

Abschlussworkshop des Forschungsprojekts StoRES

Vergleich unterschiedlicher Stromspeicher und DSM: Szenarien für 2010, 2020, 2030

Wolf-Peter Schill

Berlin, 11. Dezember 2014

Übersicht

1. Forschungsfragen
2. Das Modell
3. Szenarien und Parameter
4. Ergebnisse
5. Diskussion der Einschränkungen
6. Schlussfolgerungen und Ausblick

- Wie entwickeln sich Auslastung und Systemnutzen verschiedener Stromspeichertypen beim weiteren EE-Ausbau?
- Relative Entwicklung von Kosten und Nutzen?
- Einfluss abweichender Flexibilitätsannahmen?
 - Flexibilität der Nachfrageseite
 - Flexibilität der Biomasseverstromung
 - Zubau von Pumpspeichern
 - Rückbau von Braunkohlekraftwerken
 - Ausbau der Elektromobilität

- Aus Systemsicht:

- Wirkungsgrade
- Verhältnis Energie/Leistung
- Flexibilität
- Selbstentladungsrate

Hier berücksichtigt

- Ökonomische Parameter:

- Spezifische Investitionen in Leistung und Energie
- Variable Kosten

Indikativ für Vergleich

- Szenarioanalysen basierend auf NEP (2010, 2020, 2030)
- Untersuchungsrahmen:
 - Deutschland
 - Keine Netzrestriktionen
 - Reines Dispatchmodell
- Gleichzeitige Analyse marginaler zusätzlicher Einheiten verschiedener Speichertechnologien (1 MW)
 - Volllaststunden und Zyklen
 - Schattenpreise der Kapazitätsrestriktionen
 - Indikativer Vergleich mit annuisierten spezifischen Investitionen

	Speicher- typen	Zeitho- rizont	Speicheranwendungen						
			Tagesaus- gleich	Saison- ausgleich	Überschuss- integration	Lastgra- dienten	Spitzen- last	Netzent- lastung	Regel- leistung
Überschüsse <i>(Energy Policy 2014)</i>	Li-Ion (2h)	2022							
	PSW (8h)	2032	✓	✓	✓				
	P2G (500h)	2050							
Interaktionen Übertragungs- netz <i>(EEEP 2014)</i>	PSW (5-8h)	2012 2024 2034	✓		✓		(✓)	✓	
Vergleich von Stromspeichern <i>(DIW DP in Arbeit)</i>	Diverse Stromsp. (2-200h) DSM	2010 2020 2030	✓		✓	✓			✓ (in Arbeit)
Langfristiger Speicherbedarf <i>(IAEE 2014, DIW DP in Arbeit)</i>	Li-Ion PSW P2G (E/P end.)	Green- field, EE-Anteile 0-100%	✓	✓	✓	(✓)	✓		✓
Marktmacht <i>(DIW DP in Arbeit)</i>	PSW / Reservoirs	Stilisiert	✓		(✓)				

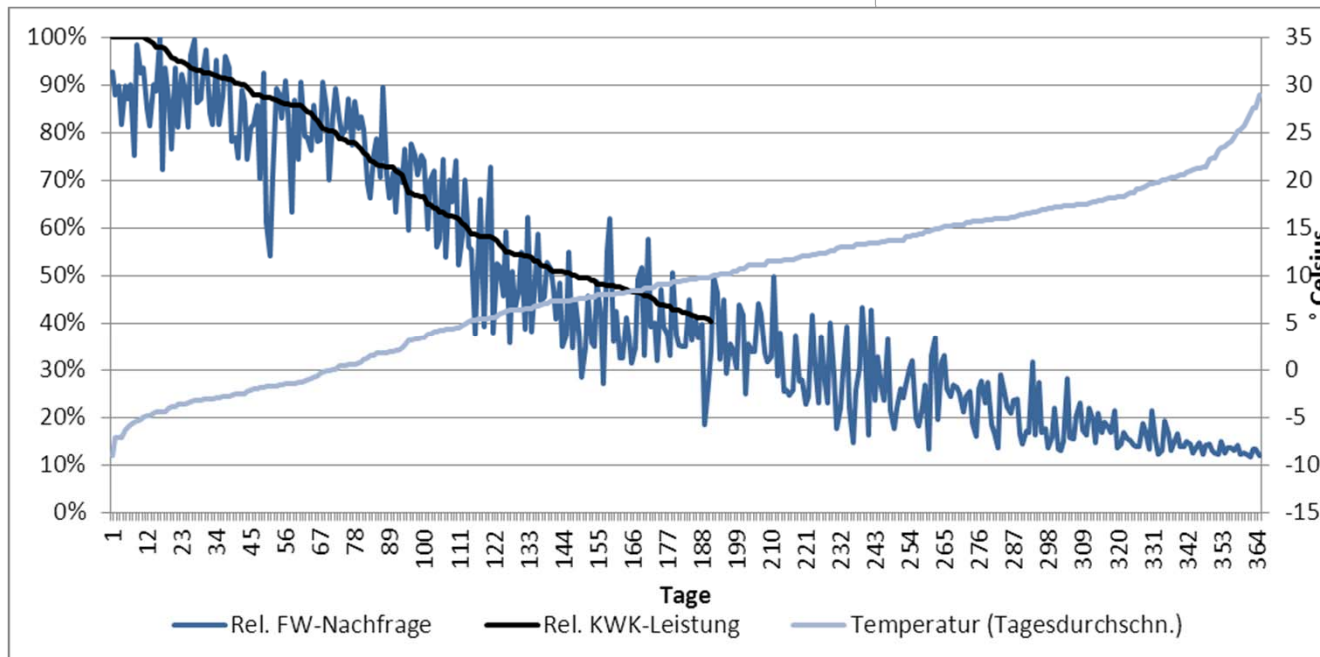
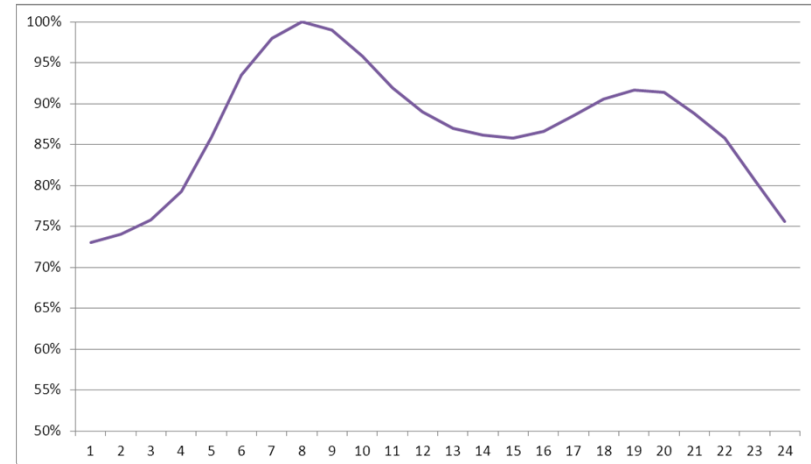
Das Modell

