

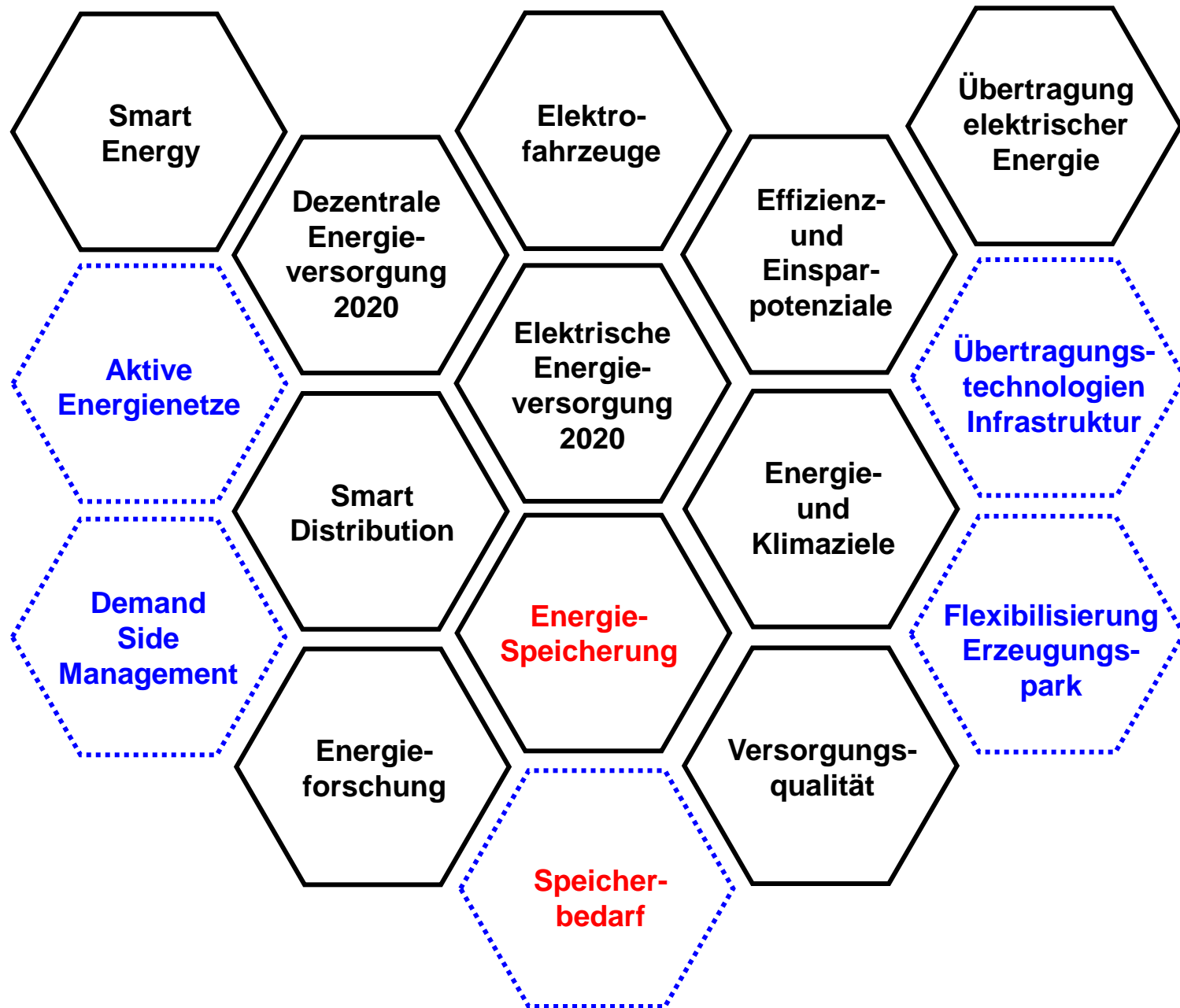
# VDE-Studie

## Speicherbedarf in Systemen mit hohem Anteil erneuerbarer Energien

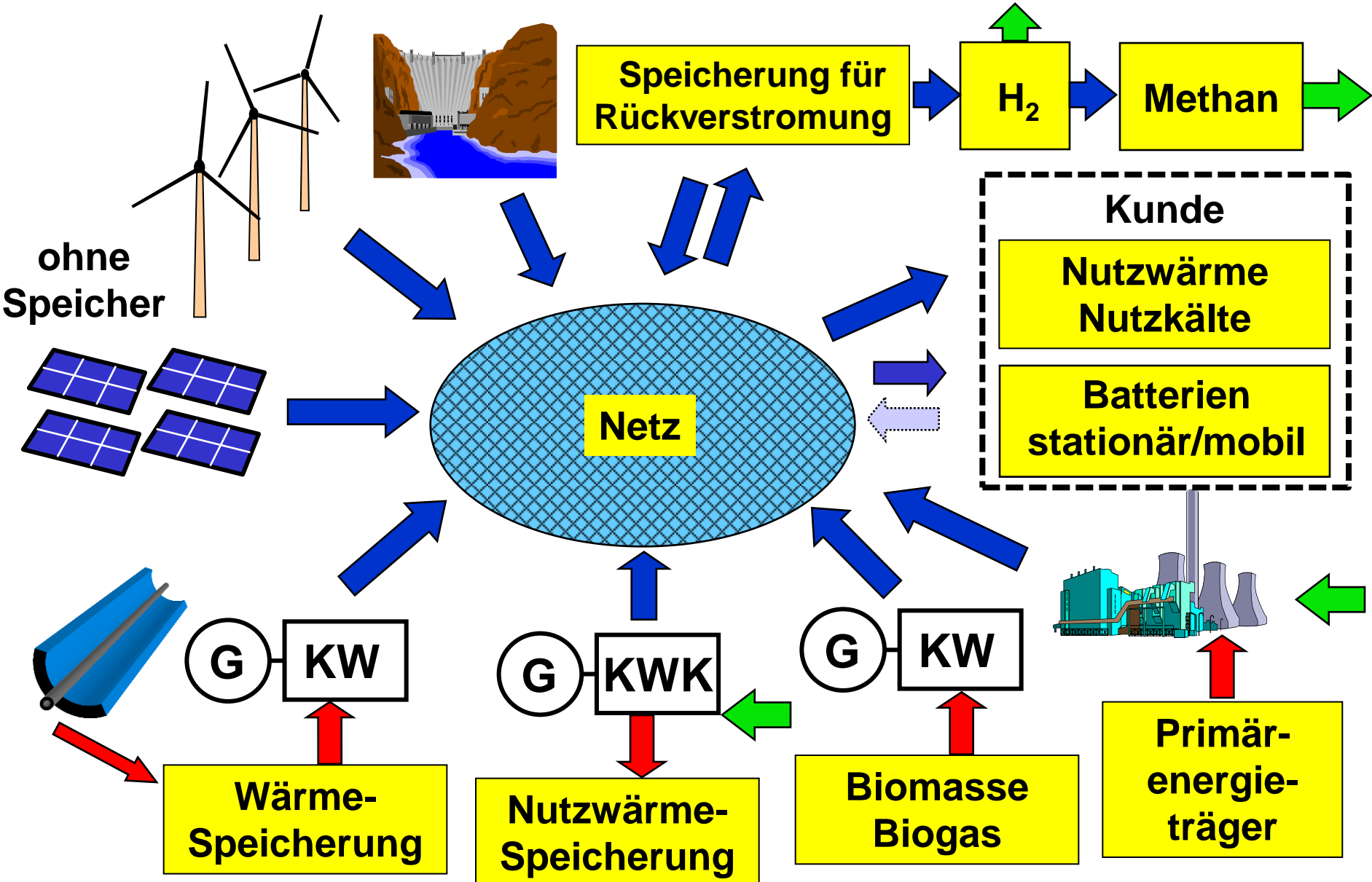
(Studie in Arbeit)

Dr.-Ing. Martin Kleimaier  
Energietechnische Gesellschaft im VDE  
Task Force „Energiespeicherung“





