

Flexibilität in der Energieversorgung – Technische Herausforderungen für die Energiewende

Kann die Energiewende gelingen?
Karlsruhe, 27. Mai 2014

Peter Elsner



Jens Tübke



Dirk Uwe Sauer



PGS | Institute for Power
Generation and Storage Systems

Flexibilitätstechnologien

Flexibilität im Netz bedeutet:

- Bereitstellung von negativer und/oder positiver Ausgleichsleistung

Unterscheidung der Flexibilitätstechnologien nach

- Reaktionsgeschwindigkeit
- Energie-/Leistungsverhältnis (→ max. Dauer der Bereitstellung)
- Kostenstruktur
- Lokalisierung bzgl. Netzebenen
- Fähigkeit zur Bereitstellung von Netzserviceleistungen (Regelenergie, Blindleistung, etc.)
- Aber: Es spielt aus technischer Sicht zunächst keine Rolle, woher die Energie kommt oder wohin sie geht

Speicher liefern positive und negative Ausgleichsleistung

D.U. Sauer

Flexibilitätstechnologien

Netzausbau Power-to-Heat Demand Side Management (Industrie)

Doppelnutzen-Speicher Stromgeführte KWK-Anlagen

Speichertechnologien sind ein Element im Portfolio der Flexibilitätstechnologien.

Abschaltung von EE-Anlagen Bedarfsgesteuerte Biogasanlagen

Flexible konventionelle Kraftwerke

Power-to-Gas (Chemicals)

„Intelligente Netze“

Demand Side Management (Haushalte inkl. Elektromobilität)

Flexibilitätstechnologien - Beispiel „Power to Gas“

“power to gas”

- **Liefert Negative Regelleistung**
- Komponenten: Elektrolyseur, ggf. $H_2 \rightarrow CH_4$ Reaktor, Gaspipelines und Gasspeicher
- Bringt CO_2 -freie Energie vom elektrischen in die nicht-elektrischen Energiesektoren

“Gasspeichersystem”

- **Liefert positive und negative Regelleistung**
- Komponenten: Elektrolyseur, Gasspeicher, Brennstoffzelle oder Gasturbine
- Anwendung: gesicherte Leistung durch Langzeitspeicher

Flexibilitätstechnologien - Beispiel „Netzausbau“

Prioritäten bei der Infrastrukturplanung:

im Übertragungsnetz:

1. Last- und Erzeugungsmanagement
2. Netzausbau
3. Speicher

im Verteilnetz:

1. Last- und Erzeugungsmanagement
2. Speicher und/oder Netzausbau

Beispiel: Speicher, die sowieso da sind und zusätzlich Netzdienstleistungen liefern können

- Speichersysteme werden für einen anderen Primärnutzen angeschafft
- Netzserviceleistungen bieten eine zusätzliche Einnahmequelle
- Sehr hohes Potential



Vehicle to grid



Eigenverbrauch
in PV-Anlagen

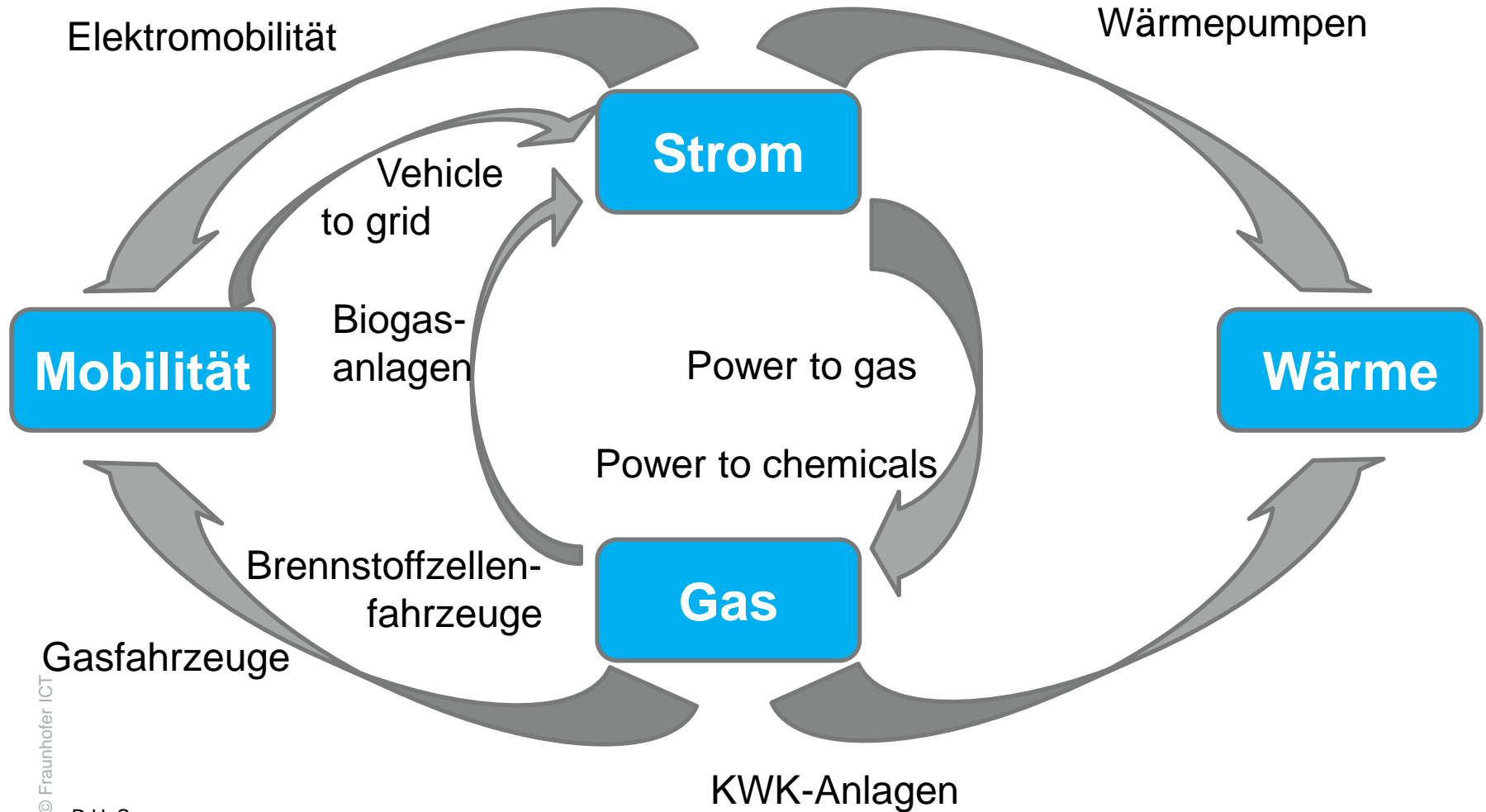


Quelle: www.xpirio.com

Unterbrechungsfreie
Stromversorgung
(USV)

- Typischerweise in Szenariountersuchungen gar nicht oder nur mit begrenztem Potential enthalten