- Im Projektverlauf neu entwickelt
- Zielfunktion: Minimiere Gesamtkosten
- Preisunelastische Nachfrage
- Thermische Kraftwerke:
 - Eingeschränkte Flexibilität: unit commitment (MILP)
 - Blöcke > 100 MW, kleinere aggregiert
 - Altersabhängige Wirkungsgrade
 - KWK-Restriktionen temperatur- und tageszeitabhängig
- Lösung für ganzes Jahr in 4-Wochen-Blöcken
- Detaillierte DSM-Abbildung
- Regelleistung: SRL und MRL auch durch Speicher und DSM

- Räumliche Auflösung:
 - Lastflüsse zwischen dena-Zonen → Aufwand vs. Ertrag
 - Vereinfachte Abbildung der Nachbarländer
→ Gefahr von Artefakten
- Regelleistung:
 - Zeitscheiben bei SRL und MRL → Umgehung durch Pooling
- Weitere „Power-to-X“-Optionen:
 - Power-to-Heat (Raumheizung, Warmwasser, Prozesswärme)
 - Power-to-Gas (Substitution Erdgas)
 - Elektromobilität → hier für Sensitivitätsanalyse genutzt

- KWK-Restriktionen (Fernwärme), abhängig von:

- Täglichem Wärmenachfrageprofil
- Täglicher Durchschnittstemperatur
 - $T < -5^{\circ}\text{C}$: Volllast
 - $-5^{\circ}\text{C} < T < 10^{\circ}\text{C}$: Teillast
 - $T = 10^{\circ}\text{C}$: Mindestlast



2

Stromspeicher (1)

Bewegungsgleichung Speicherlevel:

$$stlevel_{j,t} = stlevel_{j,t-1} + stin_{j,t}\eta_j^{in} - stout_{j,t}/\eta_j^{out} \quad \forall j,t$$

Obere Kapazitätsrestriktion:

$$stlevel_{j,t} \leq var_cap_j duration_j \quad \forall j,t$$

Laderestriktion:

$$stin_{j,t} \leq var_cap_j \quad \forall j,t$$

Entladerestriktion:

$$stout_{j,t} \leq var_cap_j \quad \forall j,t$$

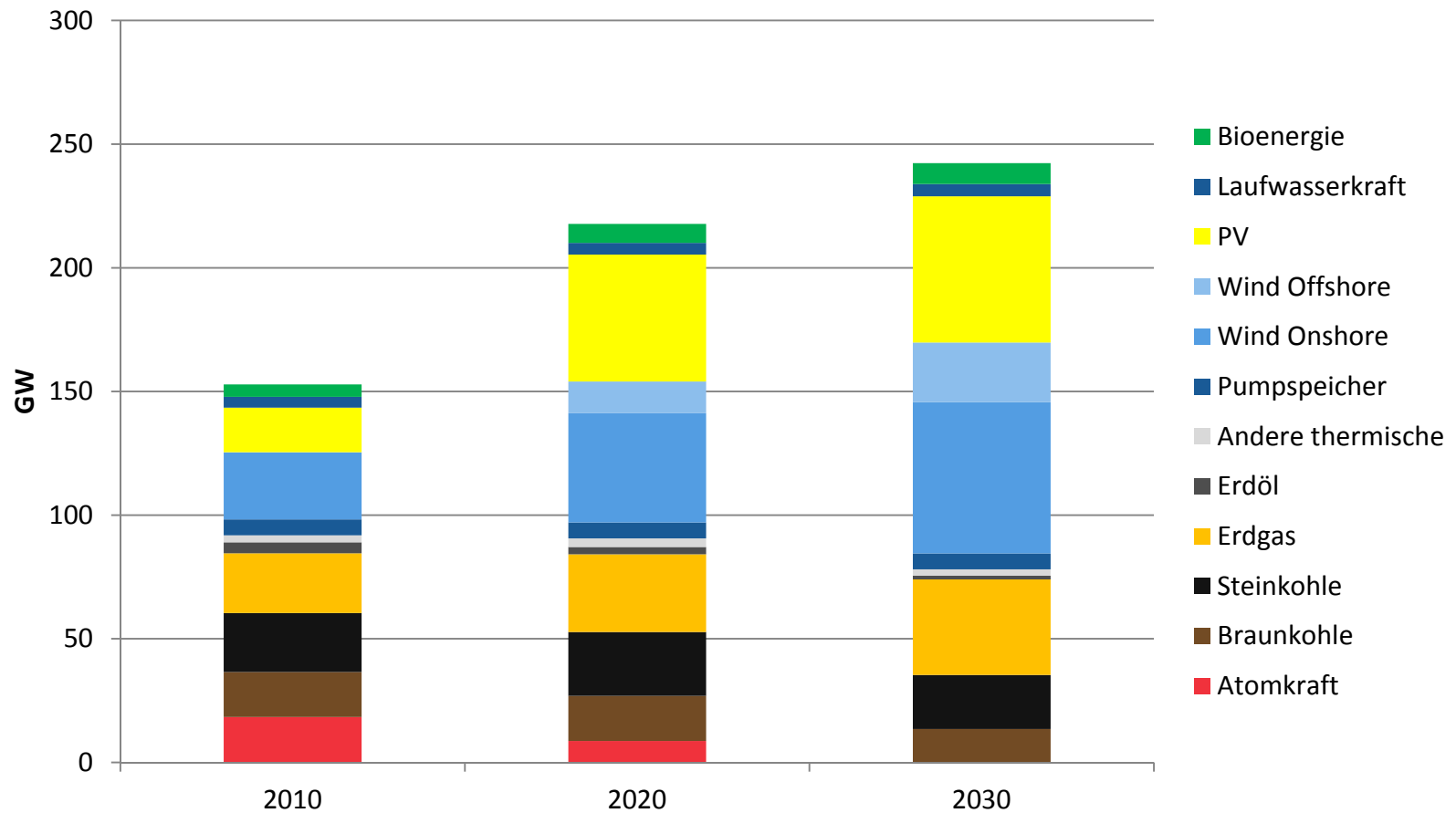
Forderung für marginale Einheiten:

$$var_cap_j = 1 \quad \forall j$$

Gemeinsamer Schattenpreis der
verschiedenen Restriktionen

Szenarien und Parameter

- Referenzszenarien: 2010, 2020, 2030, basierend auf NEP
 - Bei Pumpspeichern kein Zubau angenommen
- Sensitivitäten:
- Erschließung von DSM-Potenzialen
 - Nach Frontier, Formaet (2014), in 8 Kategorien
- Dauerhaft unflexible Biomasse
 - Referenz: 2020 hälftig flexibel, 2030 voll flexibel
- 1 GW zusätzliche Pumpspeicher (2020)
- Ohne ein großes Braunkohlekraftwerk (2020)
- 5 Mio. Elektrofahrzeuge (2030)



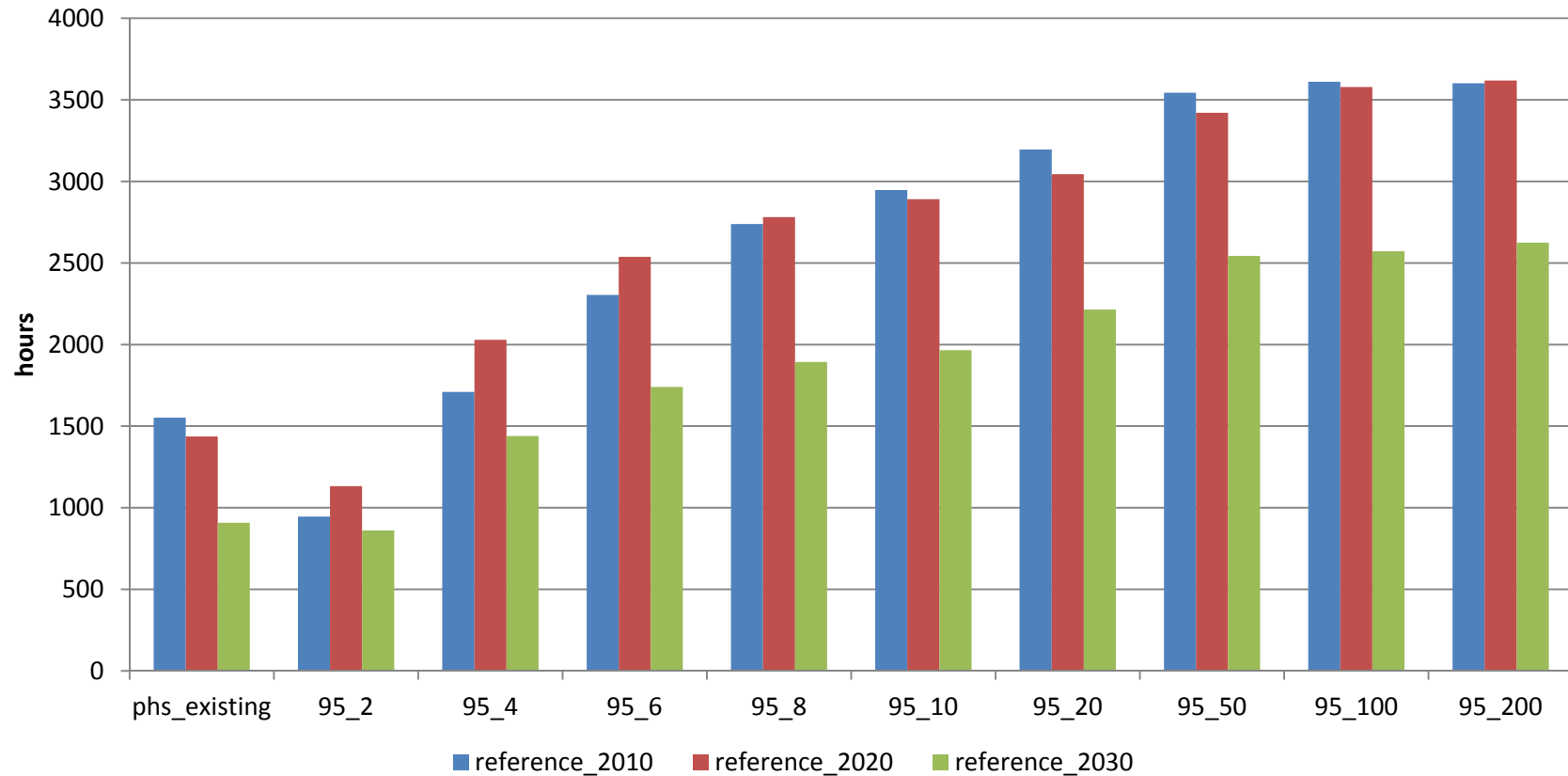
- Stilisierte Stromspeicher:
 - E/P: 2-200 Stunden
 - Wirkungsgrade 95%, 85%, 75%
- DSM-Parameter nach Frontier, Formaet (2014)

