



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

Gefördert
durch:



Europa fördert Sachsen.
ESF
Europäischer Sozialfonds

Die Rolle von Demand Side Management bei der Systemintegration der erneuerbaren Energien

Dipl.-Ing. Theresa Müller



EE²

Enersax Konferenz
Dresden, 03. Dezember 2014

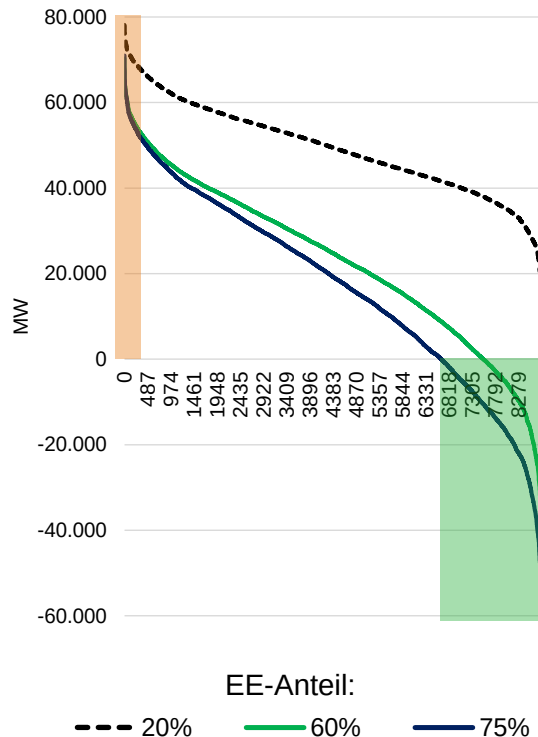
Dieses Projekt wurde gefördert durch den ESF – Europäischer Sozialfond und den Freistaat Sachsen

- 1 **Motivation**
- 2 **Potentiale von Demand Side Management in Deutschland und zeitliche Verfügbarkeit**
- 3 **Technische Restriktionen und Kosten von Demand Side Management im Vergleich zu Gasturbinen- und Pumpspeicherkraftwerken**
- 4 **Fazit**

Der Angebotsüberschuss aus erneuerbaren Energien nimmt zu

EE²

Exemplarische Residuallastkurve für verschiedene EE-Anteile



Systemintegration der EE beeinflusst die Residuallastdauerlinie:

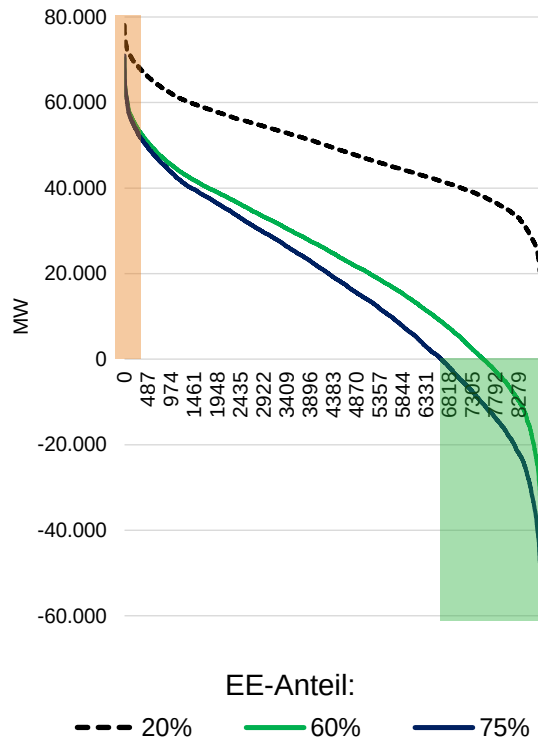
- Zeiten nehmen zu, in denen das Angebot die Nachfrage übersteigt
 - Anzahl der Stunden mit negativer Residuallast steigt
 - Überschusseinspeisung aus erneuerbaren Energien nimmt zu
 - Stärkere Spitzen im negativen Bereich
- Die positive Lastspitze sinkt nur geringfügig

➤ **Ausgleichsmaßnahmen (z.B. Speicher und Back-Up-Kapazitäten) werden benötigt**