Zentrale Herausforderung: Energiesysteme müssen verknüpft werden

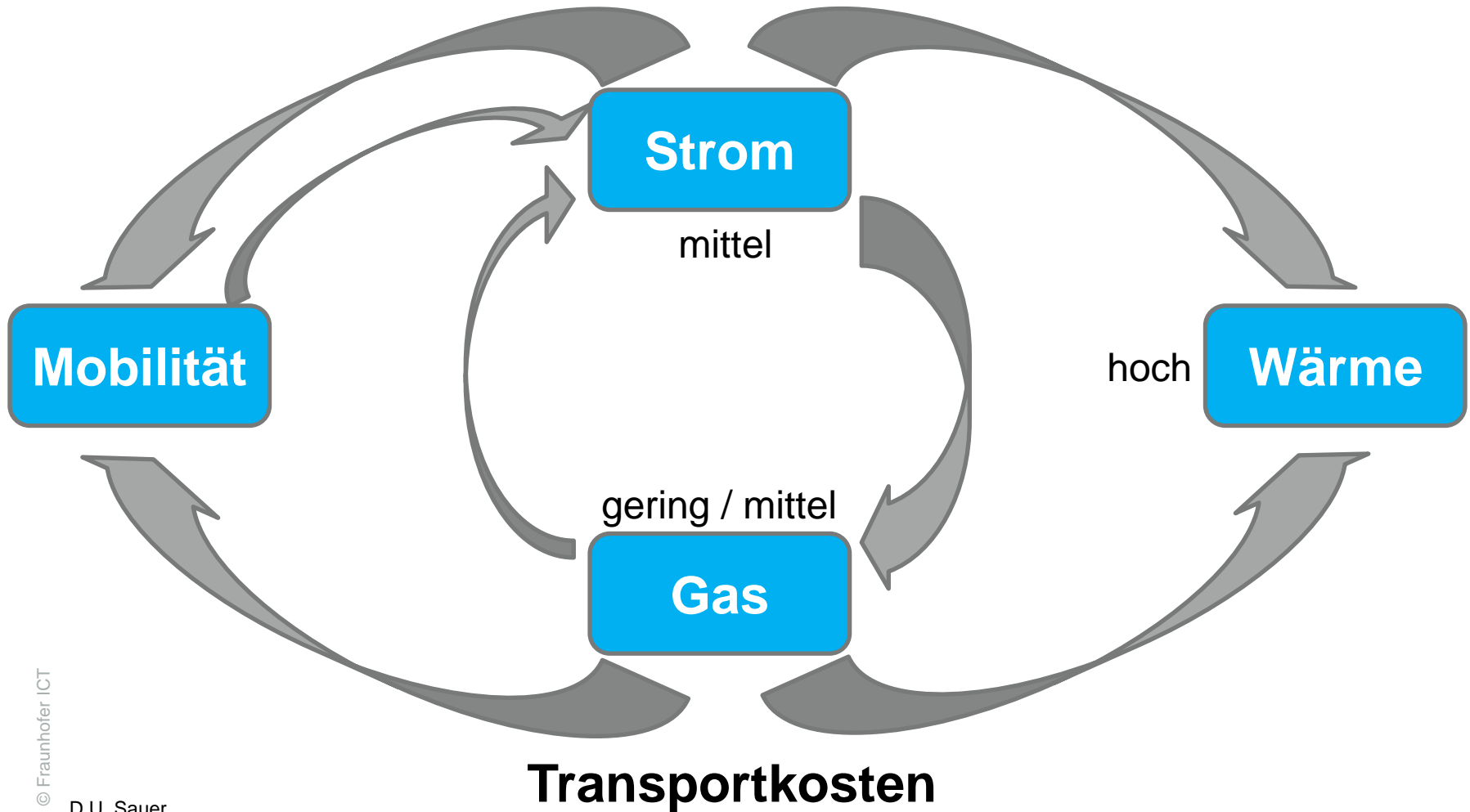


© Fraunhofer ICT

D.U. Sauer

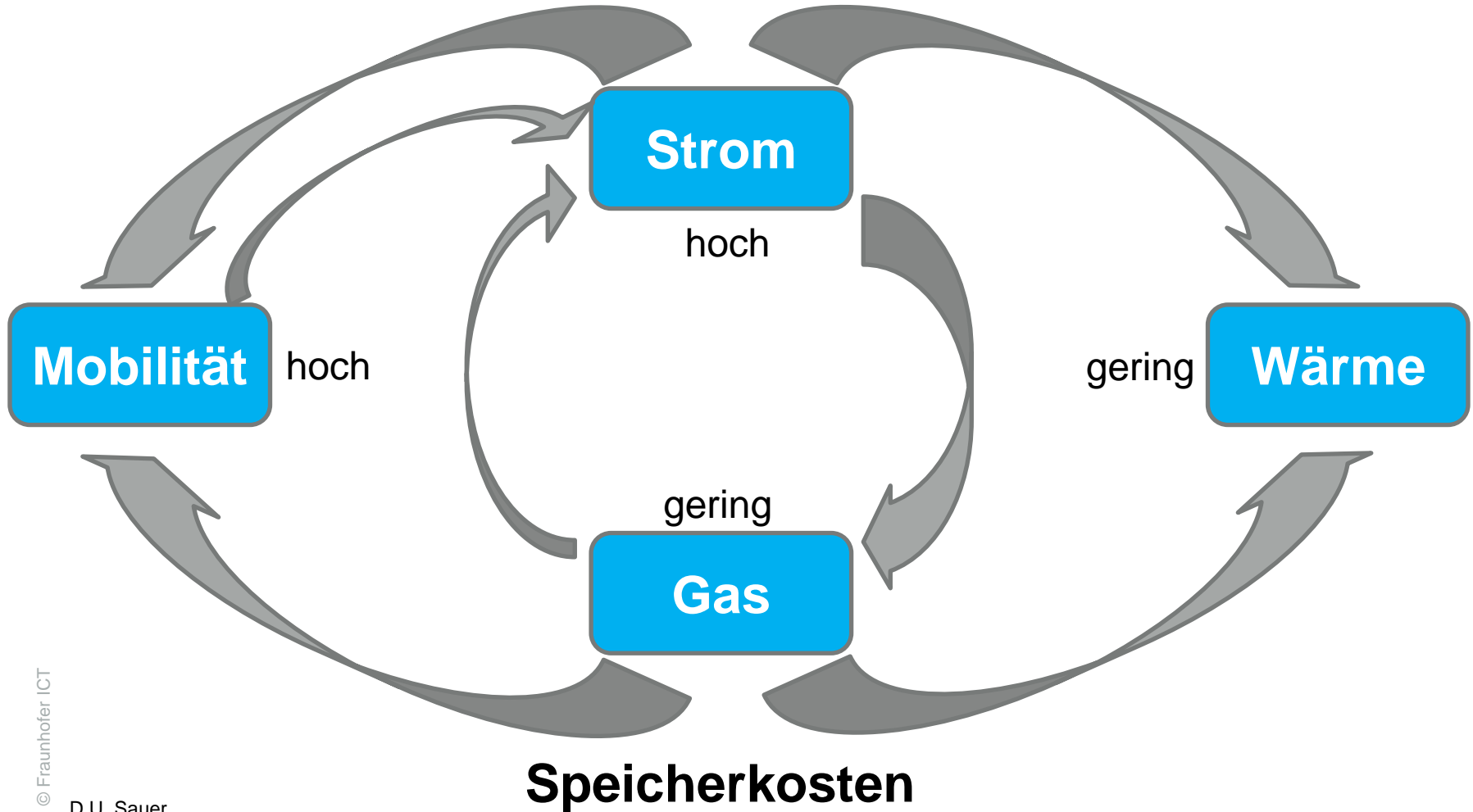
Energiesysteme müssen verknüpft werden

– Effizienz und Kosten beachten



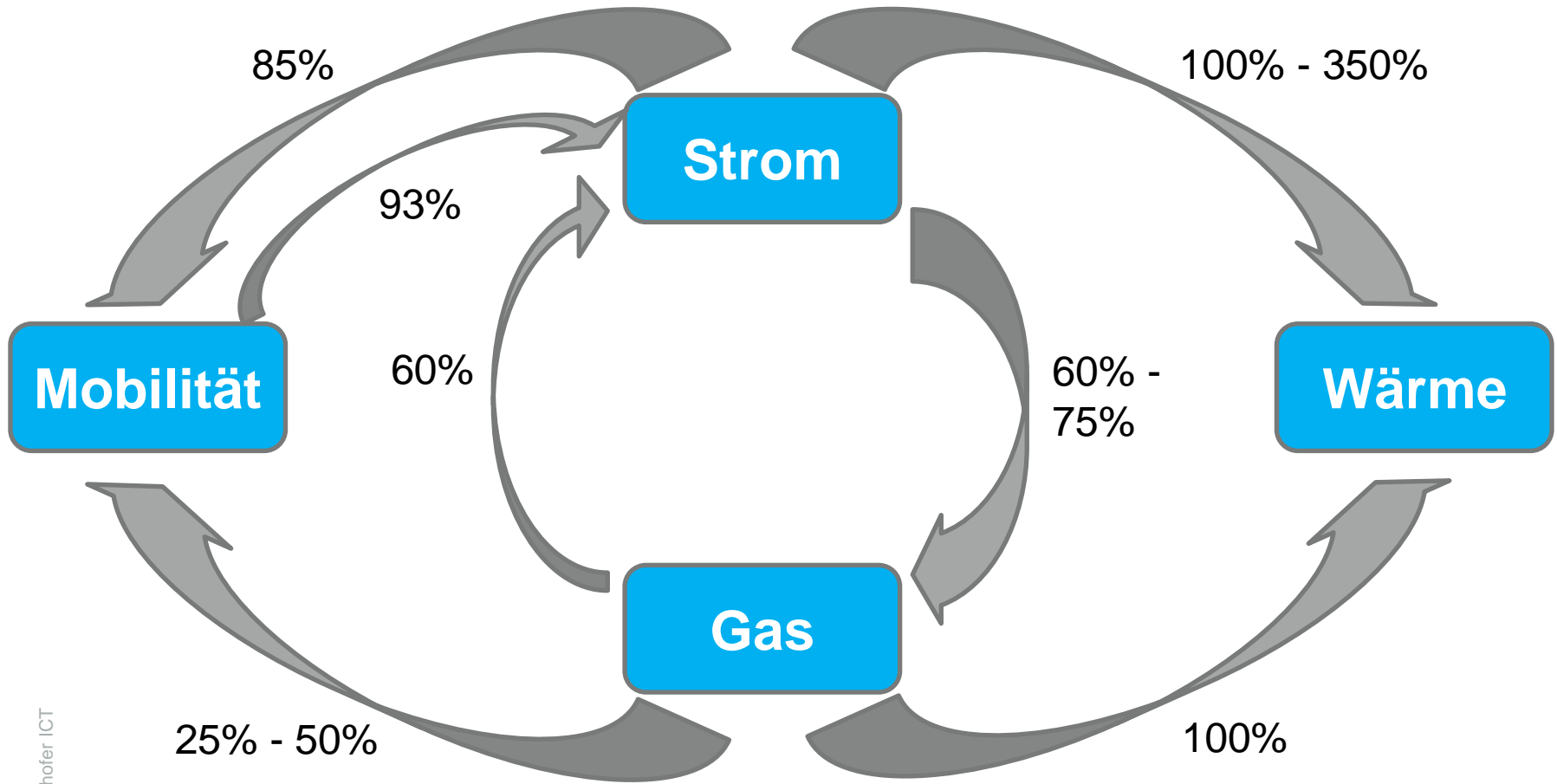
Energiesysteme müssen verknüpft werden

– Effizienz und Kosten beachten



Energiesysteme müssen verknüpft werden

– Effizienz und Kosten beachten



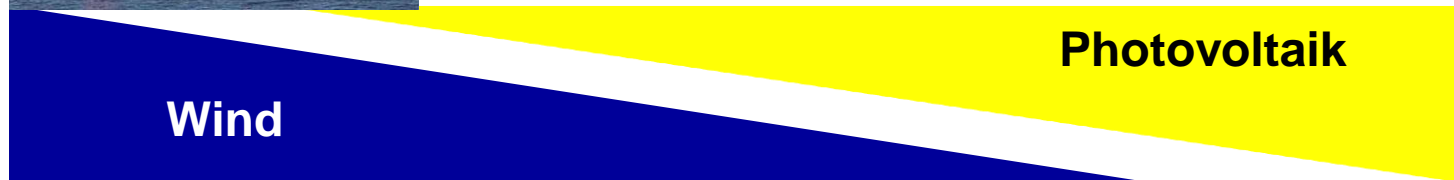
Umwandlungswirkungsgrade

Lokalisierung bzgl. der Netzebenen

Bei beschränkter Netzkapazität müssen Probleme gelöst werden, wo sie auftreten



