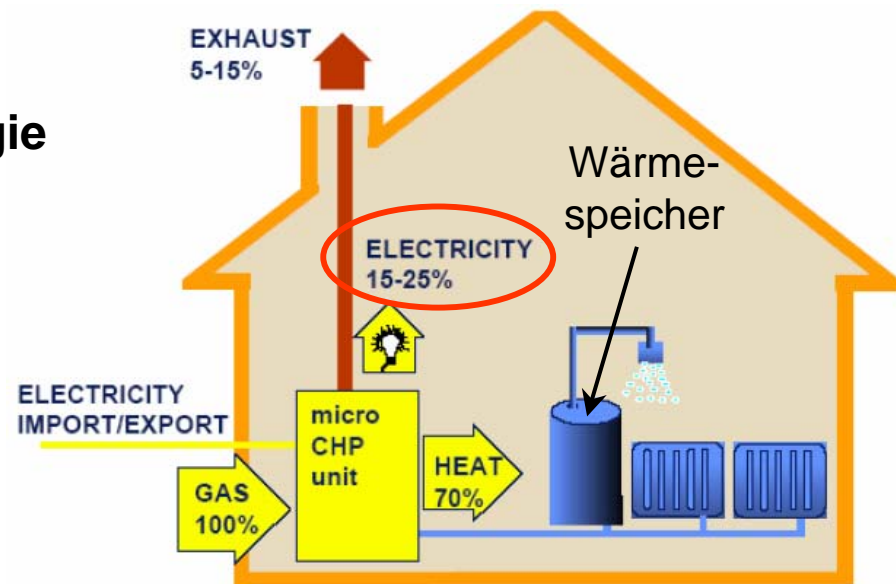
Quelle: VDE-Studie

Speicher in Kundenanlagen - Wärmespeicher

- KWK-Anlagen: konsequente Umstellung auf stromgeführten Betrieb
- Entkopplung des Strom- und Wärmebedarfs durch **thermische** Speicher ist dabei die kostengünstige Alternative
- **Aber:** KWK-Anlagen in Einfamilienhäusern mit guter thermischer Isolierung machen keinen Sinn: **kaum Wärmebedarf**
- vermehrter Einsatz von Wärmepumpen
- Tagesspeicher und saisonale Speicher (Erdreichspeicher) für thermische Energie
- **Unter dem Aspekt, dass zukünftig ein stetig wachsender Stromanteil aus erneuerbaren Quellen stammen wird, stellt die intelligente Nutzung der Kapazitäten der bestehenden Elektro-Speicherheizungen durchaus eine sinnvolle Alternative dar.**



Quelle: Buderus



Quelle: DEFU, H. Weldingh

Elektrofahrzeuge: Wunsch und realer Bedarf

Wunschvorstellungen für Elektrofahrzeuge:

Fahrstrecke pro „Tankinhalt“: > 500 km

→ Batteriekapazität: ca. **100 kWh** (bei 20 kWh/100km)

→ **große, schwere und teure** Batterie

Dauer für einen „Betankungsvorgang“: ca. **5 Minuten**

→ erfordert bei Völlladung einer Batterie von 100 kWh eine Leistung im Bereich von **1 MW** und ist damit **nicht realisierbar!**

Kleine Stadtfahrzeuge
als reine E-Fahrzeuge
mit geringer Reichweite



und



Plug-in Hybridfahrzeuge
mit „Range Extender“
als universelles Fahrzeug
innerstädtisch: elektrisch

Kleine Batterie ausreichend

Elektrofahrzeuge: Wunsch und realer Bedarf

Realer Bedarf:

Mittlere tägliche Fahrstrecke in Deutschland: **ca. 30 km**

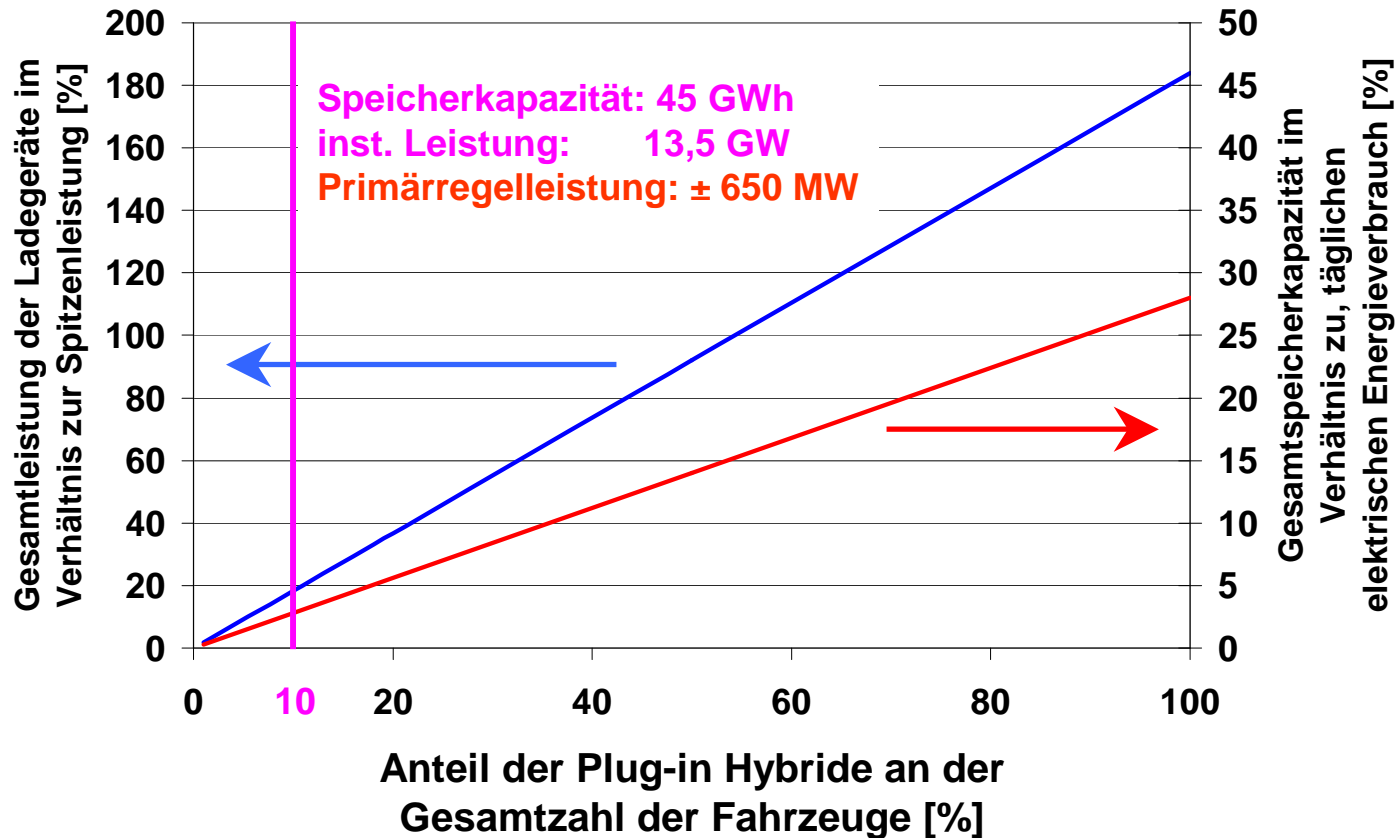
Ca. 40 % der Berufspendler fahren eine tägl. Strecke von **< 10 km**

Ca. 75 % der Berufspendler fahren eine tägl. Strecke von **< 25 km**

- eine Batterie mit **100 kWh** käme nur auf **ca. 20 Zyklen/Jahr** und würde sich damit „**kaputt stehen**“!
- eine **kleine, leichte u. billige** Batterie mit **6 kWh** wäre ausreichen
Ziel: Wahl der Batteriegröße entsprechend individuellem Bedarf
- selbst bei einer Ladeleistung von **nur 2 kW** wäre eine Ladezeit von **insgesamt 3 Stunden** ausreichend!
- einfache und kostengünstige Lademöglichkeit (230-V-Steckdose)
- „Ladeplatz“ kann auch als Parkplatz genutzt werden
Ladung nachts, am Arbeitsplatz, in Parkhäusern, Einkaufszentren
- „Intelligenz“ im Fahrzeug (Zählung und Kommunikation)