	Duration (hours)	Variable costs (€/MWh)	Specific investments (€/kW)		
			2010	2020	2030
DSM_curt1	4	500	10	10	10
DSM_curt2	4	1500	10	10	10
DSM_curt3	4	8000	10	10	10
DSM_shift1	1	1	724	786	815
DSM_shift2	2	1	2039	1817	1519
DSM_shift3	3	100	10	10	10
DSM_shift4	4	1	825	842	835
DSM_shift12	12	1	30	30	30

Ergebnisse

4

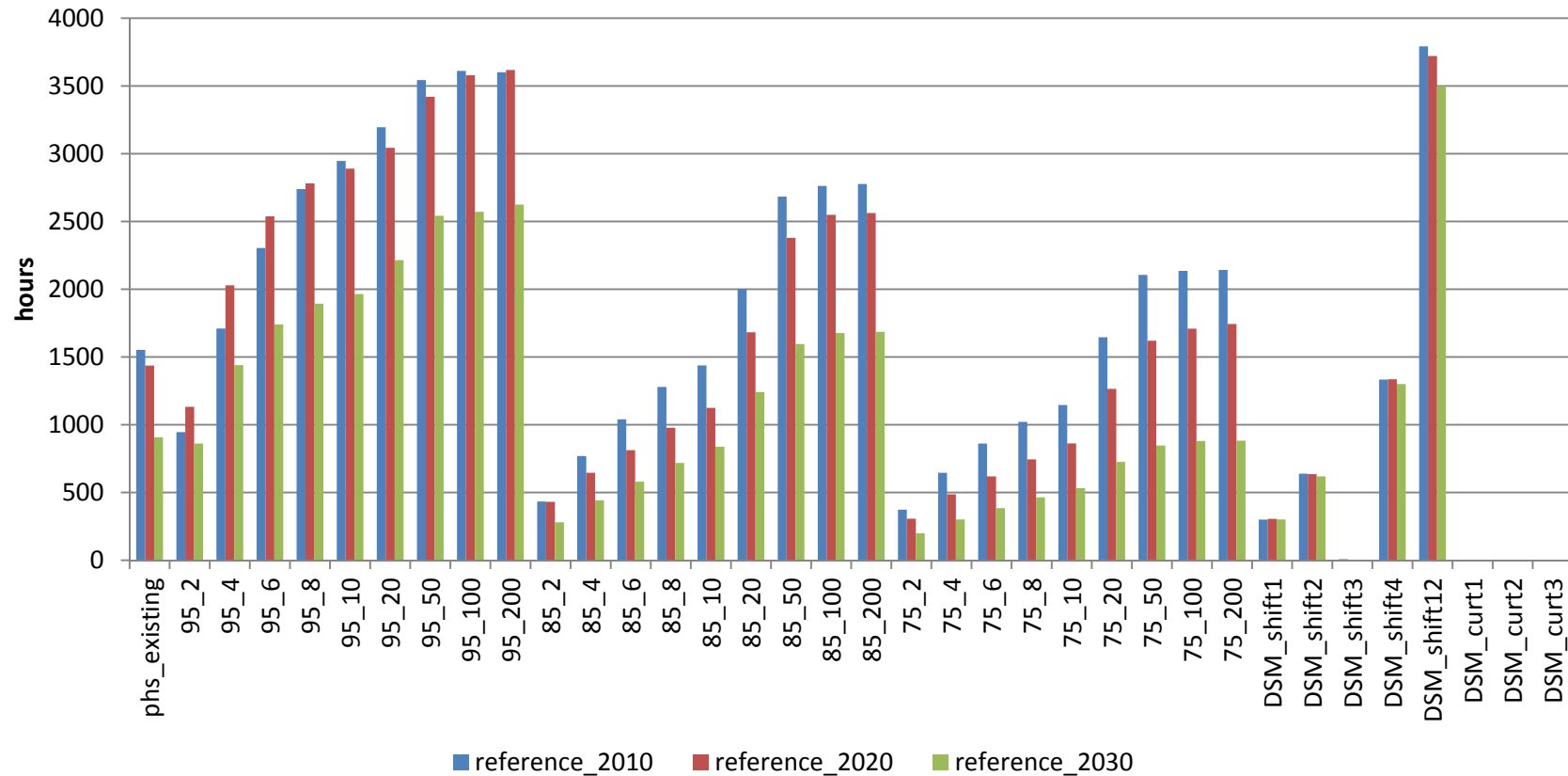
Referenzszenarien: Vollaststunden für 95%-Speicher