Mit Hilfe von DSM kann sich die Nachfrage der jeweiligen Marktsituation anpassen

EE²

Exemplarische Residuallastkurve für verschiedene EE-Anteile



Nutzen von Demand Side Management:

- Senkung von Lastspitzen/Glättung der Lastkurve
 - Weniger Back-Up-Kapazitäten werden benötigt
- Anpassung der Nachfrage an die fluktuierenden EE-Einspeisung
 - EE-Abschaltung kann reduziert werden
 - EE-Ziele können eher erreicht werden
- Höhere Auslastung der konventionellen und erneuerbaren Erzeugungsanlagen
- Erhöhung der Versorgungssicherheit
- Senkung der Systemkosten

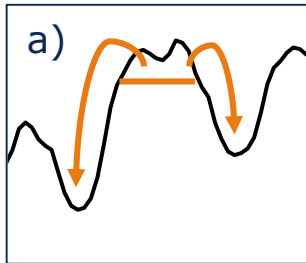
Welchen Beitrag kann DSM zur Systemintegration der erneuerbaren Energien leisten?

Wie ist die Konkurrenz zu Back-Up-Kapazitäten und Energiespeichern?

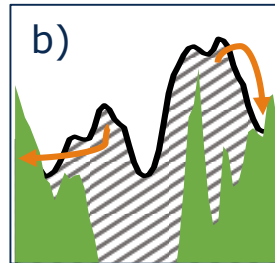
Bei DSM kann man zwischen Lastverschiebung und Lastabwurf unterscheiden

EE²

Lastverschiebung

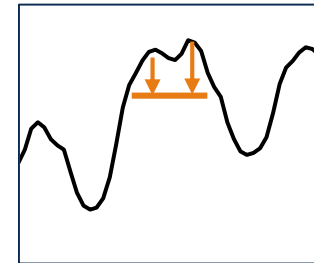


Glättung der Lastkurve



Anpassung an EE-Einspeisung

Lastabwurf



Reduzierung der Last, ohne diese später nachzuholen

Geeignete Anwendungen

- Kühlen/Gefrieren
- Warmwasserbereitung
- Nachtspeicherheizung
- Belüftung
- Klimaanlage
- Wärmepumpe
- Waschen/Trocknen

GHD- & Haushaltssektor

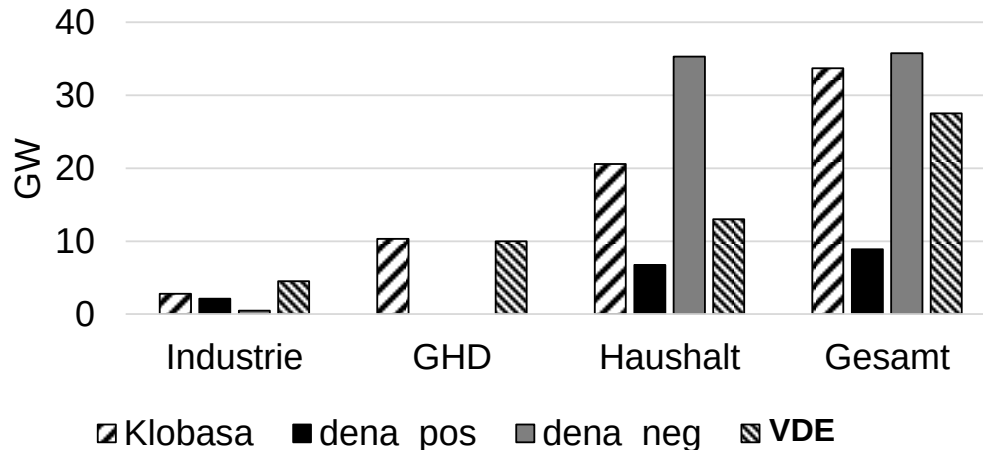
- Aluminiumelektrolyse
- Chlorelektrolyse
- Elektrolichtbogenofen
- Holzstoffherstellung (Papier)
- Zementmühle

Industrie

- 1 Motivation**
- 2 Potentiale von Demand Side Management in Deutschland und zeitliche Verfügbarkeit**
- 3 Technische Restriktionen und Kosten von Demand Side Management im Vergleich zu Gasturbinen- und Pumpspeicherkraftwerken**
- 4 Fazit**