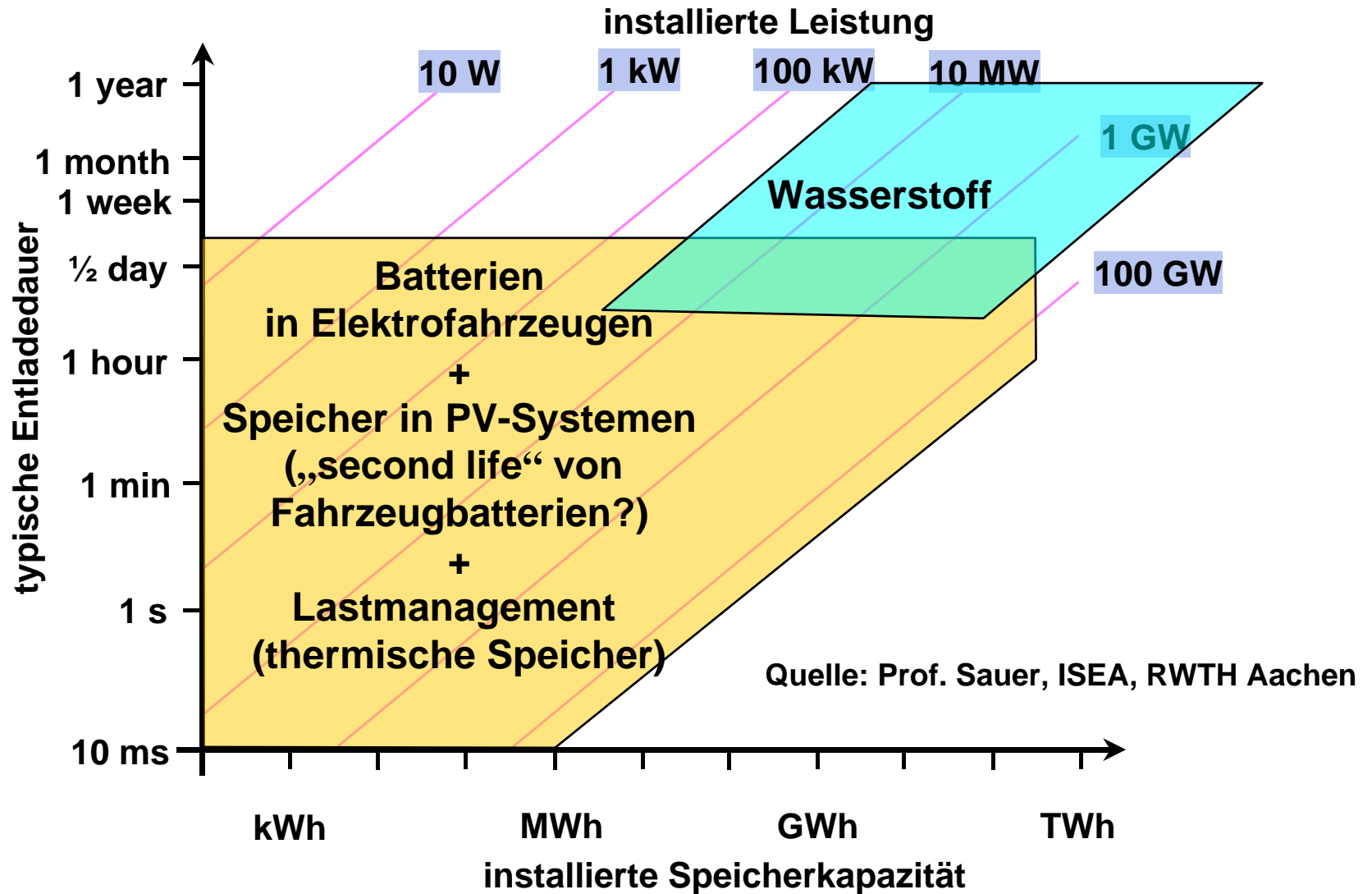
Typische Auslegung von Plug-In Hybrid-Fahrzeugen und Wirkungspotential im Netz

Reichweite pro Ladung:	50 - 70 km	Ladeleistung:	3 kW
benötigte Batteriekapazität:	10 kWh	Ladedauer:	2,5 ... 3,5 h



Quelle: Prof. Sauer, ISEA, RWTH Aachen

Mittelfristiges Szenario für den Speicherbedarf



Zusammenfassung: Speicherkosten und Effizienz

- **Speicherung elektrischer Energie ist mit signifikanten Kosten verbunden. Mittelfristig ist günstigstenfalls von folgenden Kosten auszugehen:**
 - **3 €/ct/kWh bei Stundenspeicherung (Pumpspeicher)**
 - **10 €/ct/kWh bei Langzeitspeicherung („Wochenspeicherung“)**
(reine Speicherkosten inkl. Kompensation der Verluste, ohne Kosten für Energieeinkauf)
- **Wenn mit einem Netzausbau das Problem gelöst werden kann, dann stellt dies in der Regel die kostengünstigste Alternative dar.**
- **Dezentrale Speicherung in Batterien ist heute noch wesentlich teurer als zentrale Speicherung im Übertragungsnetz. Deutliche Kostensenkungspotenziale sind bei Massenfertigung jedoch möglich.**
- **Die Effizienz der unterschiedlichen Speicher liegt im Bereich von**
 - < 40 % bei Wasserstoffsystemen und**
 - > 90 % bei Lithium-Ionen-Batterien.**

Zusammenfassung: Zukünftiger Speicherbedarf

- Bei hoher Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen könnten diese mobilen Speicher – integriert in ein intelligentes Last- und Speichermanagement - alle Aufgaben für das Netz im Zeitbereich von Sekunden bis zu einigen Stunden übernehmen.
- Für mehrtägige Windflauten sowie saisonaler Schwankungen von erneuerbaren Energien sind die mobilen und die meisten Groß- und Batteriespeichertechnologien nicht ausreichend.
- Hierzu sind große stationäre Speicher („Wochenspeicher“) erforderlich. Mögliche Optionen: großen Speicherseen in alpinen Regionen und Wasserstoff in unterirdischen Salzkavernen.
- Nur große Langzeitspeicher können thermische Kraftwerke nachhaltig ersetzen.
- Speicher – sowohl als Teil der Last als auch als eigenständige Anlagen – sind unabdingbare Voraussetzung für die Erreichung der energiepolitischen Ziele für 2020 und darüber hinaus.



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Haben Sie noch Fragen?

martin.kleimaier@t-online.de