# Speicheroptionen in der Stromversorgung



# Ist-Stand und Ziele bei Erneuerbaren Energien

## ■ Erneuerbare Energien in Deutschland 2009

16 % Anteil an der Stromerzeugung (bez. auf 582 TWh)

davon:	3,3 % Wasserkraft	4.460 MW (inst. Leistung)
	6,5 % Windenergie	25.777 MW (inst. Leistung)
	5,1 % Biomasse	6.000 MW (inst. Leistung)
	1,1 % Photovoltaik	9.800 MW (inst. Leistung)

## ■ 20/20/20 Ziele der Europäischen Union bis 2020

→ ca. 30...35 % Anteil der Erneuerbaren an der Stromerzeugung

## ■ Mittelfristiges Ziel der Bundesregierung

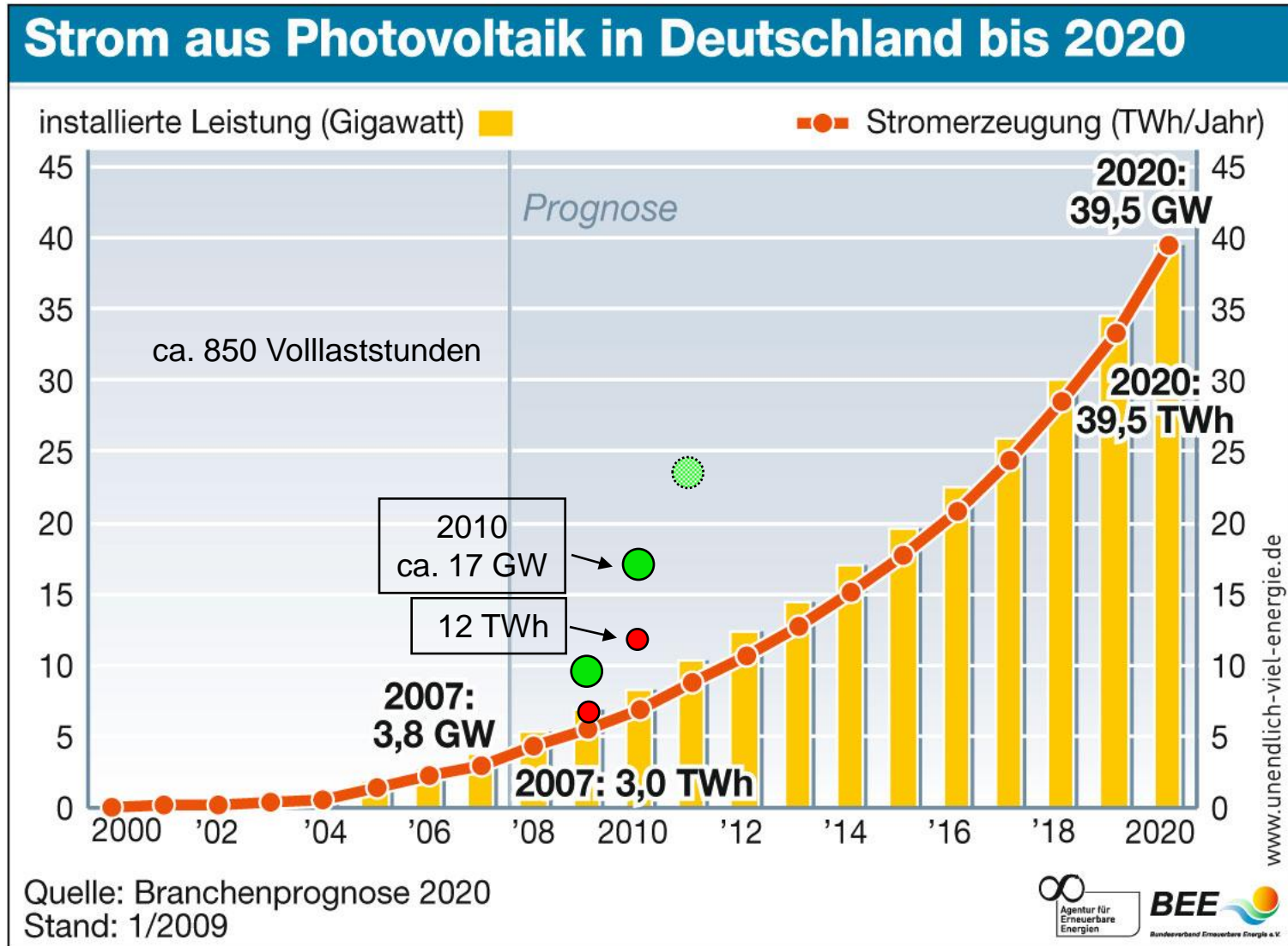
→ 50 % Anteil der Erneuerbaren an der Stromerzeugung

## ■ Langfristiges Ziel der Bundesregierung (Energiekonzept)

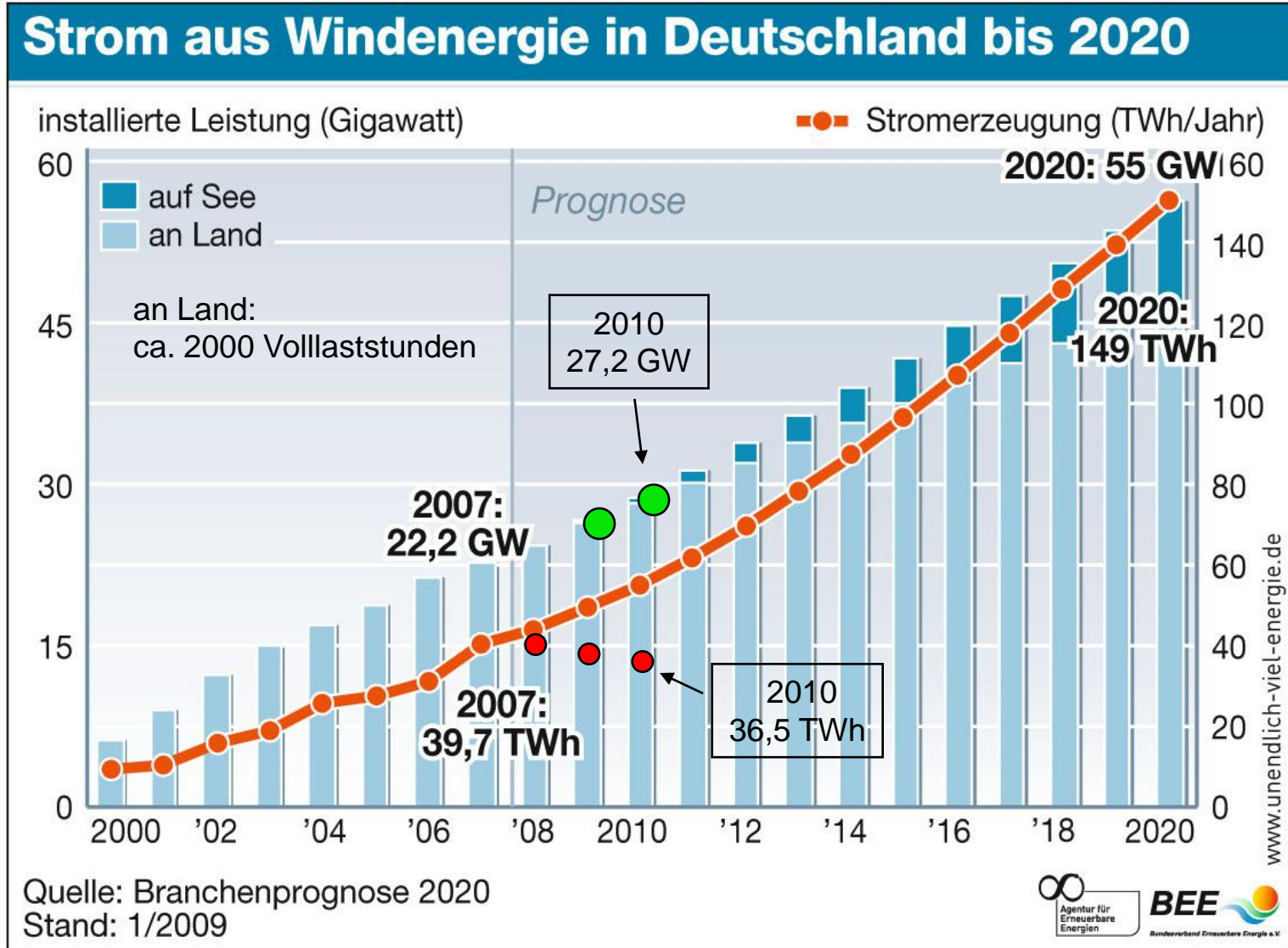
→ 80 % Anteil der Erneuerbaren an der Stromerzeugung