→ Starker Anstieg zwischen 2 und 10 Stunden

→ Unter NEP-Annahmen Abnahme im Zeitverlauf

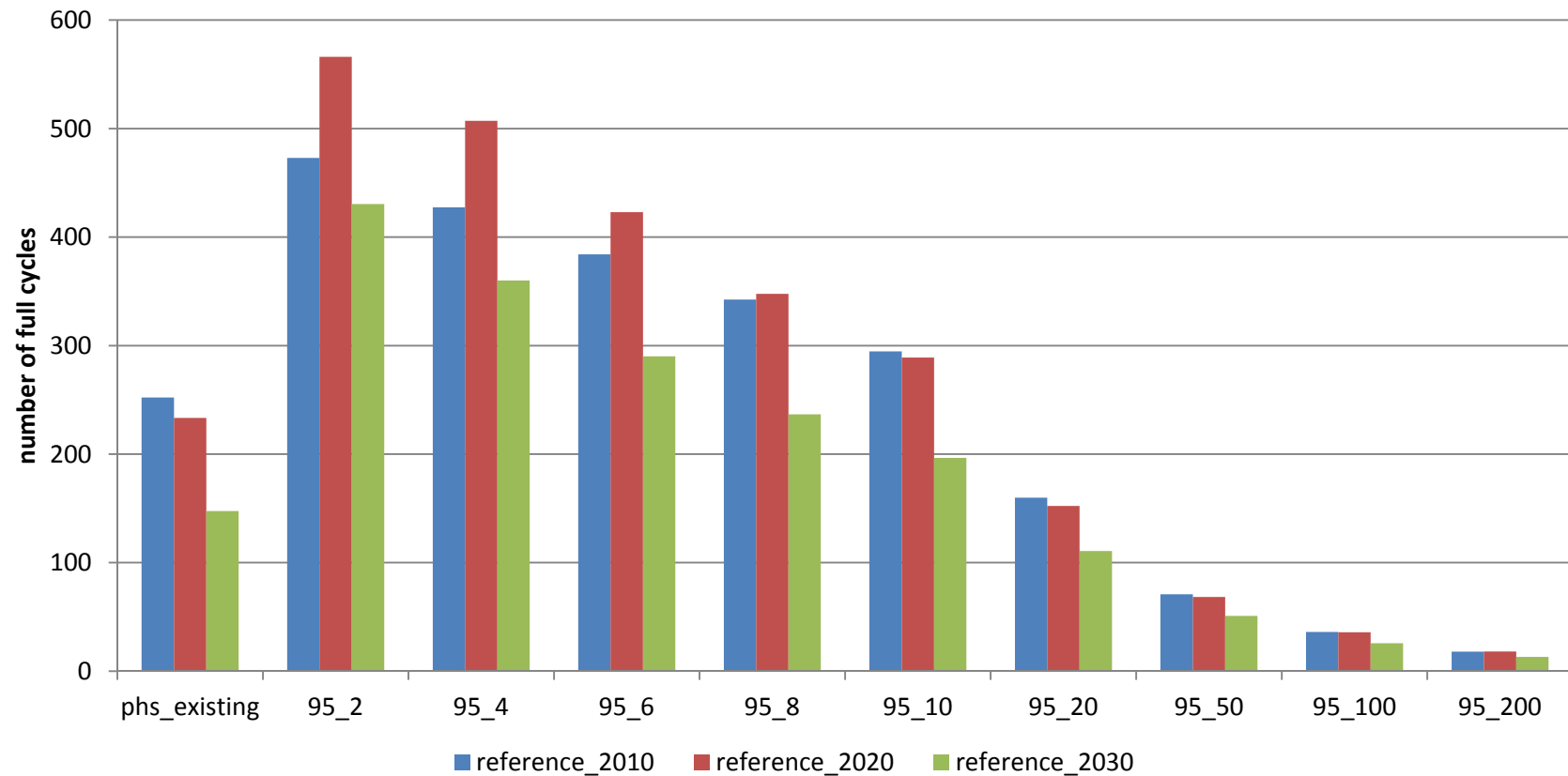
Referenzszenarien: Volllaststunden für verschiedene Speicher und DSM