Deutschland verfügt über ein hohes DSM-Potential

DSM-Potential in Deutschland



	Min	Max	Mean
Total in GW	27.5	35.7	32.3

Spitzenlast in Deutschland in 2012:
74,5 GW

[Quelle: dena 2010, Grote 2014, Klobasa 2007, VDE 2012]

- In verschiedenen Studien wurde DSM-Potential für Deutschland ermittelt
- Ergebnisse schwanken z.T. stark, wegen unterschiedlichen Annahmen, Datenverfügbarkeit und betrachteten Anwendungen
- Potential im Haushaltssektor am höchsten und in der energieintensiven Industrie am niedrigsten

Die Verfügbarkeit der DSM-Anwendungen hängt von externen Faktoren ab

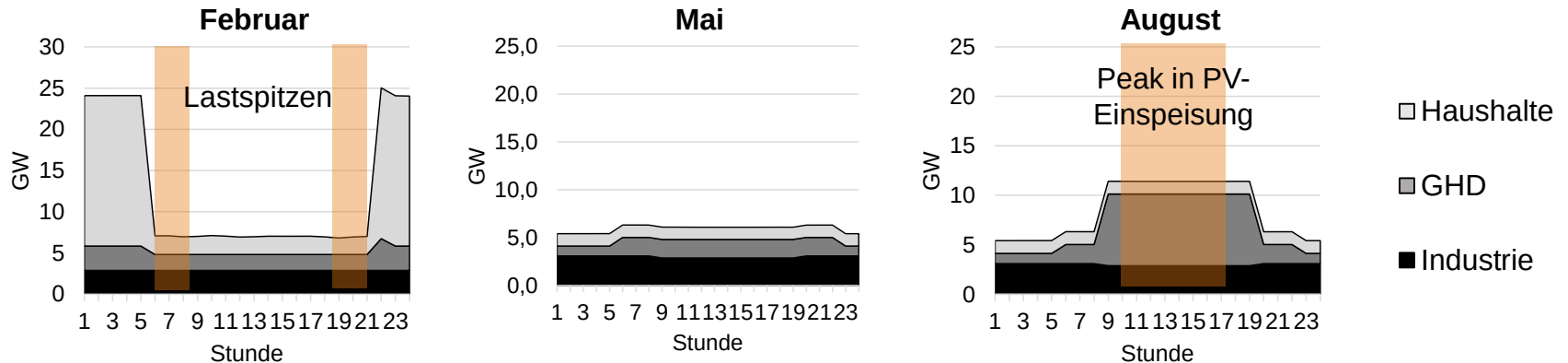
EE²

Sektor	Anwendung	Zeitabhängig	Temperaturabhängig	
Industrie	Aluminiumelektrolyse	-	-	Lastabwurf
	Chlorelektrolyse	-	-	
	Elektrolightbogenofen	-	-	
	Holzstoffherstellung (Papier)	-	-	
	Zementmühle	Saison, Tageszeit, Wochentag	-	
GHD und Haushalt	Kühlen/Gefrieren	Saison, Tageszeit	-	Lastverschiebung
	Warmwasserbereitung	Tageszeit, Wochentag	+	
	Nachtspeicherheizung	Tageszeit	+	
	Belüftung	Tageszeit, Wochentag	+	
	Klimaanlage	Tageszeit, Wochentag	+	
	Wärmepumpe	Tageszeit	+	
	Waschen/Trocknen	Tageszeit	+	

- Verbrauchsprofil der einzelnen Anwendungen determiniert das verfügbare DSM-Potential
- Produktionsprozesse in der Industrie laufen kontinuierlich und sind weder von der Tages- bzw. Wochenzeit, noch von der Außentemperatur abhängig
- Der Verbrauch der GHD- und Haushaltsanwendungen ist abhängig von der Außentemperatur sowie der Tages- und Wochenzeit

Die Verfügbarkeit des DSM-Potentials hängt von der Jahres- und Tageszeit ab

Zeitliche Verfügbarkeit des DSM-Potentials



[Quelle: Eigene Berechnungen in Anlehnung an Klobasa 2007 und Gils 2014]