**→ Vervielfachung der installierten Leistung erforderlich**

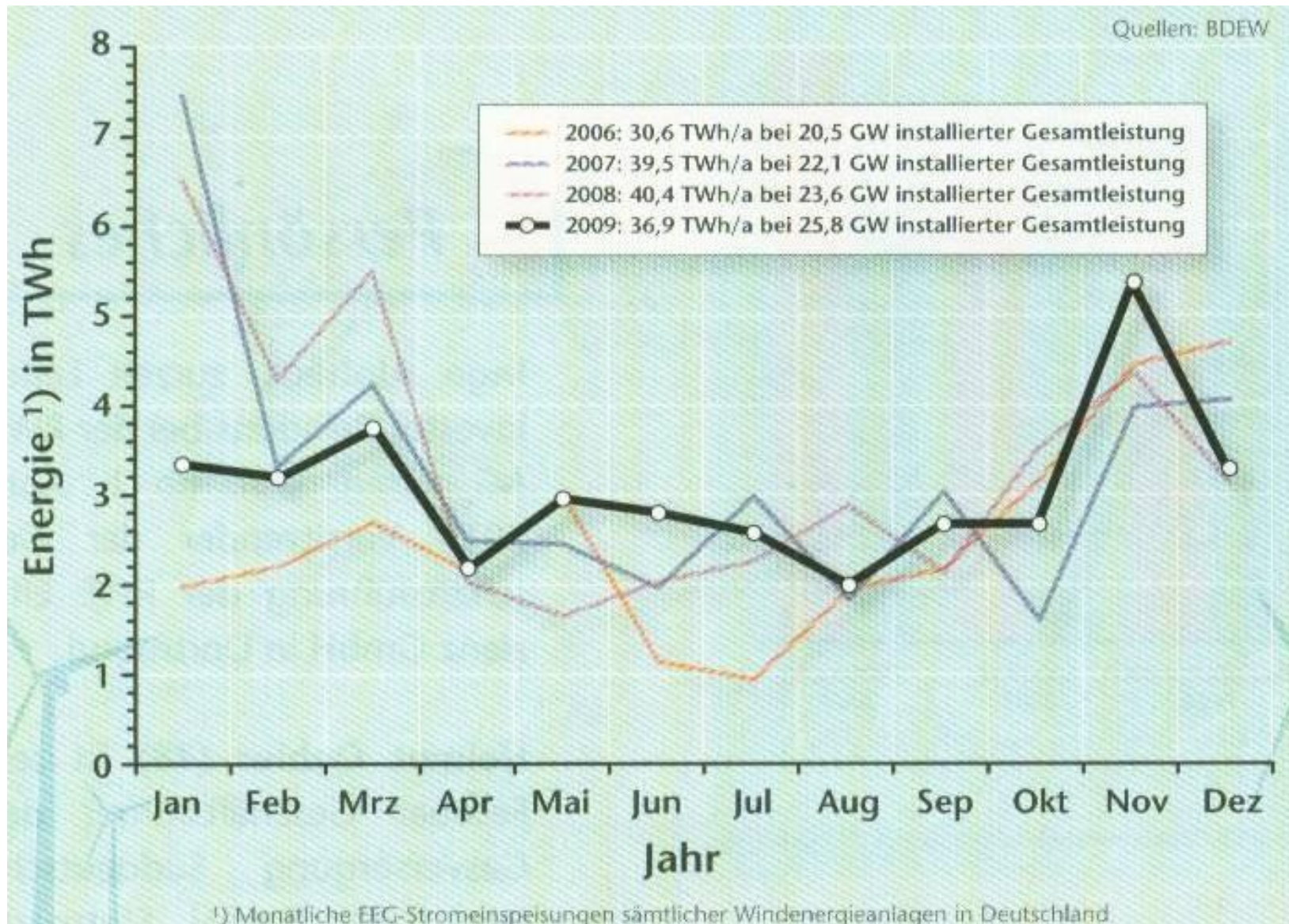
# Ausbau der Solarenergie in Deutschland