→ Bei geringeren Wirkungsgraden sinkt Auslastung deutlich

→ Günstige DSM-Technologien mit längerer Dauer stark ausgelastet

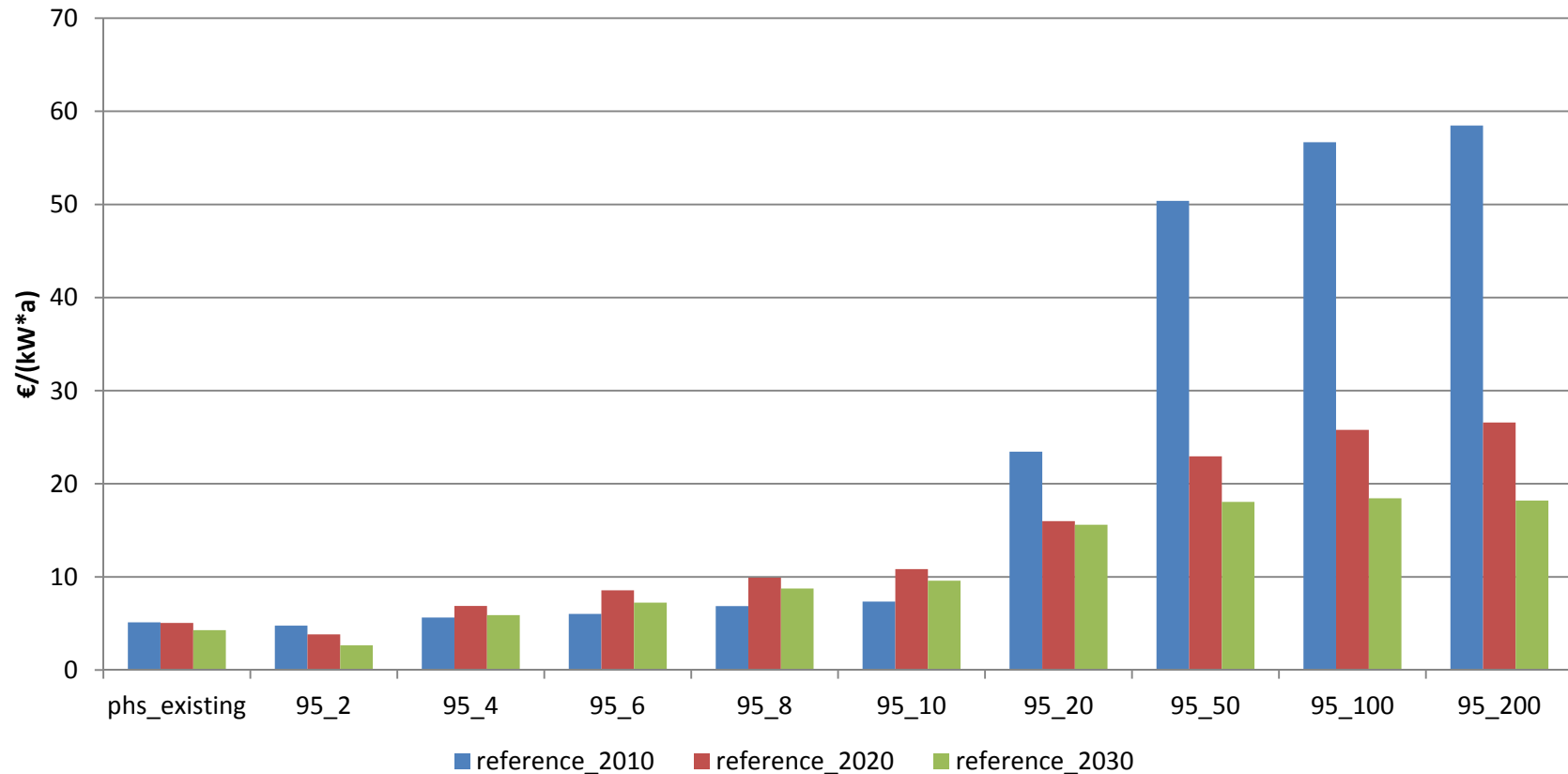
4

Referenzszenarien:
Zyklen für 95%-Speicher

→ Kurzzeitspeicher erreichen die meisten Zyklen

4

Referenzszenarien: Schattenpreise der Kapazitätsrestriktionen für 95%-Speicher

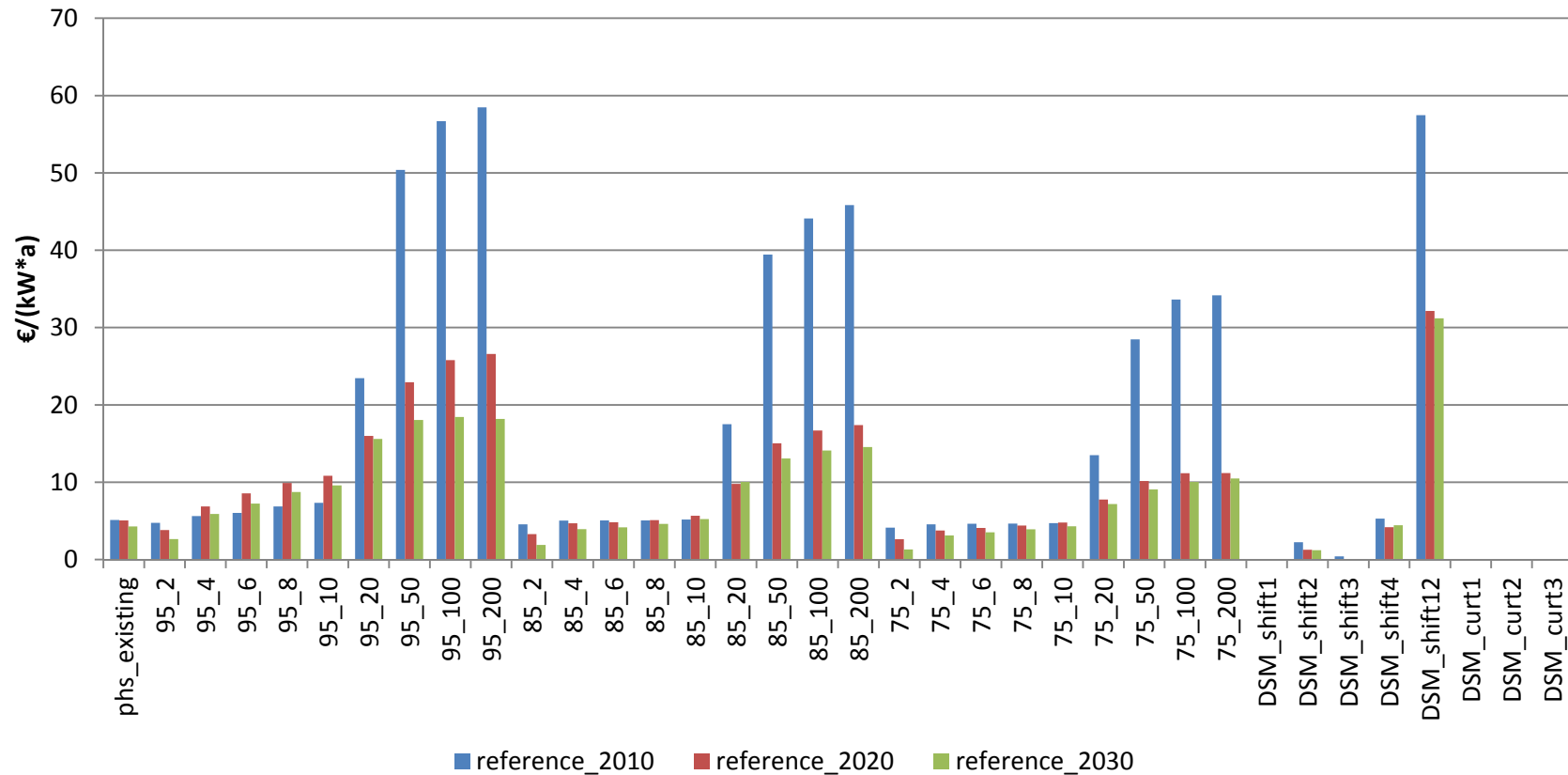


→ Bei Langzeitspeichern am höchsten

→ Unter NEP-Annahmen Abnahme im Zeitverlauf

4

Referenzszenarien: Schattenpreise der Kapazitätsrestriktionen

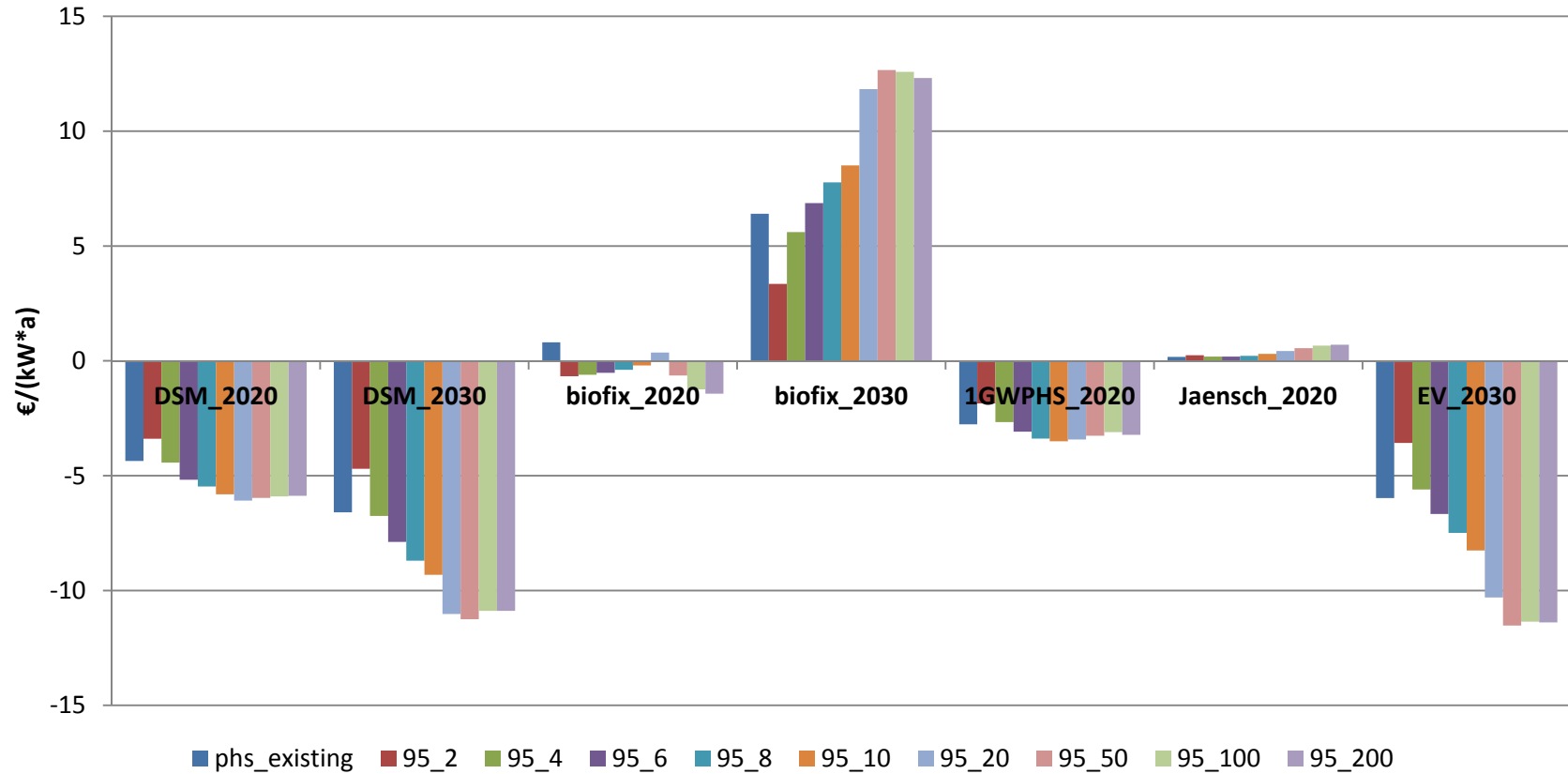


→ Deutliche Abnahme bei geringeren Wirkungsgraden

→ DSM-Potenzial mit langer Dauer sehr vorteilhaft

4

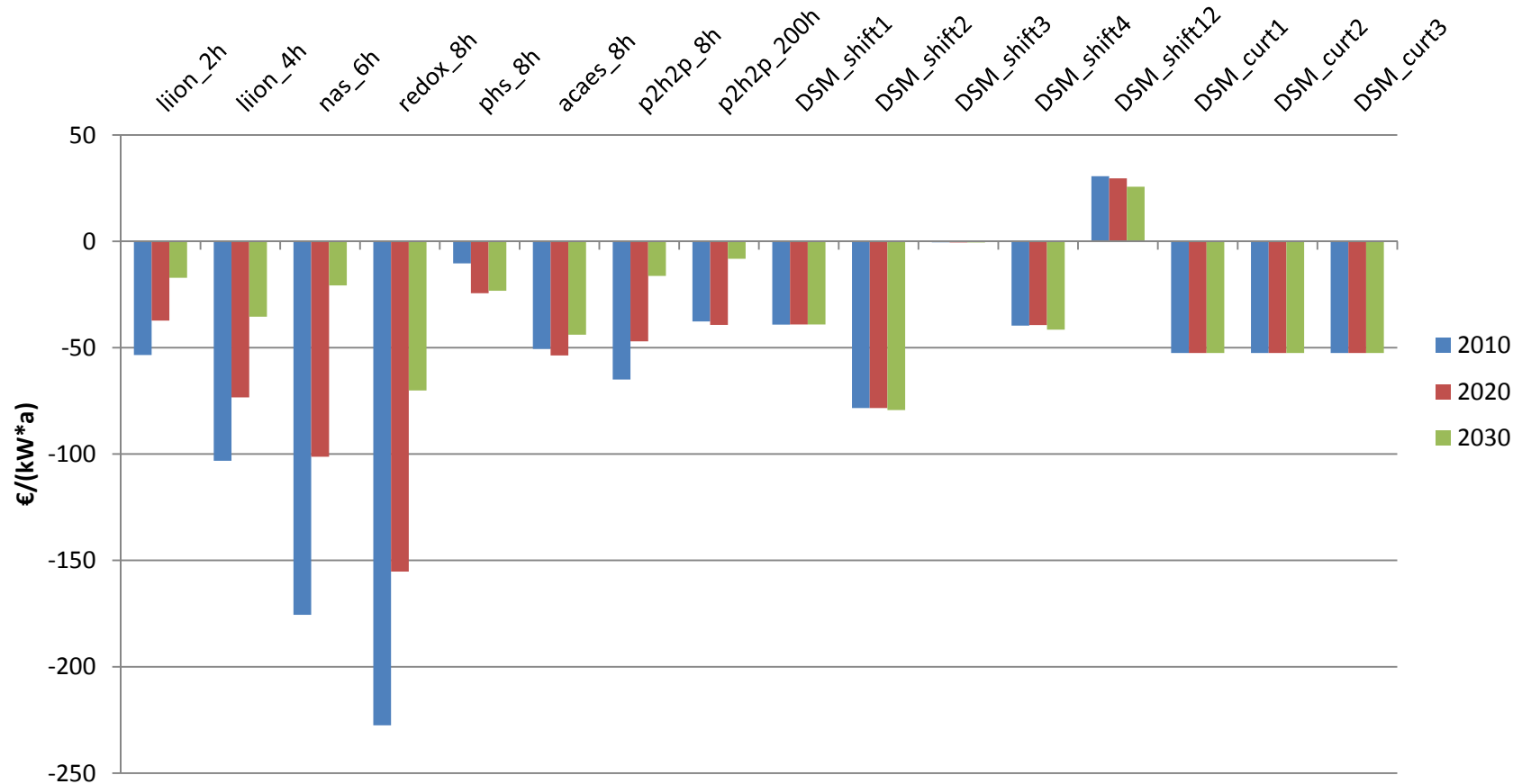