- Höhe des DSM-Potentials im Haushalts- und GHD-Sektor schwankt stark, da Anwendungen nicht jederzeit verfügbar sind
- Gesamtes Potential im Winter in der Nacht am größten
- Im Sommer Potential am Tag am höchsten
- Leistungsfähigkeit von DSM wird überschätzt, wenn lediglich das maximale, zeitunabhängige Potenzial betrachtet wird
- Verfügbarkeit und Bedarf können auseinander fallen

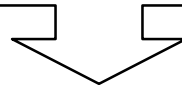
- 1** Motivation
- 2** Potentiale von Demand Side Management in Deutschland und zeitliche Verfügbarkeit
- 3** Technische Restriktionen und Kosten von Demand Side Management im Vergleich zu Gasturbinen- und Pumpspeicherkraftwerken
- 4** Fazit

Die wichtigsten technischen Restriktionen von DSM sind zeitliche Verfügbarkeit, Zugriffs- und Verschiebedauer

EE²

Technische Restriktionen:

- **Zeitabhängigkeit**
 - **Temperaturabhängigkeit**
- } determiniert das verfügbare DSM-Potential
- **Einsatzhäufigkeit:** Anzahl der maximalen Lasteingriffe in einem vorgegebenen Zeitraum (z.B. pro Jahr, Woche, Tag)
- **Zugriffsdauer:** Gibt an, wie lange die Last (einer Anwendung) reduziert, unterbrochen oder erhöht werden kann.
 - **Verschiebedauer:** Maximale Zeitraum, in dem die (erhöhte/reduzierte) Last nachgeholt werden muss.



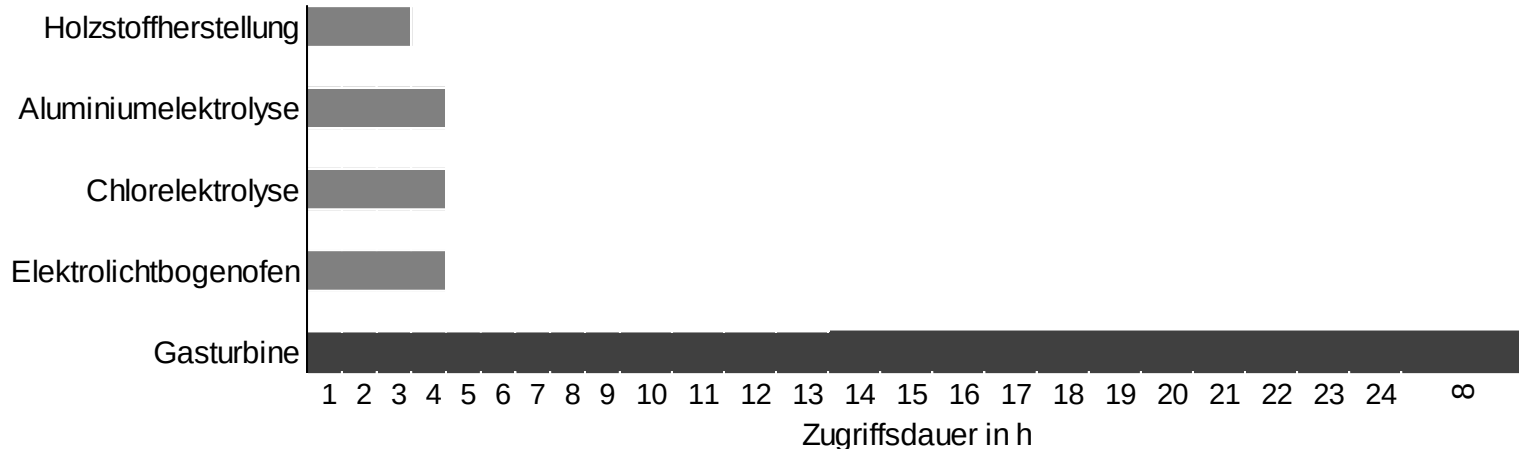
Werden im folgenden näher betrachtet und Vergleich aufgezeigt zwischen:

- Spitzenlastkraftwerken (am Bsp. Gasturbine) und Lastabwurf (Industrie)
- Energiespeichern (am Bsp. PSP) und Lastverschiebung (GHD-/Haushaltssektor)