Strom-
erzeugung

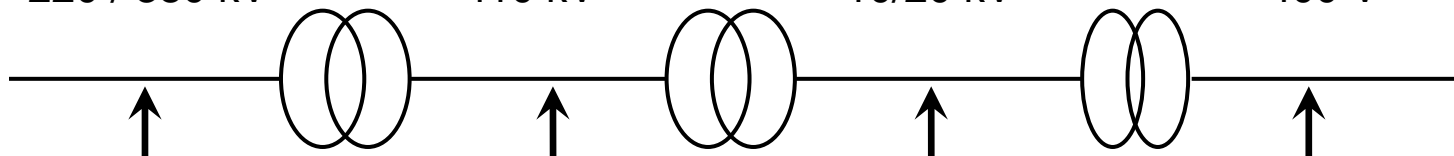


220 / 380 kV

110 kV

10/20 kV

400 V



Flexibilitäts-
technologien
(Beispiele)

Pumpspeicher
power to H₂ / CH₄
Netzkopplung
konv. Kraftwerke

Lastmanagement
power to H₂ / CH₄
Biogasanlagen
Netzausbau (inkl. Trafos)

Lastmanagement
Speicher
KWK
Biogasanlagen

Lastmanagement
Elektrofahrzeuge
Batterienspeicher
Power to heat

© Fraunhofer ICT

D.U. Sauer

Brauchen wir in Zukunft Stromspeicher ?

■ Massiver Ausbau erneuerbarer Energien geplant (lt. BMU Leitstudie)

(lt. BMU Leitstudie)