# Ausbau der Windenergie in Deutschland



# Die Herausforderung: Beispiel Windenergie



# Verhalten der Windenergie in Deutschland

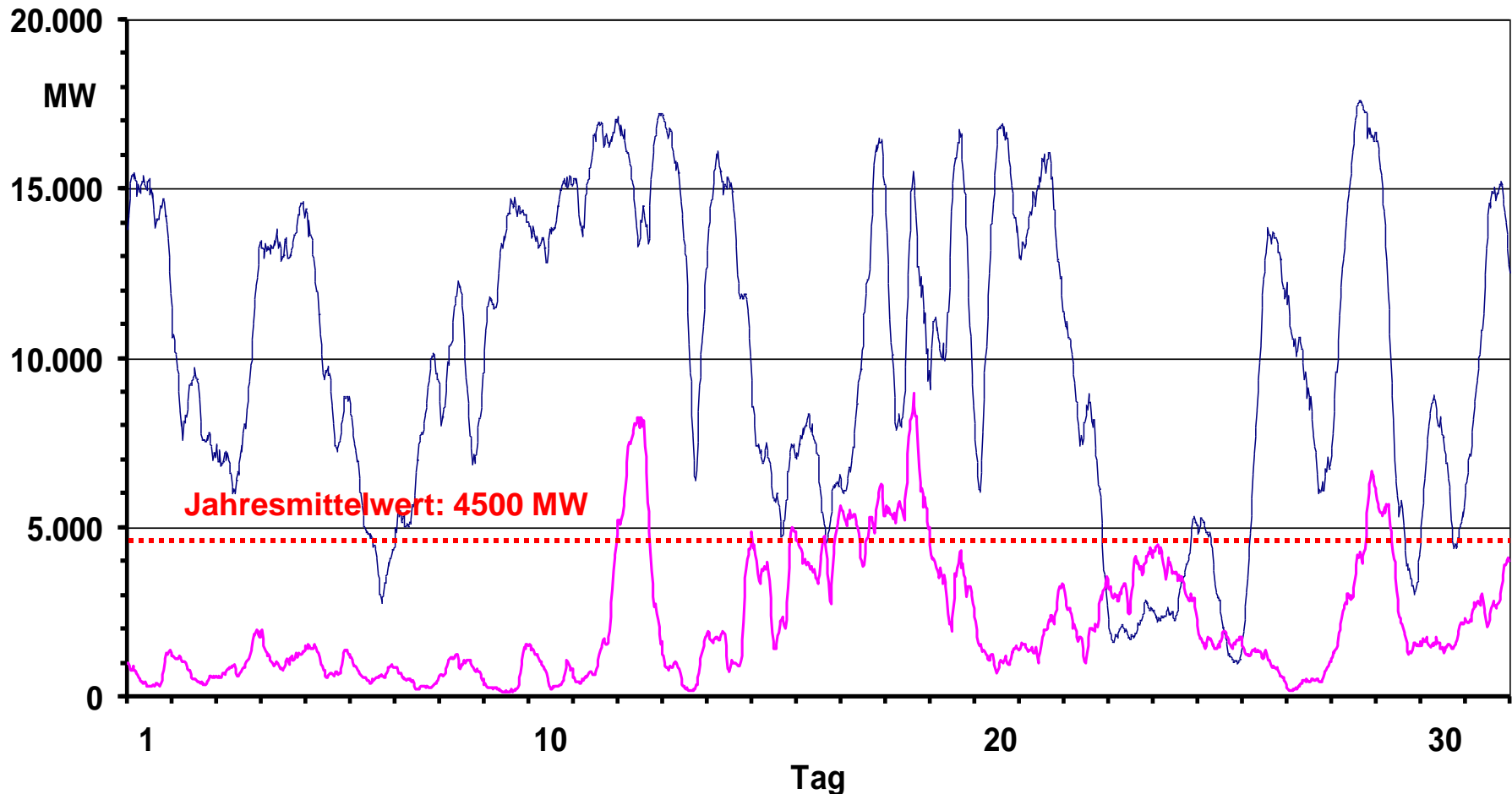
## Windkraft in Deutschland 2007

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

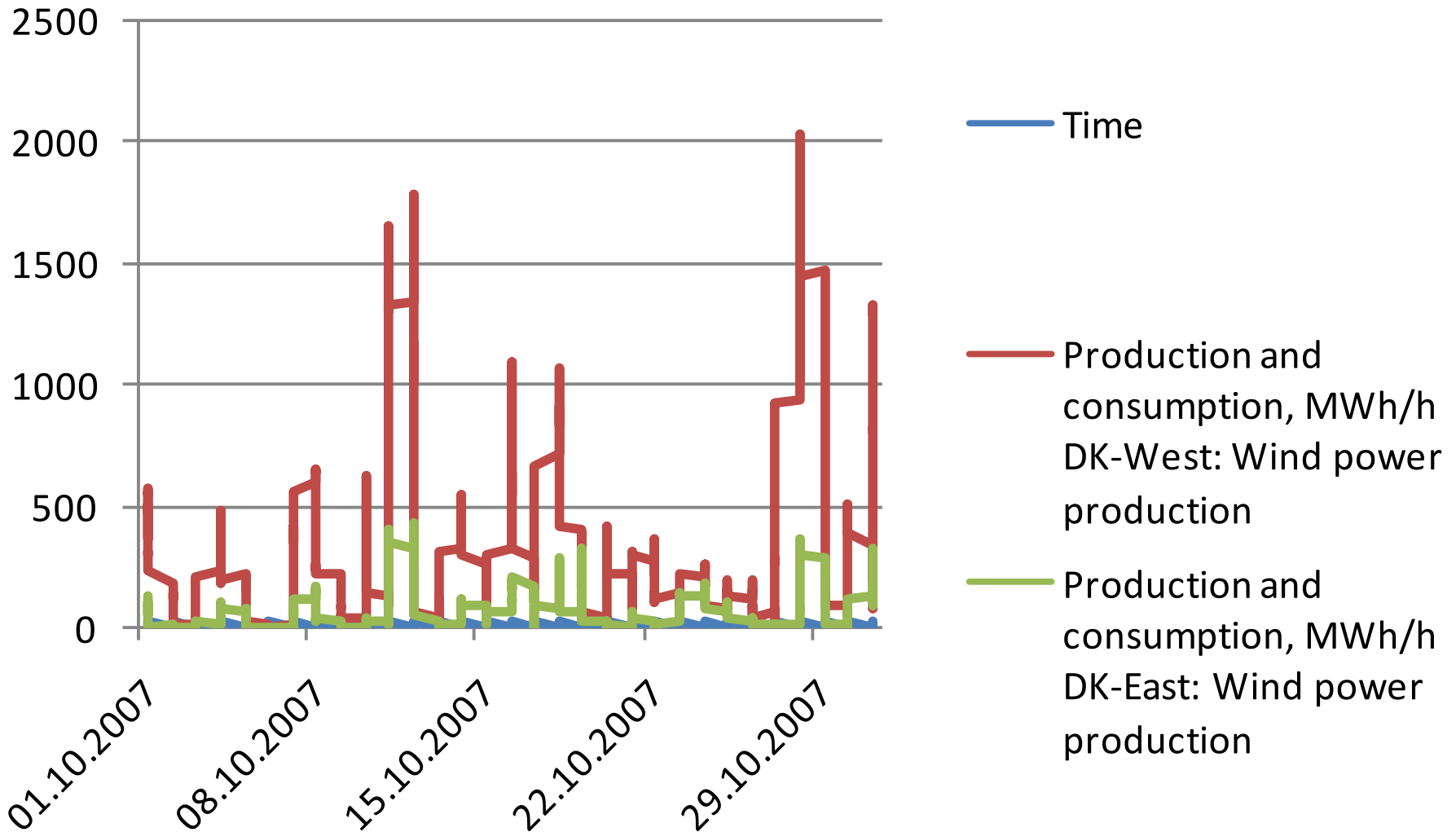
— Jan 07 — Okt 07

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

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



# Verhalten der Windenergie in Dänemark



# Charakteristik erneuerbarer Energien

- **Fluktuierendes Dargebot (kurzeitig und langfristig)**
- **Hohe jährliche Schwankungen**
- **Wind- und Solarenergie ist nicht verschiebbar**  
→ **Dargebot muss direkt genutzt werden oder es verfällt**
- **Dezentrale vs. lastferne Einspeisung**  
(PV in Deutschland, insbes. Süddeutschland vs. Wind offshore)

aber:

- **Zeiten ohne Wind und Sonne sind mit relativ hoher Wahrscheinlichkeit mit Spitzenlast korreliert**  
z.B. Nebeltage in Wintermonaten → **Mangelsituation**
- **Windflauten können großflächig auftreten**  
(z.B. Deutschland und ggf. Nachbarländer)
- **Windflauten können relativ lange dauern**  
(14 Tage sind keine Seltenheit - stabile Wetterlagen)
- **Hohes Dargebot von Wind und Sonne kann auch gleichzeitig in Schwachlastzeiten auftreten (z.B. Sonntag) → Überschuss**

# Management von Mangelsituationen

- Vorhersage ist in gewissen Grenzen möglich
- Die jeweils benötigte **Leistung** muss auch zukünftig aus Erzeugungseinheiten mit planbarem Einsatz für die erforderliche **Dauer** vorgehalten werden  
(gilt auch für die Spitzenlast: in D derzeit ca. 78 GW)
  - Ersatzkraftwerke (insbes. auf Erdgasbasis)
  - Dezentrale Biomasse- / Biogas-Anlagen (z.B. mit Gas-Speichern)
  - Dezentrale KWK-Anlagen (stromgeführt - Benutzungsdauer)
  - Importe (woher? - Netzausbau)
  - Lastreduzierung (Lastmanagement)  
begrenzte Dauer, Verschiebbarkeit
  - Speicherkraftwerke  
begrenzte Speicherkapazität (begrenzte Entladedauer)