Zugriffsdauer für Anwendungen zum Lastabwurf im Vergleich zur Gasturbine

EE²

Zugriffsdauer für Anwendungen zum Lastabwurf im Vergleich zur Gasturbine



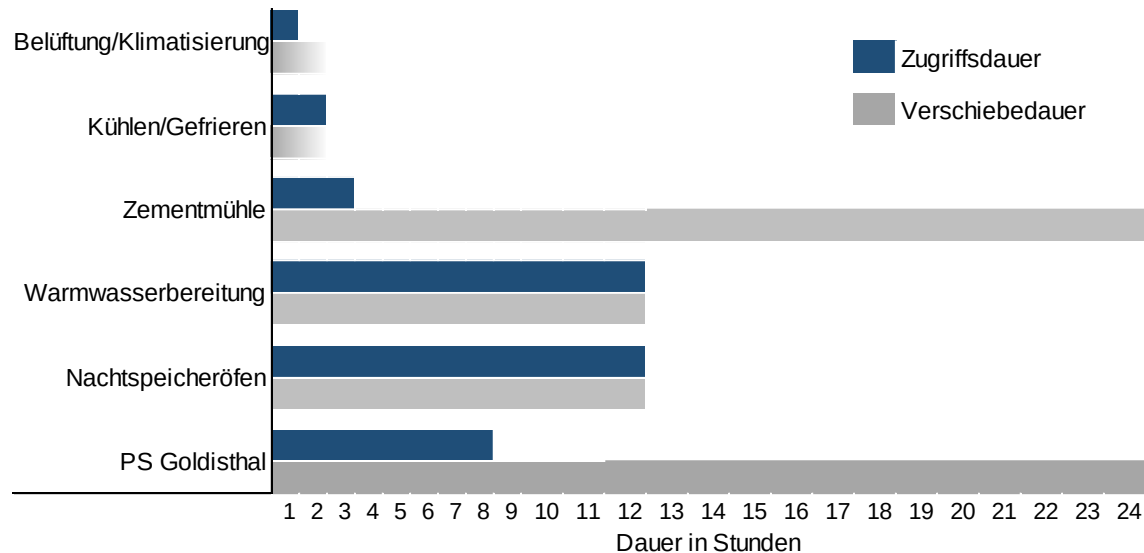
[Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Klobasa 2007]

- DSM-Anwendungen können nur für wenige Stunden Last reduzieren
 - Zugriffsdauer bei Kraftwerken unbegrenzt
- DSM kann nur kurzfristige Engpässe bei EE-Einspeisung überbrücken, während Gasturbinen auch längere Windflauten ausgleichen können

Zugriffs- und Verschiebedauer für Anwendungen zur Lastverschiebung im Vergleich zu Pumpspeichern

EE²

Zugriffsdauer für Anwendungen zur Lastverschiebung im Vergleich zu Energiespeichern

