

# FLEXIBILISIERUNG DES STROMVERBRAUCHS IN FABRIKEN

**Dennis Atabay, München**

*Technische Universität München,*

*Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik*

**Fabian Keller, Augsburg**

*Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik,*

*Projektgruppe Ressourceneffiziente mechatronische Verarbeitungsmaschinen*



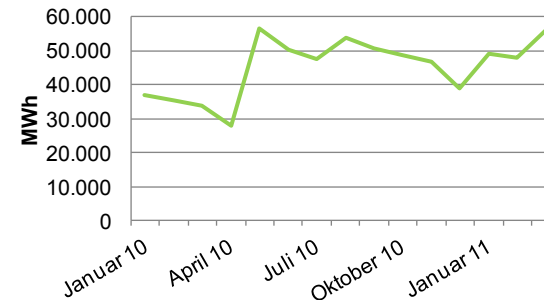
1. Motivation
2. Vorstellung FOREnergy
3. Energiebezugsorientierte Planung und Steuerung
4. Speichereinsatz in Fabriken
5. Zusammenfassung und Ausblick

1. Motivation
2. Vorstellung FOREnergy
3. Energiebezugsorientierte Planung und Steuerung
4. Speichereinsatz in Fabriken
5. Zusammenfassung und Ausblick

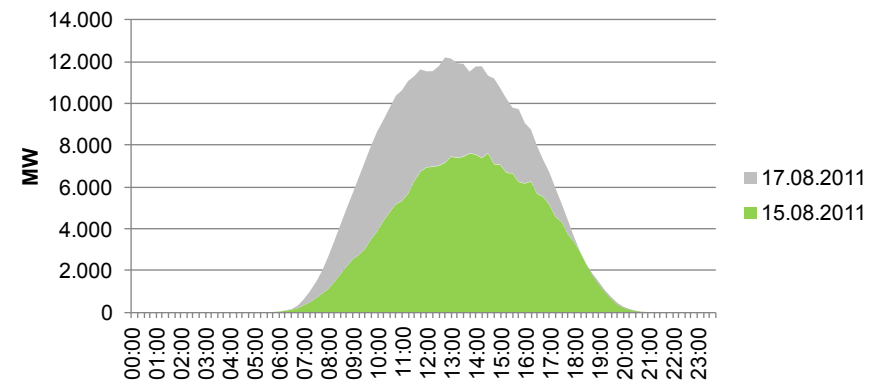
# Motivation: Eingeläutete Energiewende

- Steigerung des Stromanteils aus erneuerbaren Energien von 23 % auf 50 % (bis 2020)
- Keine gesicherte Leistung durch die volatilen Energieträger Wind und Sonne
- Sinkende Energieversorgungssicherheit in Bayern
- Schwankende Strompreise je nach Angebot und Nachfrage