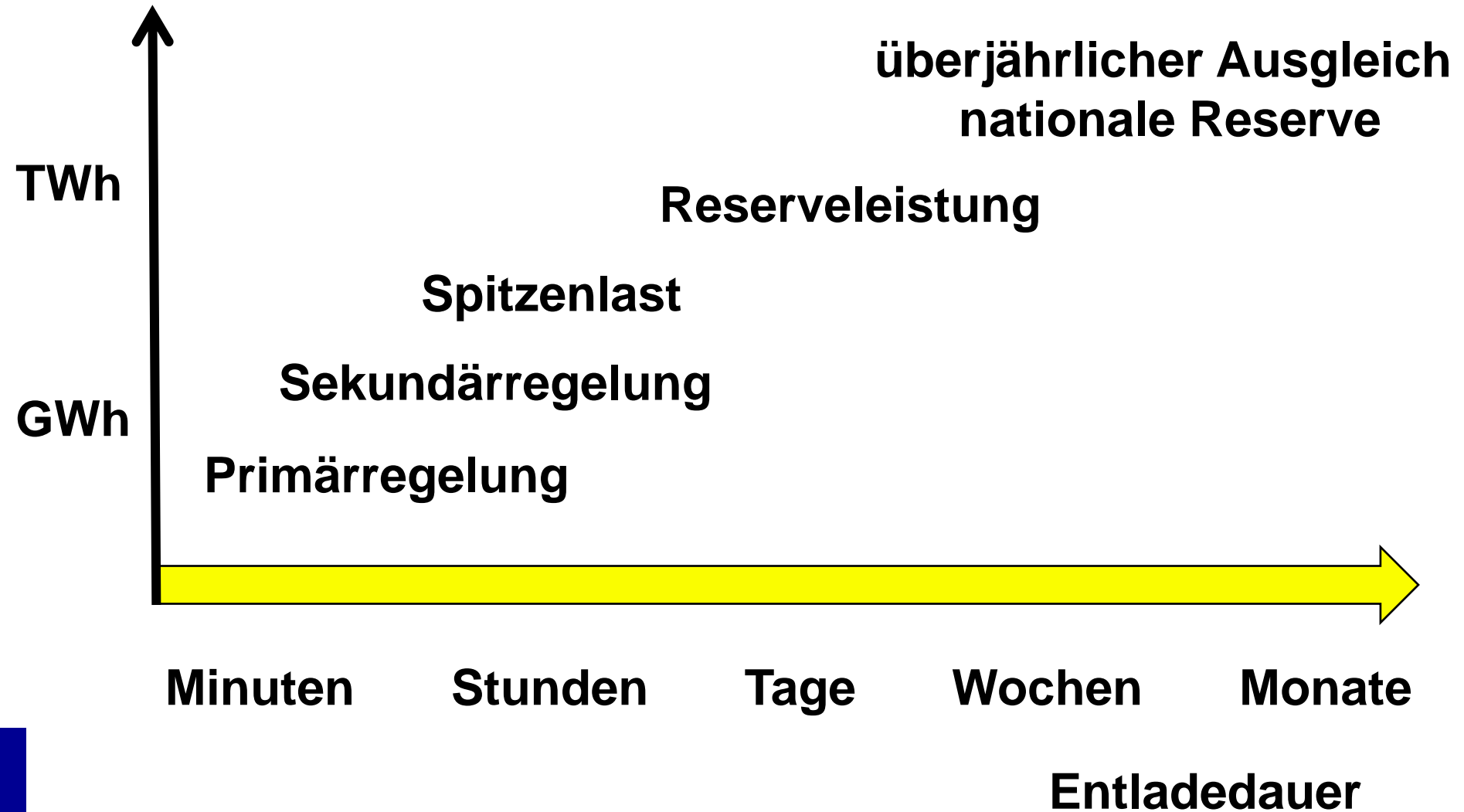
# Management von Überschussituationen

- **Vorhersage ist in gewissen Grenzen möglich**
- **Die jeweils erzeugte Leistung soll möglichst vollständig genutzt werden (ganz ohne Abstriche wir es aber nicht gehen)**
- **Überschussituationen werden immer häufiger auftreten**
  - ➔ **Kraftwerke zurückfahren (begrenzt durch Mindestleistung)  
Verslechterung des Wirkungsgrads**
  - ➔ **Kraftwerke abschalten (Wiederanfahrzeiten beachten)  
Verluste beim Ab- und Anfahren  
Stabilität (fehlende rot. Massen), Kurzschlussleistung**
  - ➔ **Dezentrale KWK-Anlagen abschalten  
alternative Wärmebedarfsdeckung?**
  - ➔ **Exporte (wohin? - Netzausbau) (EE-Ausbau in Nachbarländern?)**
  - ➔ **Laststeigerung (Lastmanagement)  
neue Stromanwendungen (Hybridlösungen)**
  - ➔ **Speicherkraftwerke laden (begrenzte Speicherkapazität)**

# Management von schnellen Leistungsfluktuationen

- **Vorhersage ist praktisch nicht möglich**
- **Der Bedarf für Regelleistung nimmt mit dem Ausbau der fluktuierend einspeisenden erneuerbaren Energien zu**
  - ➔ **schnell regelbare Kraftwerke (Erdgaskraftwerke)**
  - ➔ **Beteiligung der Erneuerbaren an der Leistungsregelung (ggf. mit Produktionseinbußen)**
  - ➔ **Beteiligung der dezentralen KWK-Anlagen**
  - ➔ **Beteiligung der Lasten (z.B. Regelleistung mit Elektrofahrzeugen)**
  - ➔ **Einsatz schneller Speichersysteme**