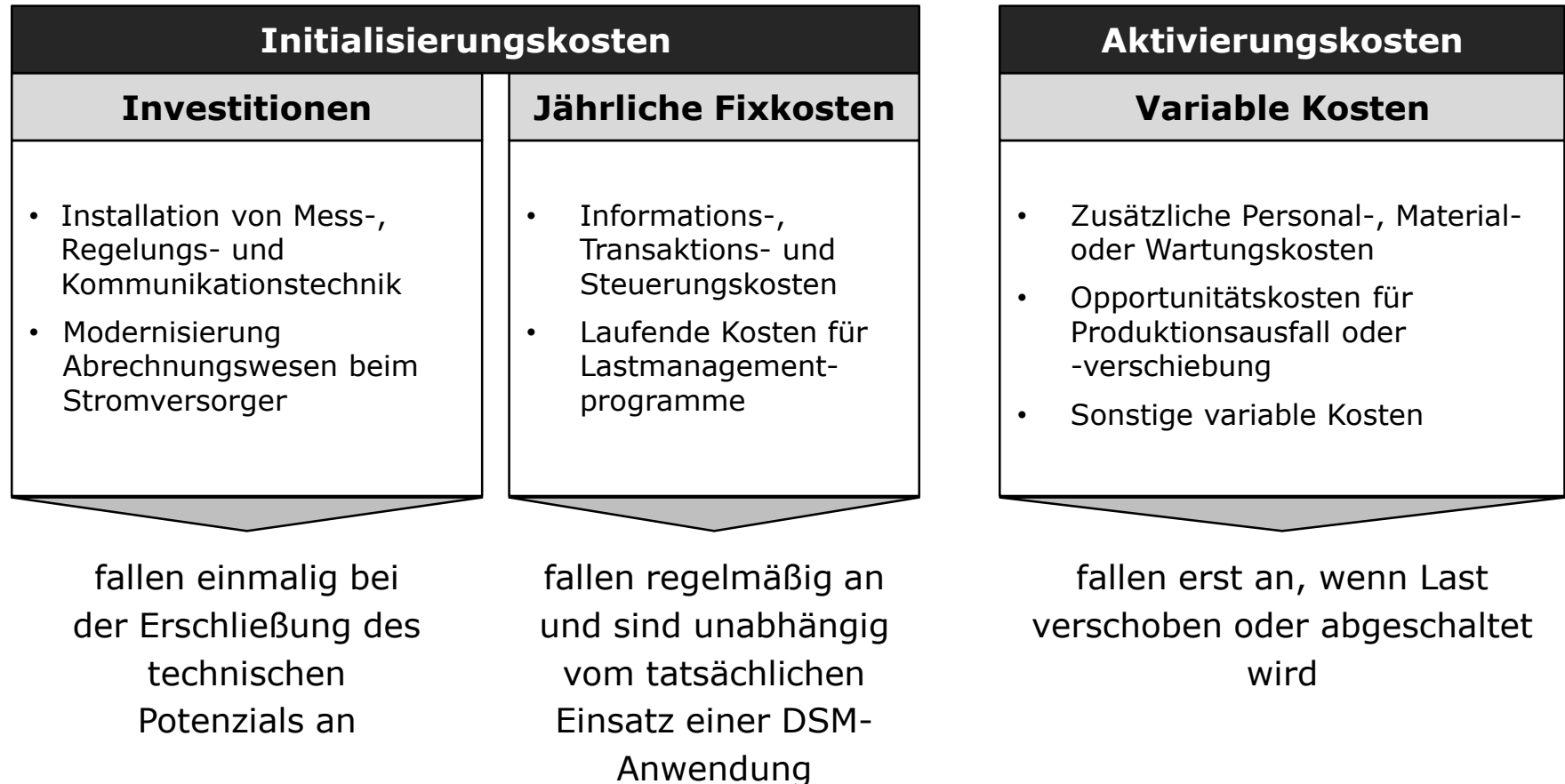


[Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Klobasa 2007 und Gils 2014]

- Höhe der Zugriffs- und Verschiebedauer abhängig von der DSM-Anwendung
- Einzelne DSM-Anwendungen können bis zu 12 h Last reduzieren
 - Können ebenso wie Speicher EE-Schwankungen über mehrere Stunden ausgleichen
- Verschiebedauer von DSM-Anwendungen wesentlich geringer als von Energiespeichern
 - DSM kann nur kurzfristig EE-Überschüsse speichern

Bei der Nutzung von DSM fallen Kosten direkt beim Verbraucher und für das gesamte System an

EE²



(Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Dena 2010)

Die Kostenstruktur für Lastabwurf und Lastverschiebung unterscheidet sich

EE²

		Gasturbine	DSM		PSW
			Lastabwurf	Lastver- schiebung	
Variable Kosten	[€/MWh]	~ 90	500 - 1000	~ 0	0 - 10
Fixe Kosten	[€/kW]	12 - 20	< 1	25 - 65	11 - 24
Investitionen	[€/kW]	375 - 650	1 - 20	40 - 1200	850 - 1600

(Quelle: Dena 2010 und Schröder et al. 2012)

Lastabwurf
(Industriesektor):

- **Geringe Investitionen** erforderlich, weil viele Firmen bereits über Energiemanagementsysteme verfügen
- **Hohe variable Kosten**, weil Aktivierung zu Gewinneinbußen führen kann

Lastverschiebung
(GHD- und Haushaltssektor)

- **Hohe Investitionen** erforderlich, weil Infrastruktur fehlt
- **Geringe Variable Kosten**, weil Aktivierung keinen direkten Einfluss auf Kundennutzen hat