▶ bis 2030

Wind bis 50 GW
Solar bis 12 GW

▶ bis 2050

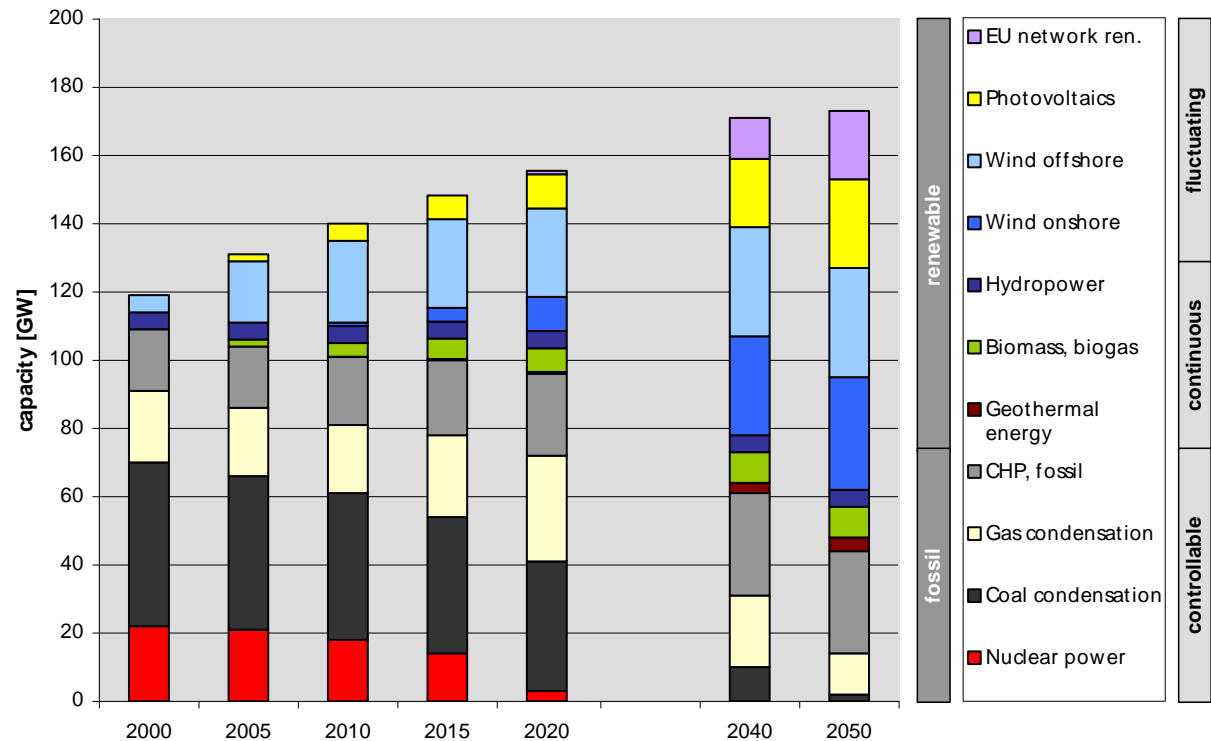
Fluktuierende über 90 GW

■ Verhältnis fluktuierender zu regelbarer Leistung

▶ heute: 1 zu 6

▶ 2030: 1 zu 1,3

▶ 2050 1 zu 0,5



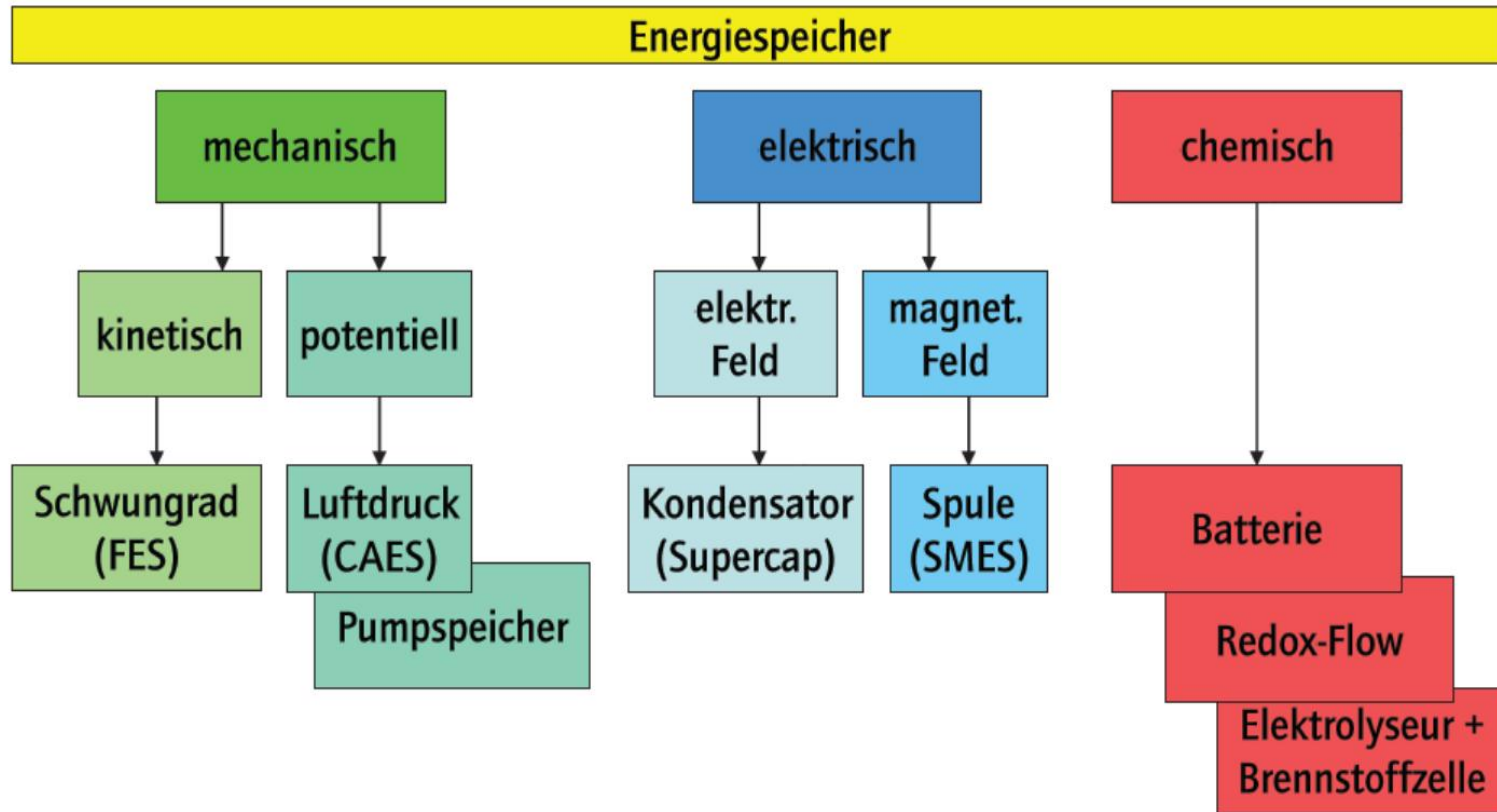
Source: BMU (Lead Study 2007)
Chart: Fraunhofer UMSCHT

(BMU Leitstudie)

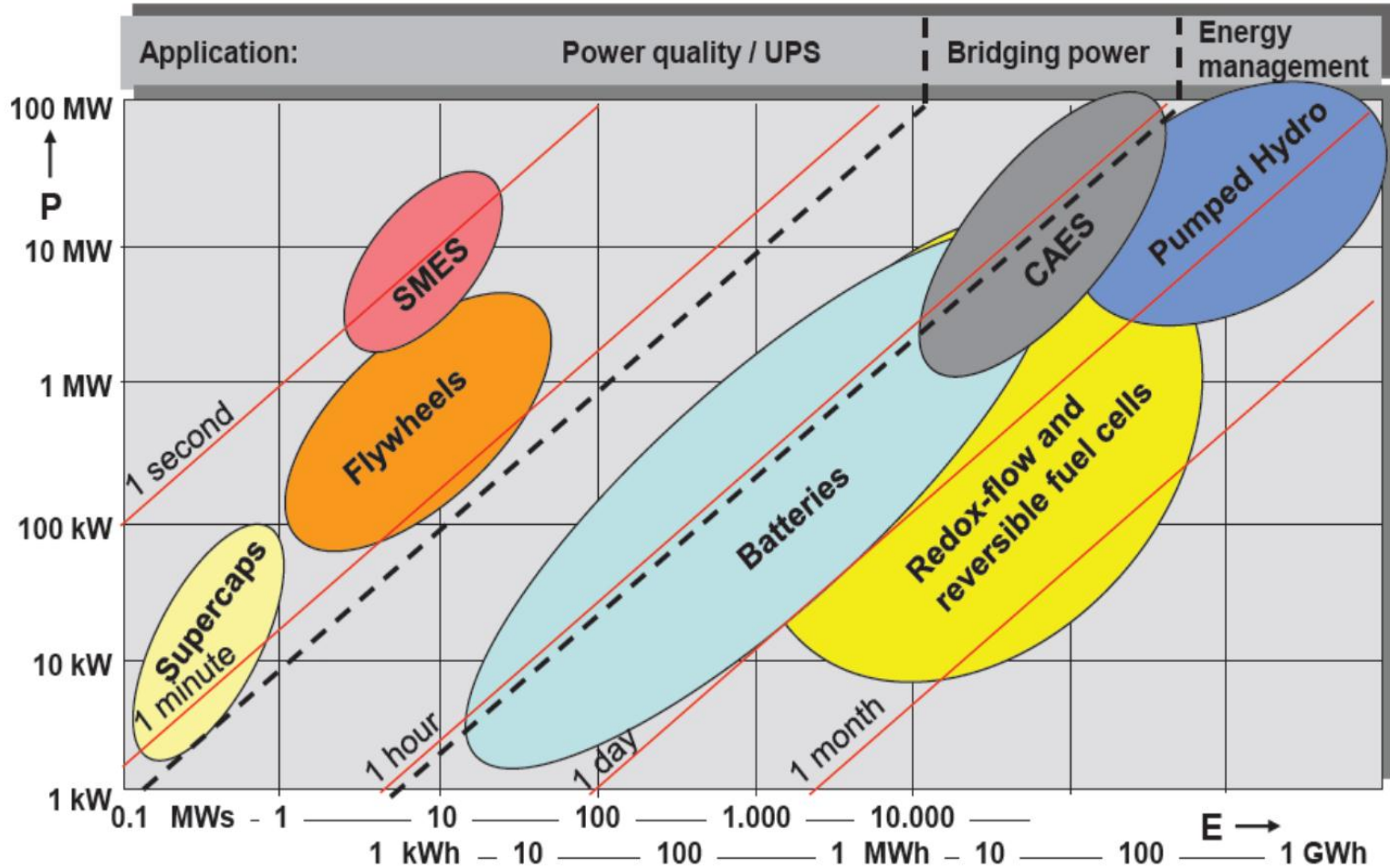
Warum brauchen wir in Zukunft Stromspeicher ?