# Speicherbedarf



# Speicherbedarf

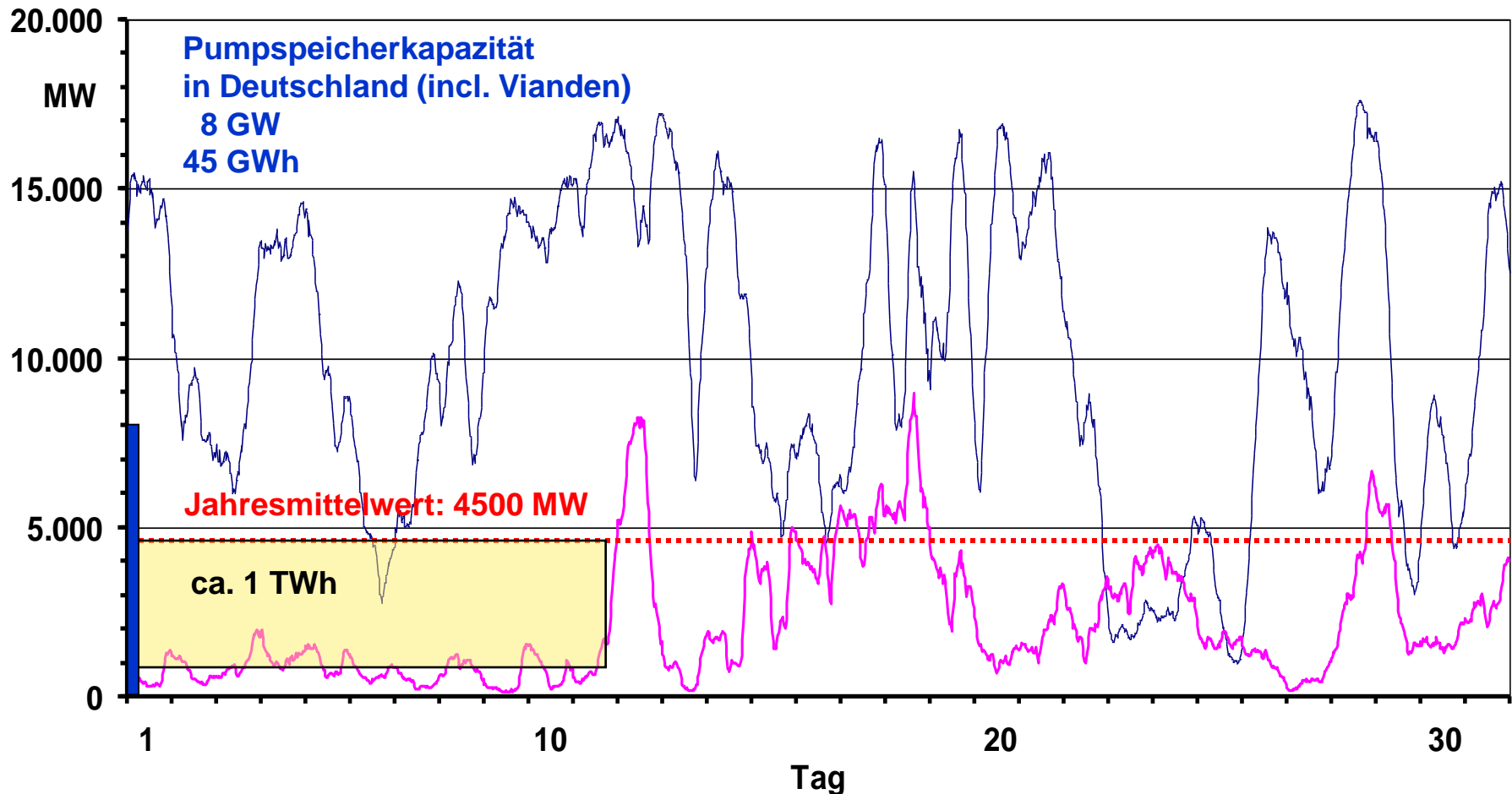
## Windkraft in Deutschland 2007

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

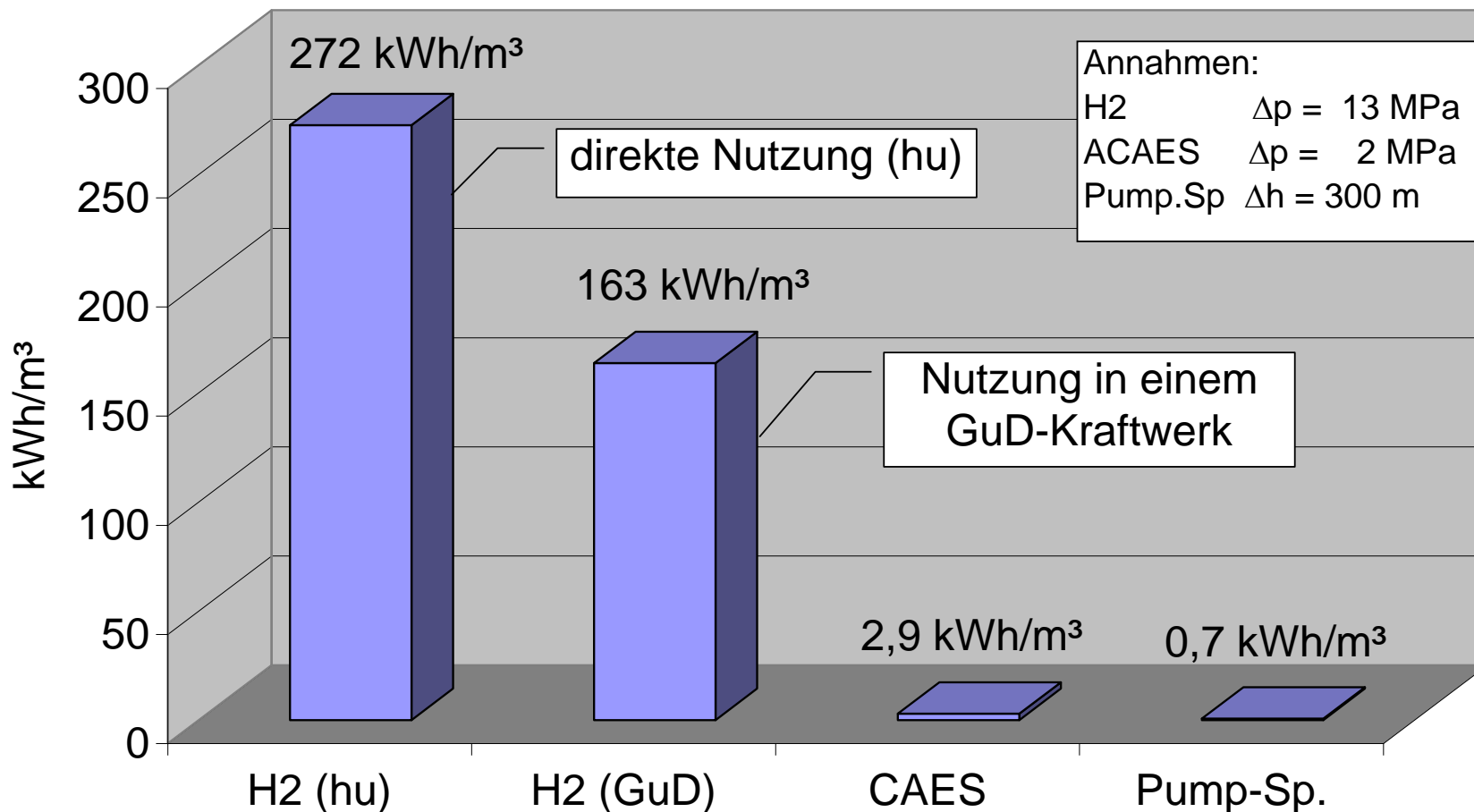
— Jan 07 — Okt 07

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

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

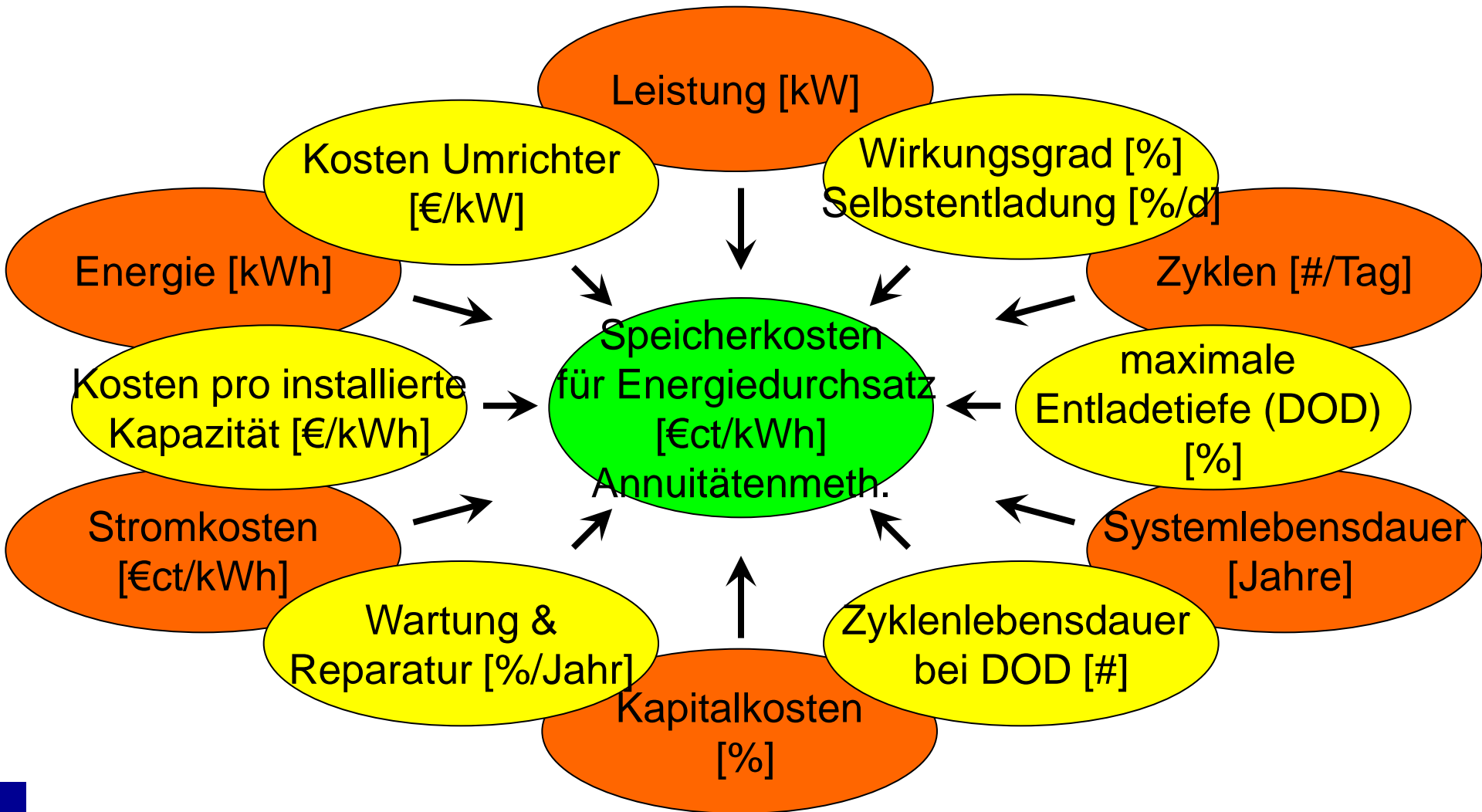


# Vergleich der Netto Speicherkapazitäten



**Größter deutscher Erdgaskavernenspeichers: 8 Mio. m<sup>3</sup>**  
**Pumpspeicher Goldisthal ( $\Delta h = 300\text{m}$ ): 12 Mio. m<sup>3</sup>**