Lastabwurf gewinnt an Bedeutung wenn Erzeugungseingpässe im Markt auftreten

		Gasturbine	DSM	PSW
			Last-abwurf	Last-verschiebung
Variable Kosten	[€/MWh]	~ 90	500 - 1000	~ 0
Fixe Kosten	[€/kW]	12 - 20	< 1	25 - 65
Investitionskosten	[€/kW]	375 - 650	1 - 20	40 - 1200
				850 - 1600

(Source: Dena 2010 und Schröder et al. 2012)

Lastabwurf vs. Gasturbine:

- Variable Kosten von Gasturbinen geringer als von Lastabwurf
 - **Aktivierung der Gasturbine ist kosteneffizienter, als Lastabwurf**
- Spezifische Investitionen von Gasturbinen übersteigen Werte von Lastabwurf
 - **Erschließung und Nutzung von Lastabwurfpotentialen kosteneffizienter, als Neubau von Gasturbine**
 - **Bedarf an Back-Up Kapazitäten sinkt**

Keine signifikanten Kostenunterschiede zwischen Lastverschiebung und Pumpspeicherkraftwerken

EE²

		Gasturbine	DSM		PSW
			Last-abwurf	Last-verschiebung	
Variable Kosten	[€/MWh]	~ 90	500 - 1000	~ 0	0 - 10
Fixe Kosten	[€/kW]	12 - 20	< 1	25 - 65	11 - 24
Investitionskosten	[€/kW]	375 - 650	1 - 20	40 - 1200	850 - 1600

(Source: Dena 2010 und Schröder et al. 2012)

Lastverlagerung vs. Pumpspeicherkraftwerke (PSW):

- Variable und Investitionen variieren nur geringfügig zwischen beiden Alternativen
- Für den Einsatz beider Optionen sind vor allem Grenzkosten, die von Preisdifferenzen im Strommarkt abhängen, entscheidend
→ Energiespeicher profitieren von höheren Preisspreads (Tag/Nacht) als DSM-Anwendungen (Stunde/Stunde)
- **Eher das zeitlich verfügbare Potential, als die Kosten, beeinflusst die Vorteilhaftigkeit einer Alternative**

- 1 **Motivation**
- 2 **Potentiale von Demand Side Management in Deutschland und zeitliche Verfügbarkeit**
- 3 **Technische Restriktionen und Kosten von Demand Side Management im Vergleich zu Gasturbinen- und Pumpspeicherkraftwerken**
- 4 **Fazit**

- DSM kann zum Ausgleich der fluktuierenden Stromerzeugung und zur Reduzierung der Lastspitze genutzt werden kann
- Deutschland verfügt über hohes DSM Potential
 - Maximales DSM-Potential nicht jederzeit verfügbar
 - Aus volkswirtschaftlicher Sicht ggf. nicht sinnvoll, komplettes DSM-Potential zu erschließen
- Der Bedarf und tatsächliche Einsatz von DSM ist abhängig von:
 - Zeitlicher Verfügbarkeit
 - Konjunkturellen Einflüssen
 - Situation am Strommarkt
- **Weiterführende Analysen mit Strommarktmodell erforderlich, um Wirkung von DSM im Elektrizitätssystem genauer untersuchen zu können**

Lehrstuhl für Energiewirtschaft

Theresa Müller

Dipl.-Ing.

0351 463-39766

Theresa.Mueller@tu-dresden.de



»Wissen schafft Brücken.«



Dena: Netzstudie II – Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung im Zeitraum 2015 – 2020 mit Ausblick 2025, Berlin, 2010.

Gils, Hans Christian: Assessment of the theoretical demand response potential in Europe, Energy, 2014.

Klobasa, Marian: Dynamische Simulation eines Lastmanagements und Integration von Windenergie in ein Elektrizitätsnetz auf Landesebene unter regelungstechnischen und Kostengesichtspunkten, Diss., ETH Zürich, 2007.

Pyc, Ireneusz (2013): VDE-Studie: Erneuerbare Energien braucht flexible Kraftwerke – Szenarien bis 2020, im Internet unter:

<https://www.vde.com/de/regionalorganisation/bezirksvereine/suedbayern/facharbeit%20regional/akenergietechnik/documents/vortrag%2021-11-2013%20flexible%20kraftwerke.pdf>, [Abruf: 18.11.2014].

VDE: Demand Side Integration – Lastverschiebungspotenziale in Deutschland, 2012.