- Netzausbau vs. Stromspeicher
 - Im Gegensatz zum Gasnetz ist das Stromnetz kein Speicher
 - Netze erlauben eine regionale Verschiebung von Leistung
 - Speicher erlauben eine zeitliche Verschiebung von Energie
- Netze und Speicher unterstützen sich, können sich aber gegenseitig nicht ersetzen
- Speicher ermöglichen weitere wichtige Dienstleistungen
 - Regeln von Verbrauch und Nachfrage
 - Lokale Netzdienstleistungen (Frequenzregelung, Reserveleistung, unterbrechungsfreie Versorgung, Inselversorgung, ...)
 - Optimierung Betriebsführung konventionelle Kraftwerke, bis zum Ersatz
 -

Übersicht Speicher



Typischer Leistungs- und Energieeinsatz von Speichern



© Fraunhofer ICT

Typischer Leistungs- und Energieeinsatz von Speichern

	Pumpspeicher- kraftwerk	CAES- Kraftwerk	AA-CAES- Kraftwerk	Blei- Akkumulator	NaS- Batterie	Li-Ion- Batterie
Systemgröße	0,1 - 1 GW	10 - 100 MW	10 - 100 MW	skalierbar	skalierbar	skalierbar
Energiedichte	0,7 kWh/m ³	-	2,7 kWh/m ³	30 Wh/kg	100 Wh/kg	bis 160 Wh/kg
Zyklusnutzungsgrad	bis 80 %	bis 55 %	bis 70 %	81 - 94 %	70 - 90 %	70 - 90 %
Zugriffszeit	Minuten	Minuten	Minuten	Sekunden	Sekunden	Sekunden
Investitionskosten	600 - 3.000 €/ kW	600 - 1.000 €/ kW	1.000 - 1.500 €/ kW		1.000 - 3.000 €/ kW	
Vorteile	hoher Nutzungsgrad, eher kostengünstig	viele geeignete Standorte	hoher Nutzungsgrad	kostengünstig, ausgereifte Technologie	Lebensdauer bis zu 15 Jahre, Technologie hat sich in Japan bewährt	hohe Energiedichte
Nachteile	standortabhängig, limitiertes Ausbaupotenzial	mäßiger Nutzungsgrad, Kombination mit Gasturbine nötig	Entwicklungsphase, noch nicht ausgereift	geringe Energiedichte, geringe Lebensdauer	Betriebstemperatur 290°C	Sicherheit, Lebensdauer nur ca. 5 Jahre
Regelleistung	★★★★★	★★★★	★★★★★	★★★	★★★★	★★★
Peak-Shaving	★★★★★	★★★	★★★★★	★★★	★★★★	★★★
Notstromversorgung	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★★	★★★
Unterbrechungsfreie Stromversorgung	★	★	★	★★	★★★	★★★
Black-Start-Ability	★★★★★	★★★★	★★★★	★★★	★★★	★★★
Einspeiseglättung	★★	★★★★	★★★★	★★	★★★★	★★★

Wie groß ist der Speicherbedarf in Deutschland?

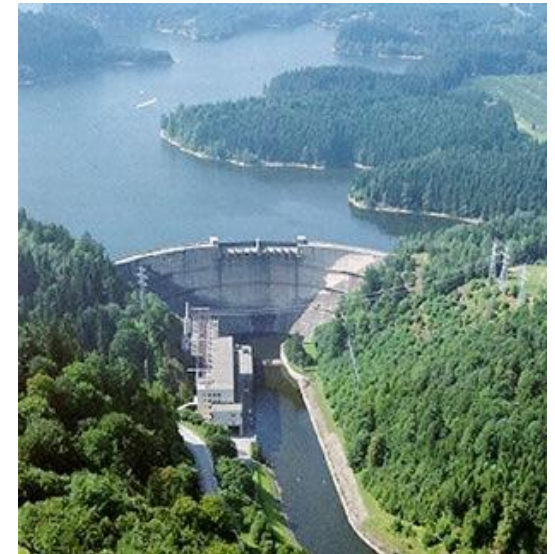
■ Tägliche Speicherkapazität

- 30 – 50 GW
- für 2-4 Stunden



■ Langfristige Speicherung

- 40 – 60 GW
- bis zu 3 Wochen (ca. 20 TWh)



Technologien für Energiespeicher

- **Pumpspeicherkraftwerke (PH)**
(effizient, aber problematischer Ausbau)
- **Druckluftspeicherkraftwerk (CAES)** (bisher wenig effizient, geologische Anforderungen)
- **Natrium-Schwefel-Batterie (NaS)**
(Einsatz kritischer Materialien bzw. Temperaturen)
- **Bleibatterie (LA)**
(Stand der Technik, wenig Entwicklungspotenzial)
- **Lithium-Ionen-Batterie (LiB)**
(Stand der Technik mobil, Entwicklungspotenzial, teuer)
- **Redoxflow-Batterien (Redox)**
(hoher Entwicklungsbedarf; hohes Entwicklungspotenzial)
- **Wasserstoff** (BZ / Elektrolyse), power to grid
- **Wärme / Kältespeicher**

Weltweit installierte Energiespeicherkapazität

PH >110.000 MW_{el} (d.h. über 99% der gesamten Kapazität)



Wirtschaftlich und effizient stellen sich im MWh-Bereich nur Redox-Flow-Batterien und Druckluftspeicher dar

Investitions- / Speicherkosten für stationäre Speicher

Speichertyp		elektrisch	magnetisch	kinetisch	potentiell		chemisch				
		Supercap	SMES	Schwungrad	Pump-spei-cher	CAES	Blei-batterie	NaS	Li- Ionen	Redox Flow	PEM-BZ
Investitions- kosten incl. Umrichter	Eur/kW	10.000	35.000	150 - 200	600	600	200-500	1.800	2.000	700	1.200
	Eur/kWh	35.000	35.000	30.000 - 50.000	75	150	300-500	600	900	400	

Speichertyp	ct/kWh pro Lade-/Entlade-Zyklus
Supercap	50 - 500
Schwungrad	35 - 70
Pumpspeicher	0,1 - 1,5
Druckgasspeicher	1,1 - 2,1