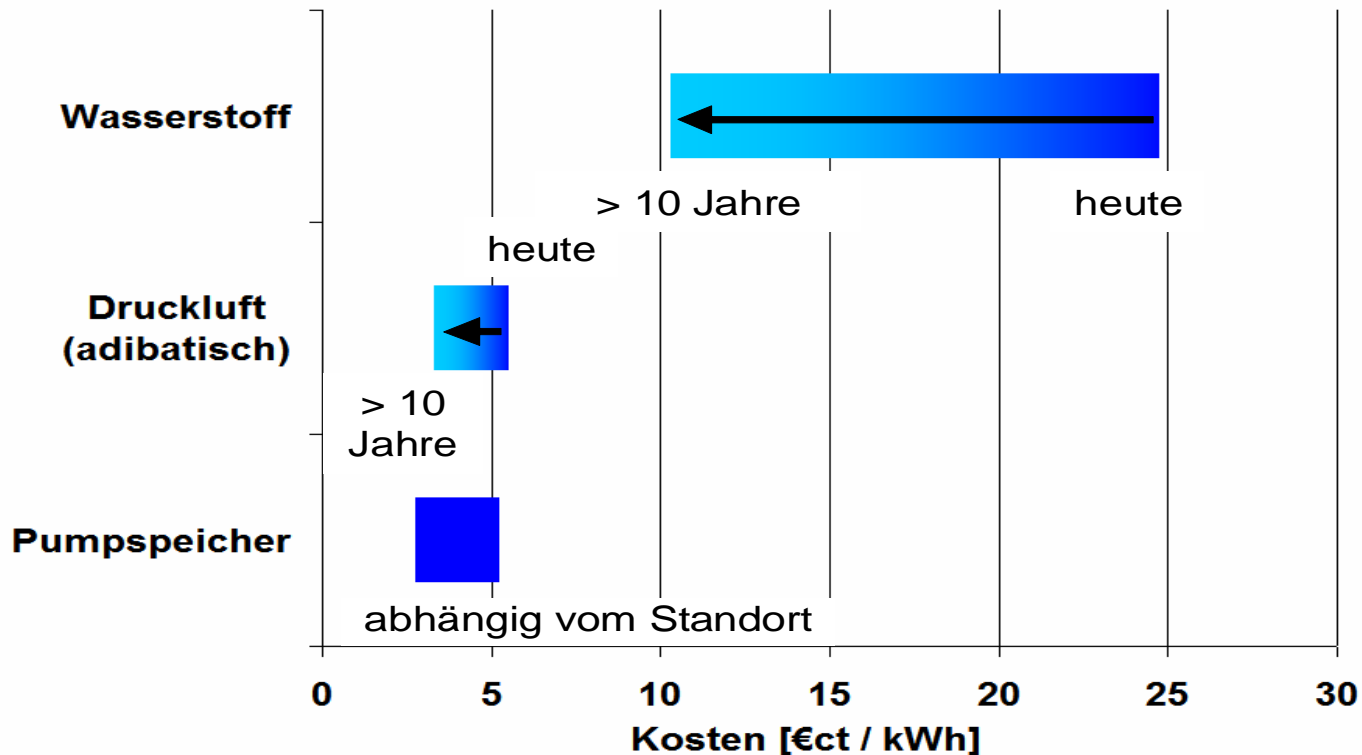
# Kostenvergleich für Speicher (Modell)



Quelle: Prof. Sauer, ISEA, RWTH Aachen

# Speicherkosten bei zentraler „Stundenspeicherung“

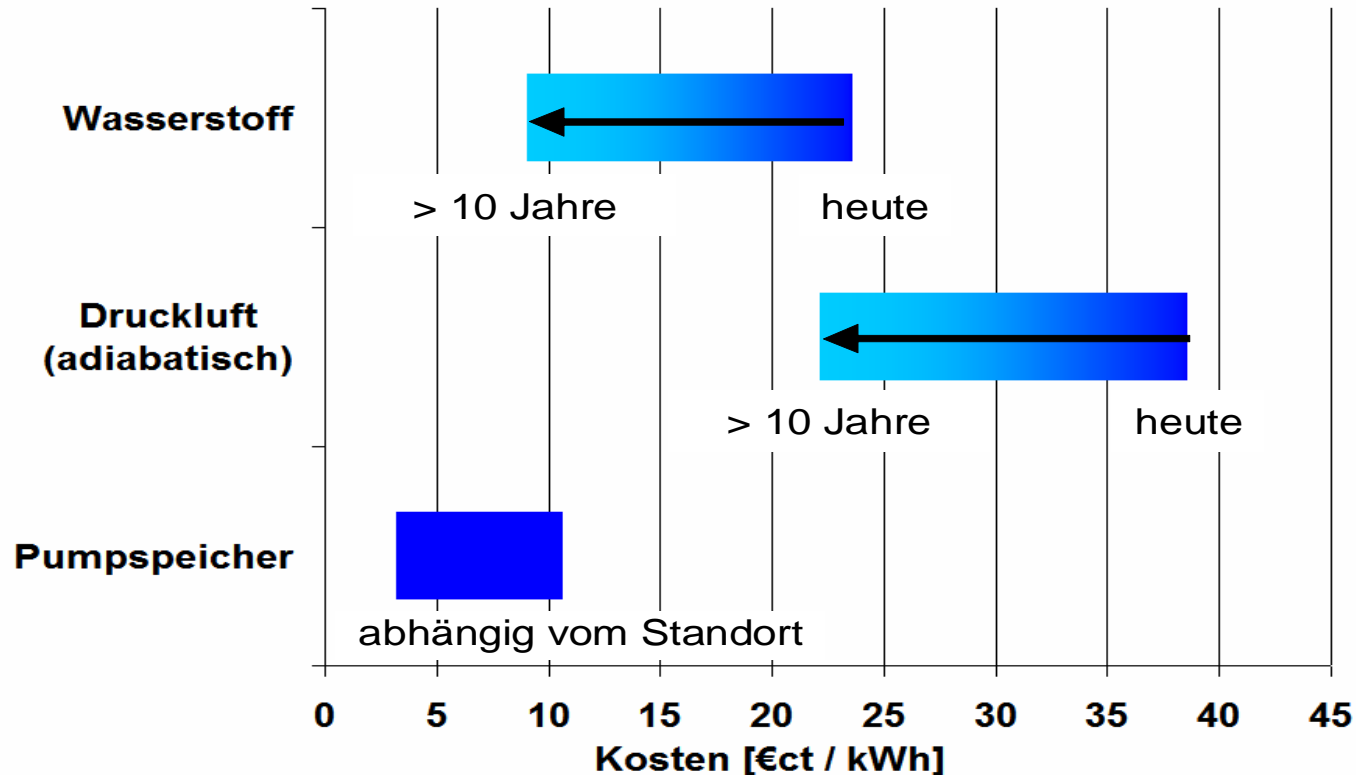
1 GW für 8 Stunden (8 GWh), 1 Zyklus pro Tag



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

# Speicherkosten bei „Wochenspeicherung“

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



**Je seltener ein Speicher benutzt wird,  
um so höher werden die spez. Speicherkosten**

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

# Saisonspeicher

## Saison-Speicherkraftwerke (beispielhaft):

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

(davon Pumpspeicher: ca. 1 GW)



Grande Dixence – Lac de Dix (CH)

## Nutzbarkeit für Deutschland nur sehr eingeschränkt:

- Seekabel nach Norwegen müssten gebaut werden (Übertragungskapazität eines HGÜ-Seekabels: derzeit nur ca. 600...700 MW)
- Leitungen in Norwegen müssten ausgebaut werden
- Kraftwerksleistung (Pumpen und Turbinen) müsste ausgebaut werden
- Probleme: i.d.R. unsymmetrische Beckengrößen
- Aufnahmevermögen des Ablaufgewässers begrenzt Leistung
- Aus Akzeptanzgründen kaum noch Potenzial für neue Speicher