Sensitivitäten: Differenzen der Schattenpreise gegenüber jeweiliger Referenz



→ Rivalisierende Flexibilitätsoptionen

4

Indikativer Vergleich von Schattenpreisen und annuisierten spezifischen Investitionen nach Fuchs et al. (2012)



→ Unterschiede nehmen mittelfristig ab

→ Fast alle verbessern sich – selbst unter NEP-Annahmen

Diskussion der Einschränkungen

- Exogener, großzügig bemessener Kraftwerkspark
- Kein Ausland
 - Betrachtung inländischer Flexibilitätsbereitstellung
 - Weniger relevant für relativen Vergleich
- Hier nur Arbitrage im Stundenraster
 - Erweiterung Regelleistung
- Langfristig werden Power-to-Heat und Power-to-Gas relevant → Künftige Erweiterungen?
- Charakter von Schattenpreisen in gemischt-ganzzahligen Modellen
- Skalierung von EE-Zeitreihen

Schlussfolgerungen und Ausblick

- Verschiedene Speichertypen unterschieden sich hinsichtlich
 - Volllaststunden
 - Zyklen
 - (ökonomischem) Wert für Gesamtsystem
- Längerfristige Speicher besonders wertvoll
- Großer Einfluss anderer Flexibilitätsoptionen
- Längerfristig voraussichtlich relevante Wertbeiträge von Stromspeichern hier nicht betrachtet:
 - Kapazitätswert
 - Regelleistungserbringung

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.



**DIW Berlin — Deutsches Institut
für Wirtschaftsforschung e.V.**

Mohrenstraße 58, 10117 Berlin
www.diw.de

Redaktion

Wolf-Peter Schill | wschill@diw.de