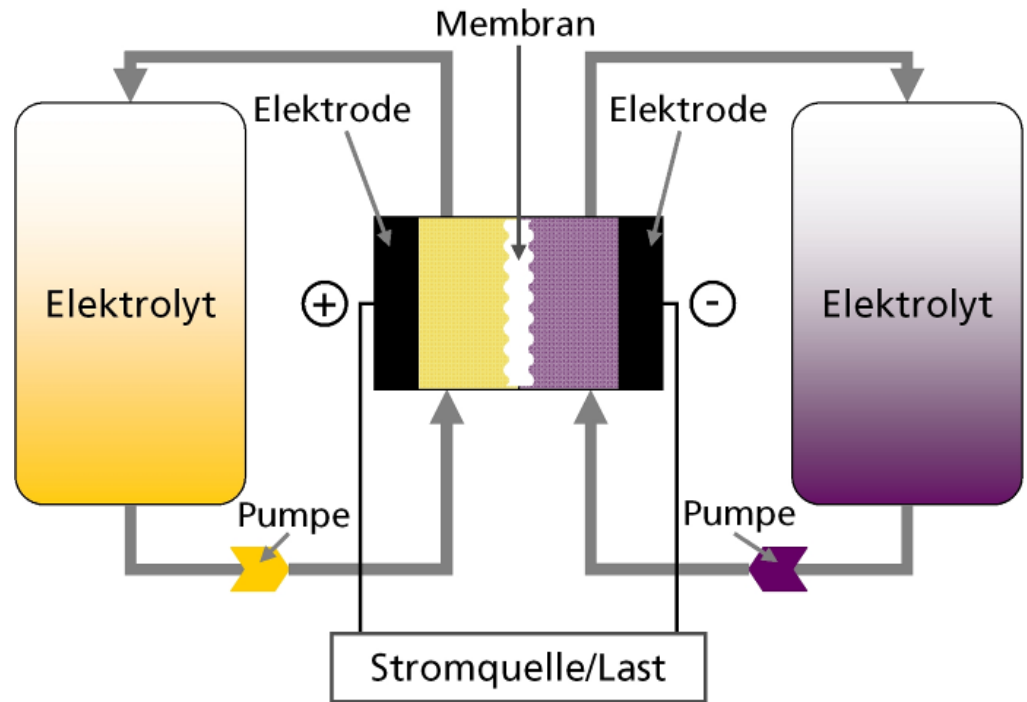
Quelle: Canders, Psola

Kostenfaktoren für stationäre Speicher



Redox-Flow-Batterien

Funktionsprinzip



Vergleich Batterien – Redox-Flow-Batterien

BATTERIEN

Batterie-Zelle

Batterie-Zelle

Batterie-Zelle

Batterie-Zelle

Batterie-Zelle

Doppelte Leistung

Doppelte Kapazität

REDOX-FLOW

Stack

Stack

Elektrolyt

Stack

Elektrolyt

Stack

Elektrolyt

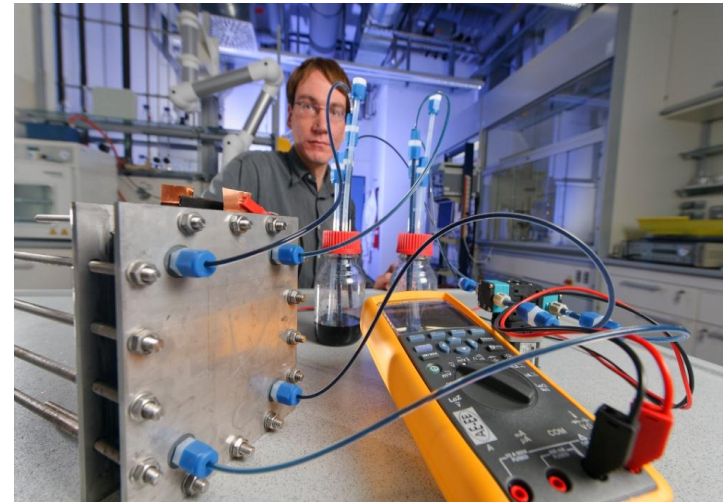
Elektrolyt

© Fraunhofer

Redox-Flow-Batterien

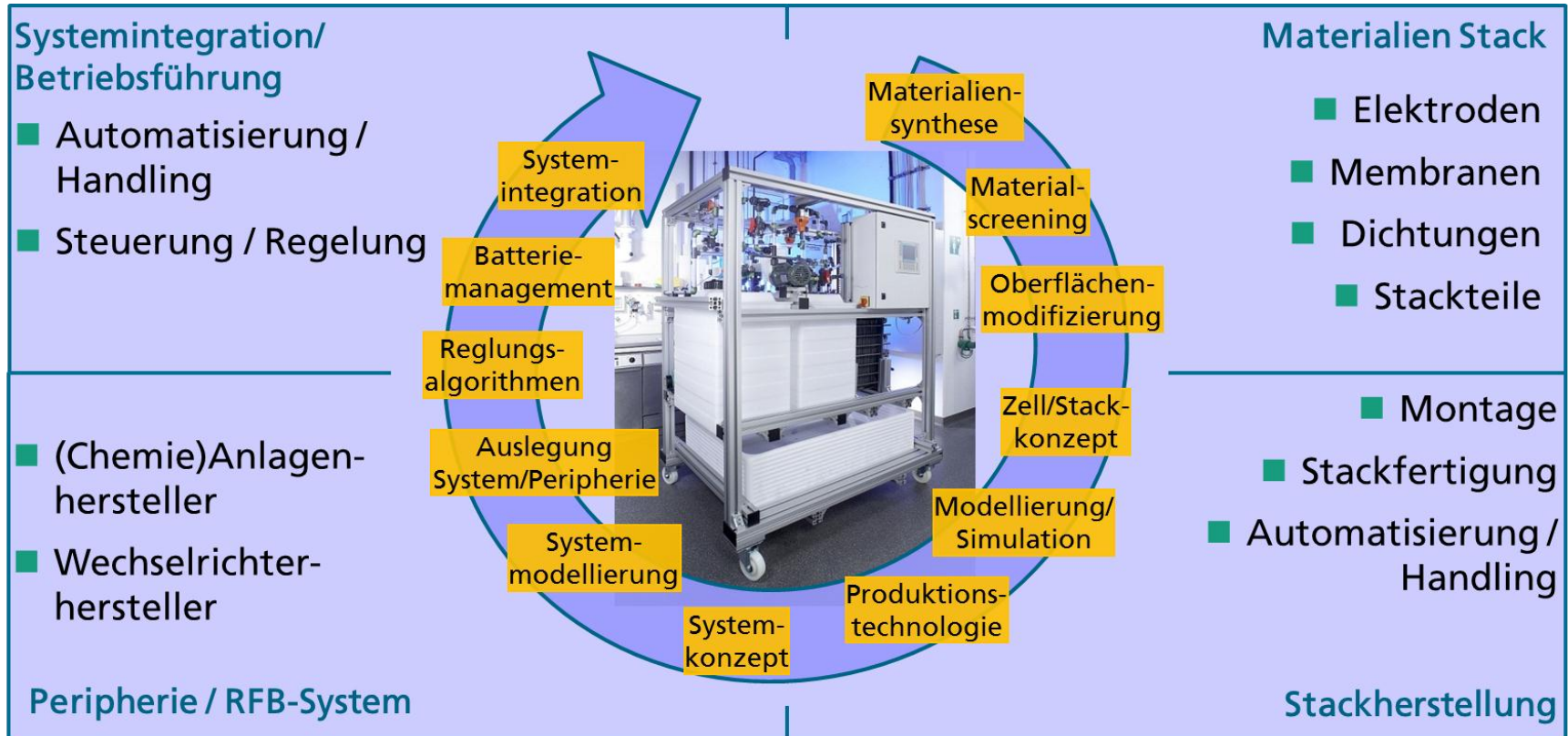
Motivation

- hoher Wirkungsgrad (>75 % Gesamtsystem)
- lange Lebensdauer, hohe Zyklenfestigkeit (> 10.000)
- flexibler Aufbau (Trennung von Energiespeicher und -wandler)
- leicht skalierbar
- schnelle Ansprechzeit (μs – ms)
- Überlade- und Tiefentladetoleranz
- geringer Wartungsaufwand
- keine Selbstentladung