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

# Nutzung der elektrischen Überschussenergie

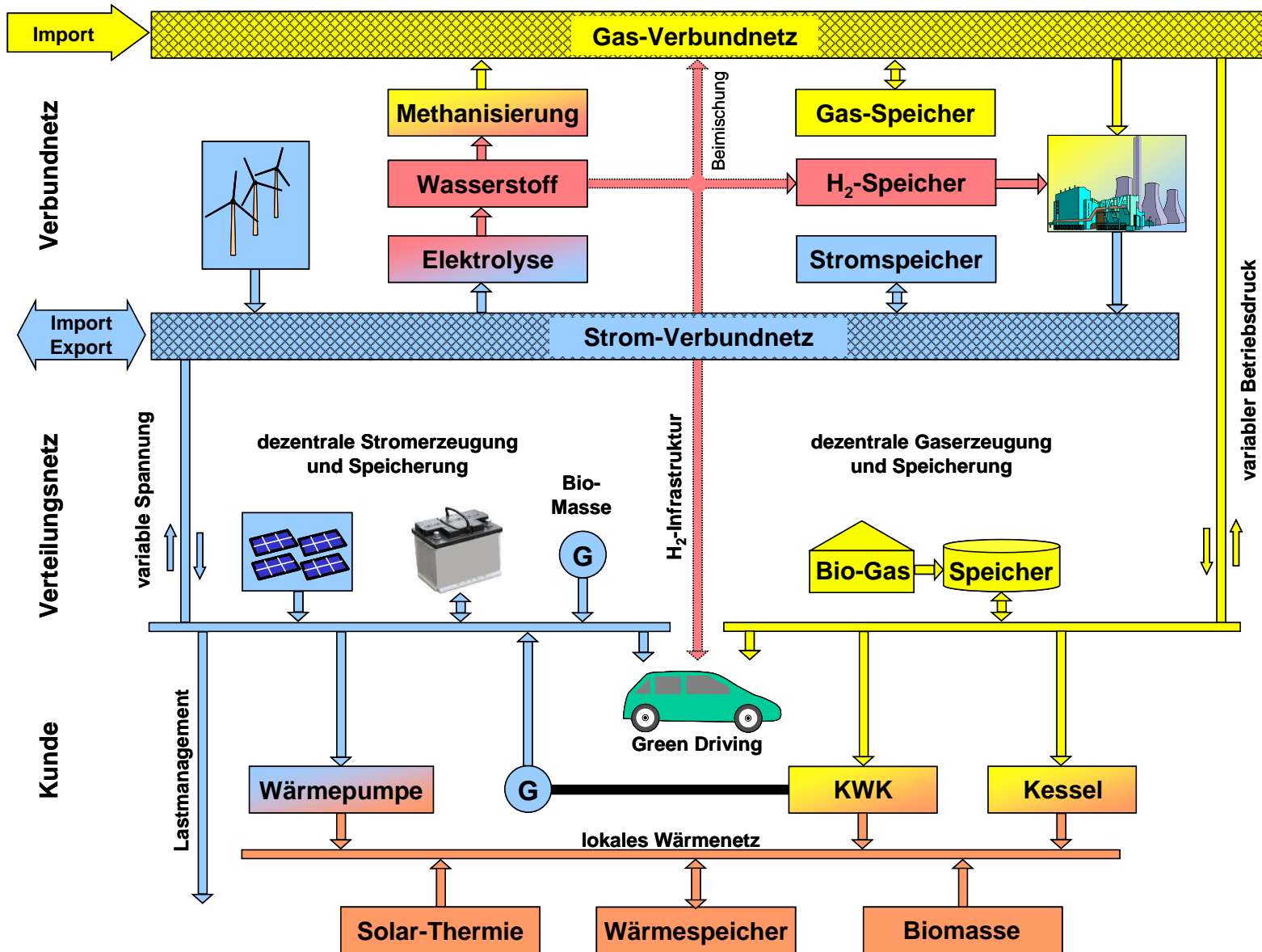
- Fernübertragung mit direkter Nutzung < 95 %
- Pumpspeicher (Rückverstromung) < 80 %
- ACAES (Rückverstromung) < 70 %
- H<sub>2</sub>-Erzeugung und Speicher (stoffliche Nutzung) < 60 %
- H<sub>2</sub>-Erzeugung, Speicher und Rückverstromung in dezentralen KWK-Anlagen mit Wärmenutzung (vorzugsweise BZ) < 55 %
- Methan-Erzeugung und Speicher (stoffliche Nutzung) < 50 %
- Methan-Erzeugung, Speicher und Rückverstromung in dezentralen KWK-Anlagen mit Wärmenutzung (vorzugsweise BZ) < 45 %
- H<sub>2</sub>-Erzeugung, Speicher und Rückverstromung (GuD) < 40 %
- Methan-Erz., Speicher und Rückverstromung (GuD) < 30 %

# Alternative Nutzung der el. Überschussenergie

## Hybridsysteme:

- **Direkte Nutzung als Heizenergie in Wärmepumpen** **>> 100 %**  
(als vorübergehender Ersatz von Erdgas)
  - **Direkte Nutzung als Heizenergie in Heizwiderständen** **< 100 %**  
(als vorübergehender Ersatz von Erdgas oder Heizöl  
in konv. Heizsystemen, Fern-/Nahwärme, Prozesswärme)
  - **Wärme-Erzeugung und Nutzwärmespeicherung** **< 100 %**  
(abh. von der Speicherdauer)
- nicht genutztes Erdgas kann im (Speicher-) System bleiben
- virtuelle Erdgasspeicherung

# Vision: „Smart Poly Grid“



# Einfluss von Elektro-Fahrzeugen (Plug-In Hybrid)

## Annahmen:

<b>Fahrstrecke pro Ladung:</b>	<b>50 km</b>
<b>benötigte Batteriekapazität:</b>	<b>10 kWh</b>
<b>Ladeleistung:</b>	<b>3 kW</b>

## → großes Leistungspotential

gleichzeitiges Laden von 25 Mio. Fahrzeugen entspricht der Leistungsspitze in Deutschland von etwa 75 GW

## → geringes Energiepotential

in 25 Mio. Fahrzeugen sind bei voller Batterie nur etwa 250 GWh gespeichert

(entsprechend etwa 15 % des täglichen Strombedarfs in D)  
(Bestand privater PKW: 41 Mio. Fahrzeuge)

# Zusammenfassung (1)

- Für die Aufnahme von Überschussenergie aus erneuerbaren Energien und zur Überbrückung mehrtägiger Windflauten sowie zum Ausgleich saisonaler oder überjähriger Schwankungen wird ein Vielfaches der heute vorhandenen Speicher benötigt. Dies gilt sowohl für die Leistung als auch insbesondere für den Energieinhalt.
- Batteriespeichertechnologien sind ebenso wie die meisten Großspeichersysteme („Stundenspeicher“) hierfür nicht ausreichend.
- Mögliche Optionen für große „Wochenspeicher“ wären:
  - große Speicherseen in alpinen Regionen (Umbau zu Pumpspeichern, symmetrische Beckengröße) (Eine Nutzung der Speicher in Norwegen wird nur sehr begrenzt möglich sein.)
  - Wasserstoff (bzw. Methan) in unterirdischen Salzkavernen
- Der Einsatz unterschiedlicher Speichersysteme ist für die verschiedenen Zeitbereiche zu optimieren

## Zusammenfassung (2)

- **Die Speicherung elektrischer Energie ist mit signifikanten Kosten verbunden.**
- **Die dezentrale Speicherung in Batterien ist heute noch wesentlich teurer als eine zentrale Groß-Speicherung im Übertragungsnetz.**
- **Eine direkte Nutzung von Überschussenergie (z.B. durch Wärme-/Kälteerzeugung) kann den Speicherungsbedarf effizient reduzieren.**
- **Leistungsfähige Netze zur Verknüpfung der verschiedenen Erzeugungs-, Last- und Speichermöglichkeiten sind unverzichtbar und stellen gleichzeitig die kostengünstigste Option zur Reduzierung des Speicherbedarfs dar.**
- **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 Minuten (Stunden) übernehmen.**

# Handlungsbedarf

- **Die Lösung der anstehenden Energie- und Infrastrukturprobleme muss durch eine integrale Betrachtung der verschiedenen Systeme, Netze und Infrastrukturen erfolgen.**
- **Es muss ein tragfähiges Gesamtkonzept entwickelt werden, das den Anforderungen an eine umweltverträgliche, kostengünstige und zuverlässige Energieversorgung gerecht wird.**
- **Der Netzausbau muss auf allen Spannungsebenen forciert werden.**
- **Mit dem Aufbau der notwendigen Speicherkapazitäten muss umgehend begonnen werden (auch Speicher für Nutzenergie).**
- **Die Toleranz von Großprojekten muss dringend verbessert werden.**
- **Regulatorische Hürden müssen abgebaut werden.**
- **Anreizsysteme zur Refinanzierung der Investitionen in Speicher müssen geschaffen werden.**
- **Forschung, Entwicklung und Demonstration für Speicher müssen in Deutschland erheblich intensiviert werden.**



**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit**

**Haben Sie noch Fragen?**

**[martin.kleimaier@t-online.de](mailto:martin.kleimaier@t-online.de)**