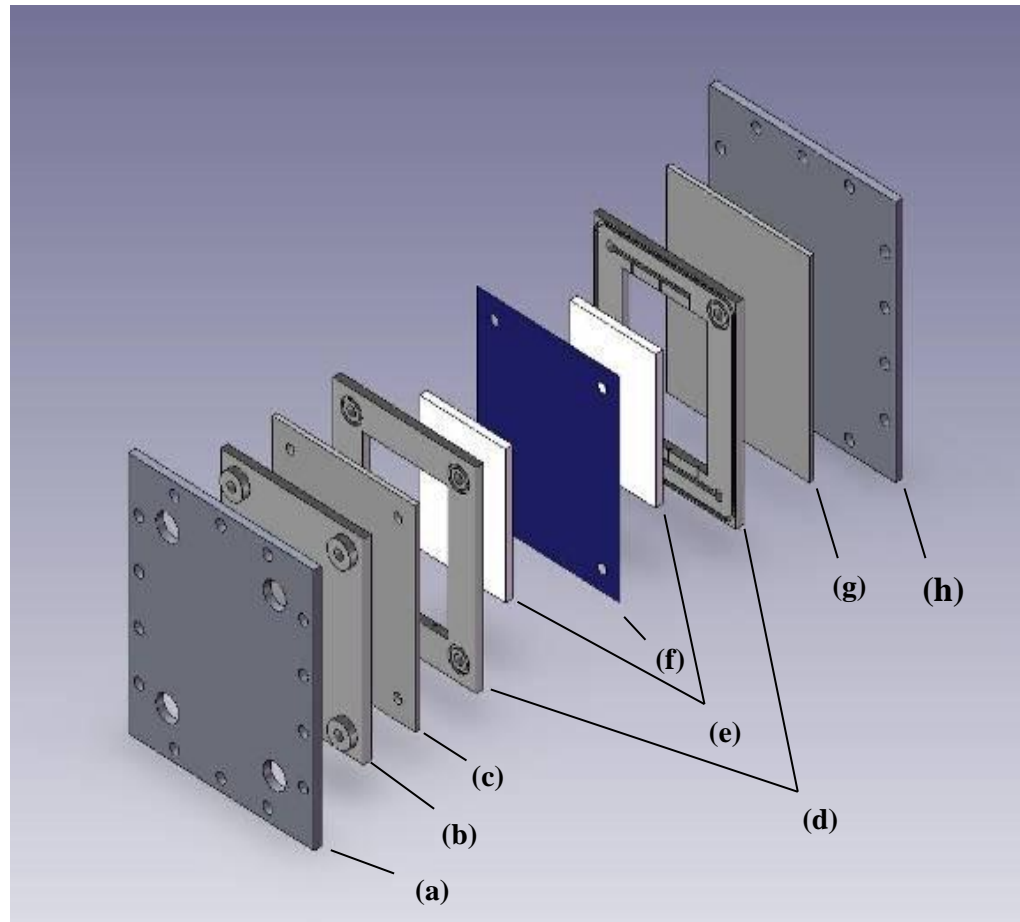
Redox-Flow-Batterien

Entwicklungsziele RedoxWind



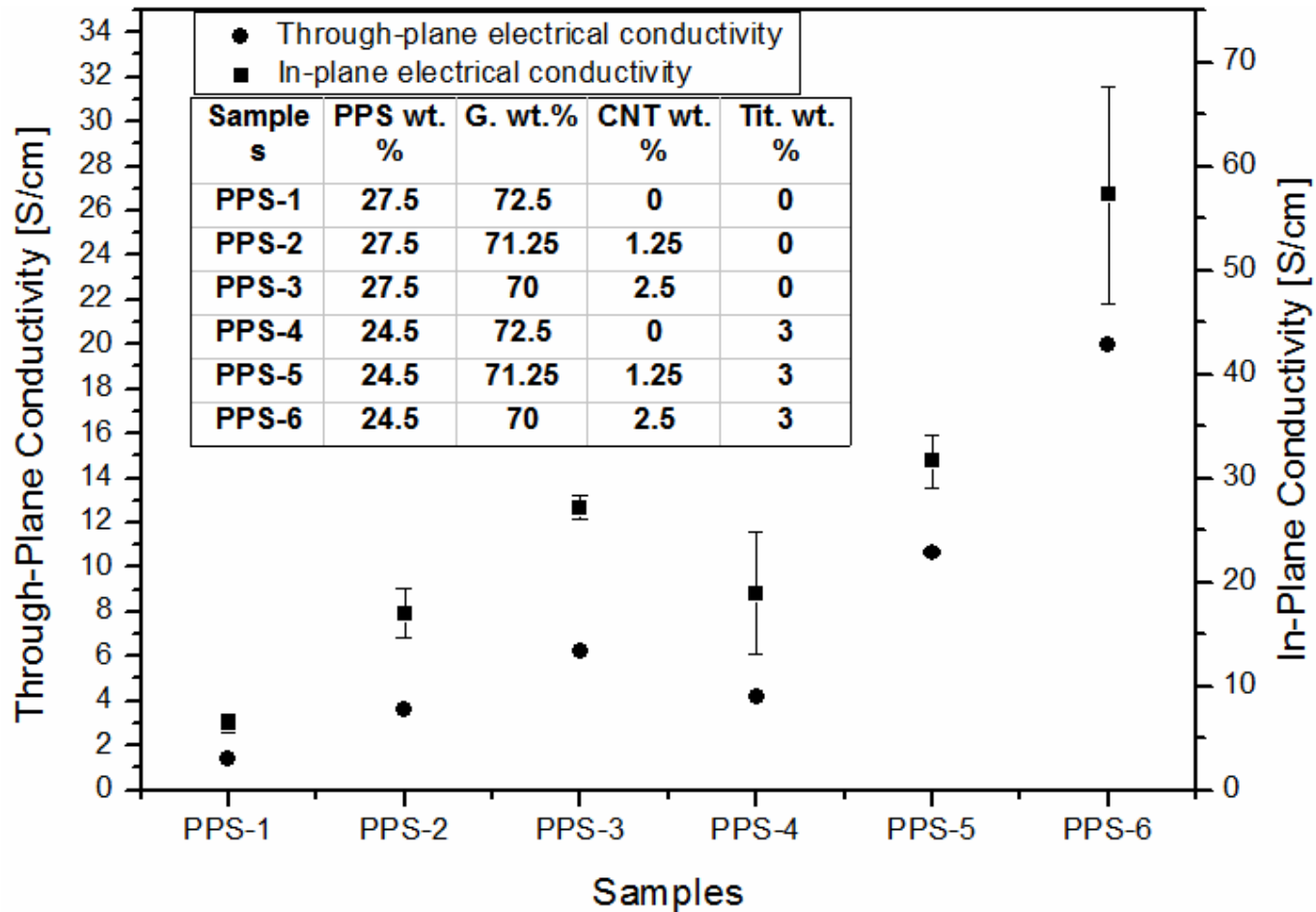
Redox-Flow-Batterien – Zellenkonstruktion

- a) Endplatte
- b) Isolationsplatte
- c) Graphitelektrode
- d) Durchflussrahmen
- e) Graphitfilz
- f) Membran
- g) Graphitelektrode
- h) Endplatte



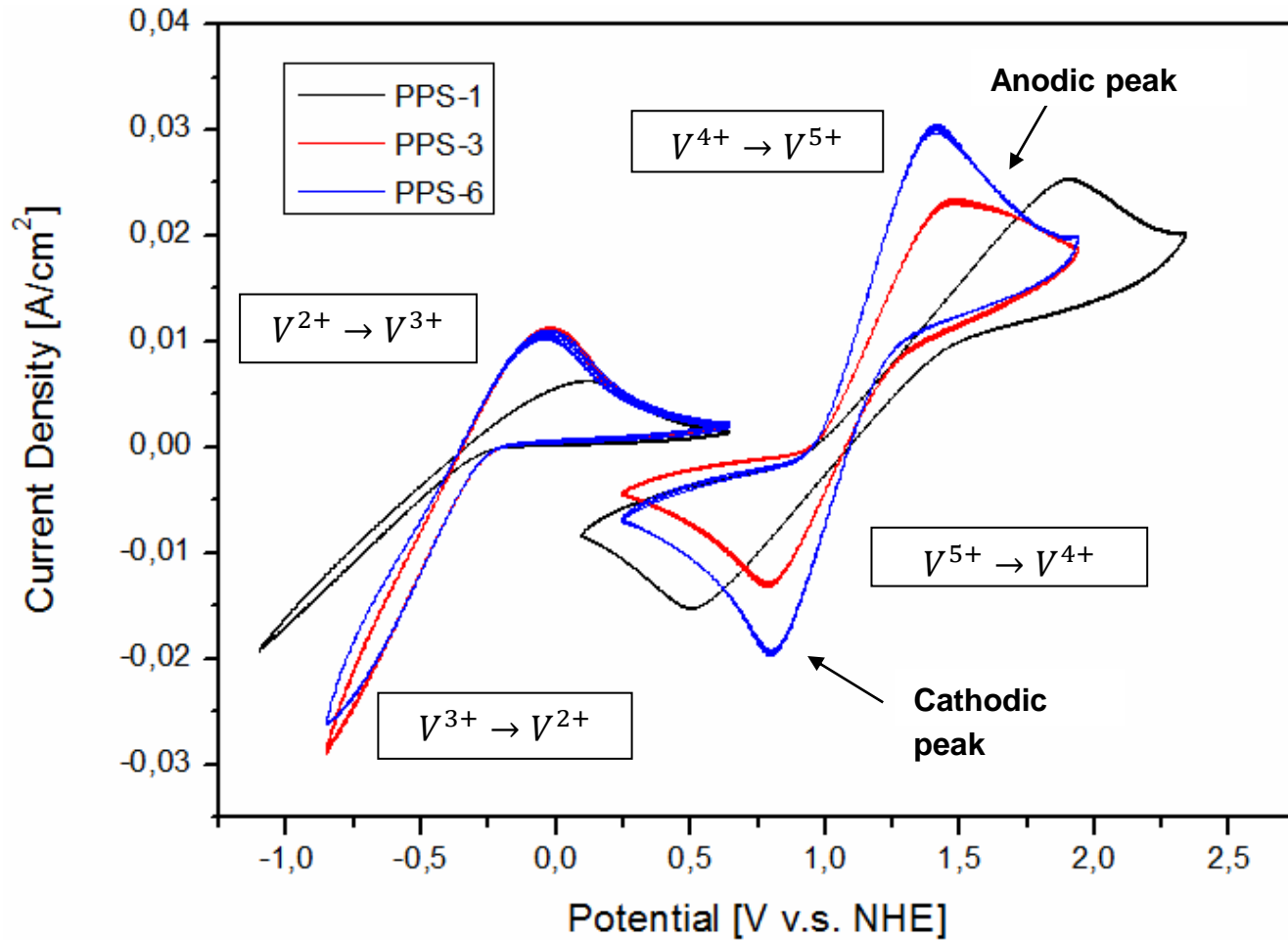
Redox-Flow-Batterien

Leitfähigkeit Bipolarplatten



Redox-Flow-Batterien

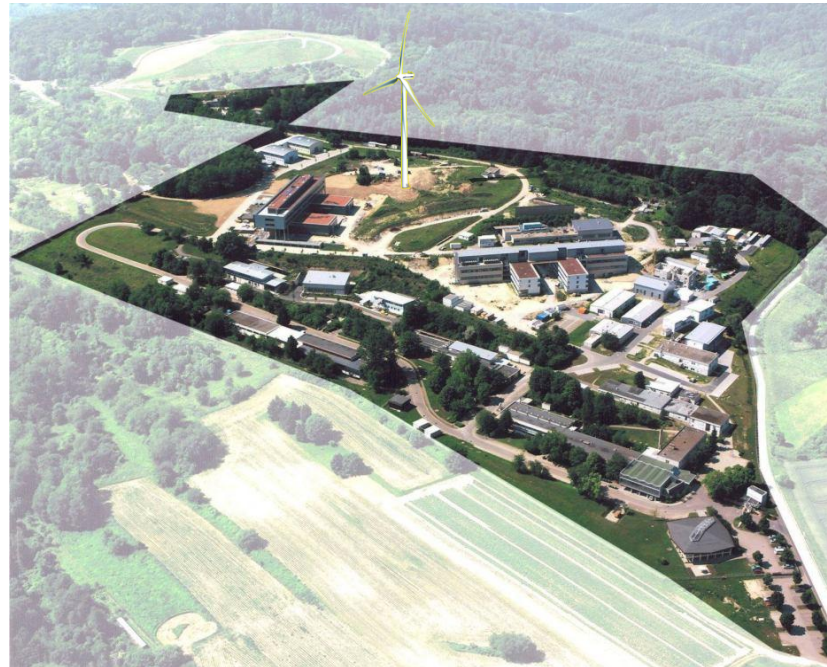
Beständigkeit Bipolarplatten



Einsatzgebiete der Redox-Flow-Batterie (1)



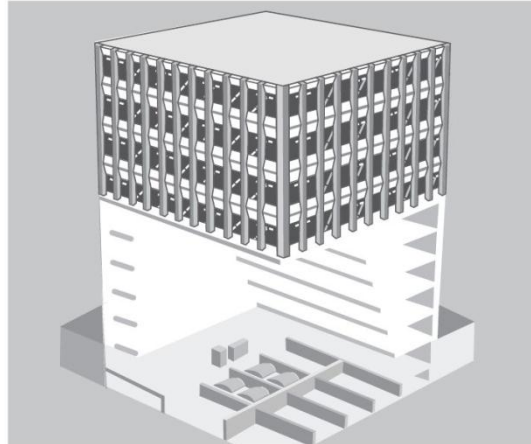
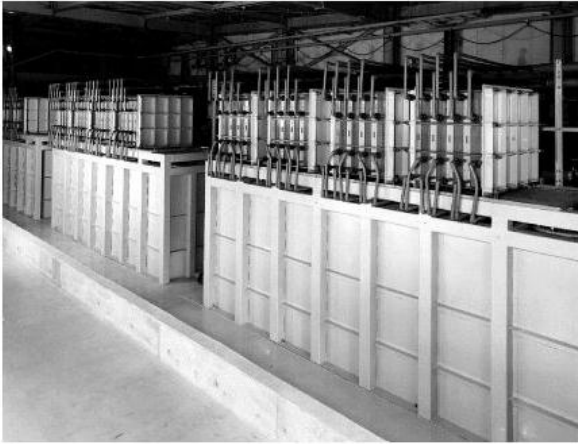
Bild: Sumitomo Electric



Pufferspeicher für die Stromerzeugung aus fluktuierenden Quellen

- Links: Tomari Wind Hills of Hokkaido, 275 kW / 1020 kWh
- Rechts: Fotomontage des geplanten Windrades auf dem ICT-Gelände, 2 MW / 20 MWh

Einsatzgebiete der Redox-Flow-Batterie (2)



Alle Bilder: N. Tokuda et al. : *Development of a redox flow battery system*; SEI TECH REV, 1998

Pufferspeicher für Großverbraucher bei unsicherer Stromversorgung

- Links: RFB für ein Kansai-Stahlwerk, 450 kW / 900 kWh
- Mitte: Bürogebäude, 50 kW / 175 kWh
- Rechts: zusammenfaltbarer Tank für die Gebäudenachrüstung

Einsatzgebiete der Redox-Flow-Batterie (3)

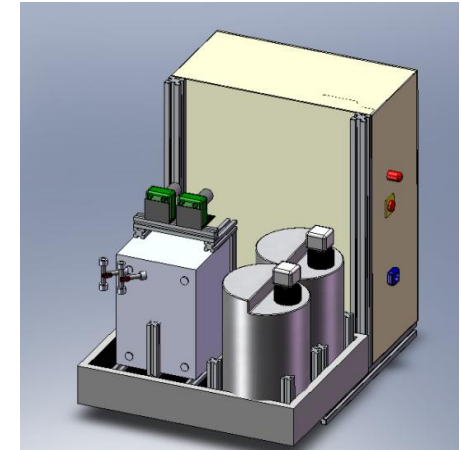
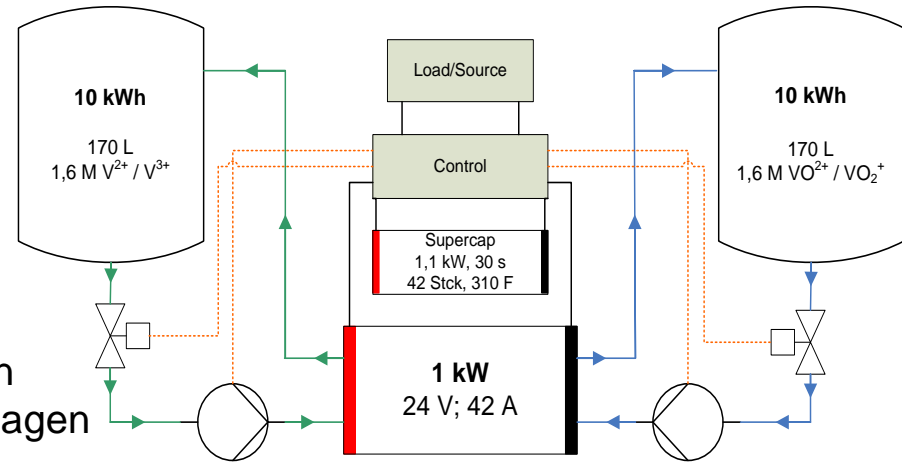


Bild links: <http://www.ceic.unsw.edu.au/centers/vrb/vanart2a.htm> , abgerufen am 01.09.2011

Pufferspeicher für Kleinverbraucher, Insellösungen und Notstromversorgung

- Links: Demonstrationshaus in Thailand mit Solarpanelen und RFB, 1 kW / 12 kWh
- Mitte: ICT-Demonstrator für Insellösungen, 17 kW / 30 kWh
- Rechts: ICT-Demonstrator einer USV für eine EDV-Anlage, 1 kW / 10 kWh, RFB kombiniert mit Super Capacitors

Unterbrechungsfreie Stromversorgung

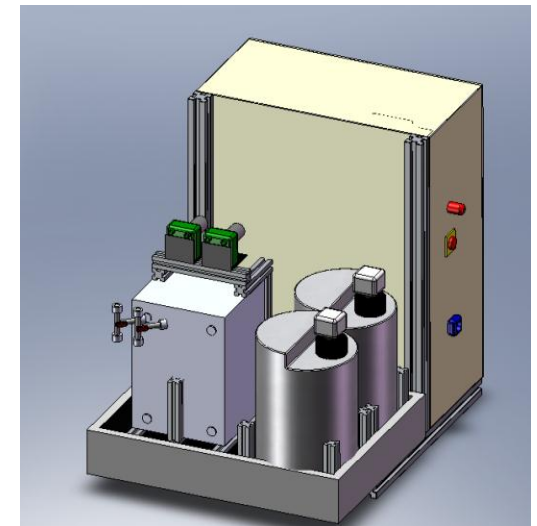


■ Ziele

- Entwicklung und Test einer hochverfügbaren USV als Backup für Telekommunikationsanlagen

■ Relevante Leistungsdaten

- Speicherprogrammierbare Steuerung
- Ethercat, Fernüberwachung
- 1 kW Vanadium-Redox-Flow-Batterie
- 1,5 kW Supercap-Bank (45 s)
- Zugriffszeit < 3 ms
- 230 V Netzanschluss
- Automatisierte Abläufe



Resümee / Ausblick

- Technologien zur Bewältigung der Energiewende sind entweder vorhanden oder können in den nächsten Jahren zur Einsatzreife weiterentwickelt werden

- Die Zusammenhänge um zu wirtschaftlichen Lösungen zu kommen,
 - sind äußerst komplex
 - sind szenarienabhängig
 - erfordern neue Geschäftsmodelle
 - ...USW

- Die gesellschaftliche Akzeptanz ist hierbei in Deutschland eine wesentliche Komponente