Bruttoerzeugung Windkraft, Photovoltaik, übrige regenerative Energien

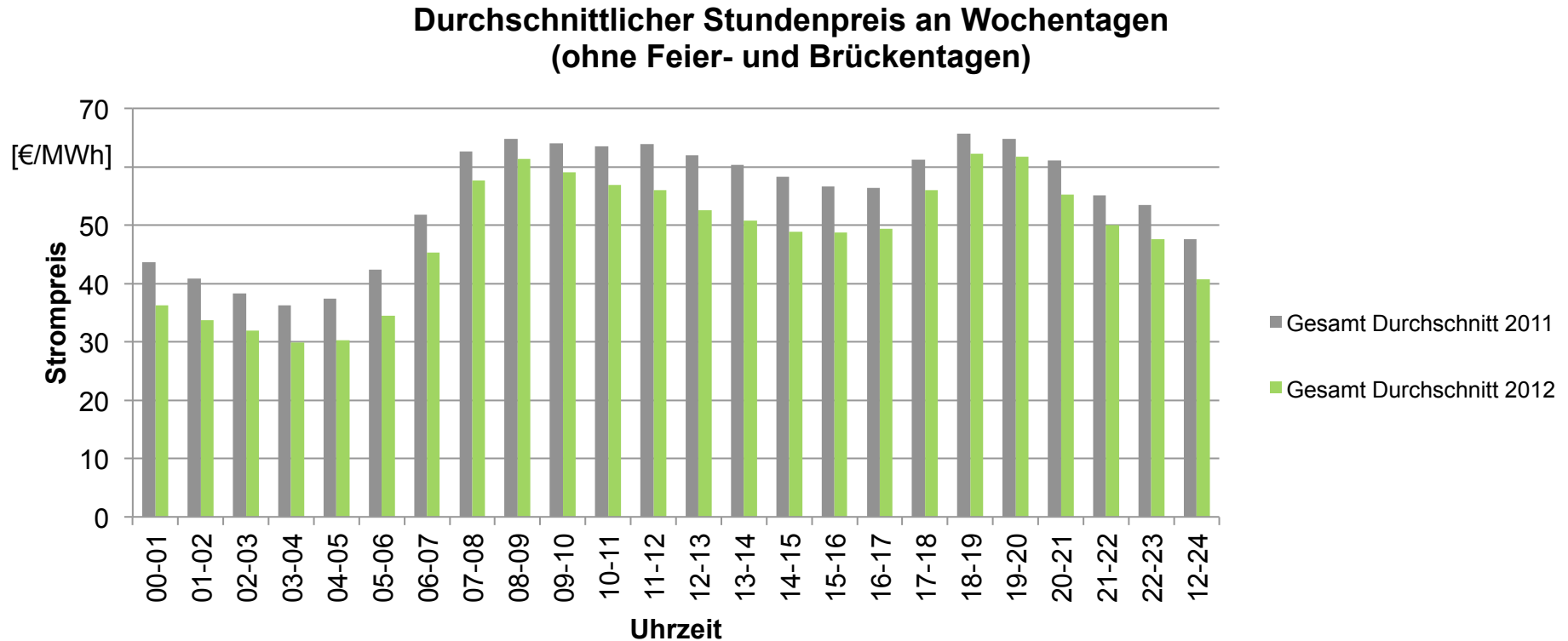


Stromerzeugung aus Photovoltaik



**Sinkende Versorgungssicherheit durch Ausbau von Windkraft und Photovoltaik**

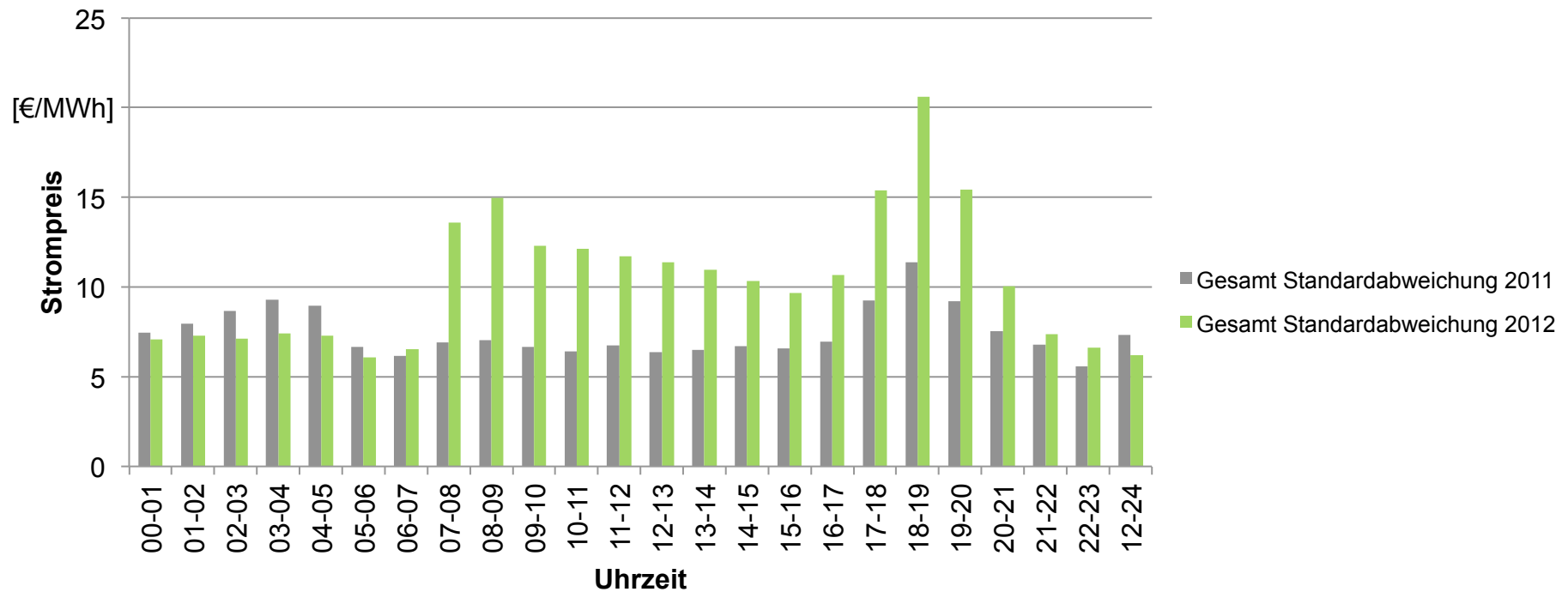
## Aktuelle Situation der Strompreise auf dem Spotmarkt



Die Strompreise an der EEX sind 2012 gegenüber 2011 gesunken, aber...

## Aktuelle Situation der Strompreise auf dem Spotmarkt

Standardabweichung der durchschnittlichen Stundenpreise an Wochentagen  
(ohne Feier- und Brückentagen)



...die Schwankungen der Strompreise haben deutlich zugenommen

1. Motivation

**2. FOREnergy**

3. Energiebezugsorientierte Planung und Steuerung

4. Speichereinsatz in Fabriken

5. Zusammenfassung und Ausblick

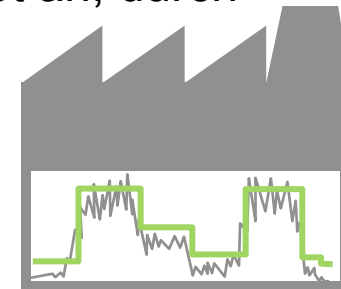
## Energieflexibilität

Energieflexibilität beschreibt die Fähigkeit eines Produktionssystems, sich schnell und nur mit sehr geringem finanziellen Aufwand an kurzfristige Änderungen des Energiemarktes anzupassen.



Die **Energieflexible Fabrik** passt sich dem Energieangebot an, durch

- energieflexible Anlagen,
- Energiespeicher und
- intelligente Steuerungen.



Die **Energieflexible Fabrik** ist damit ein Befähiger des Smart Grids.

**Ziel des Verbunds ist die Synchronisation von Energieangebot und -nachfrage durch die Energieflexible Fabrik**

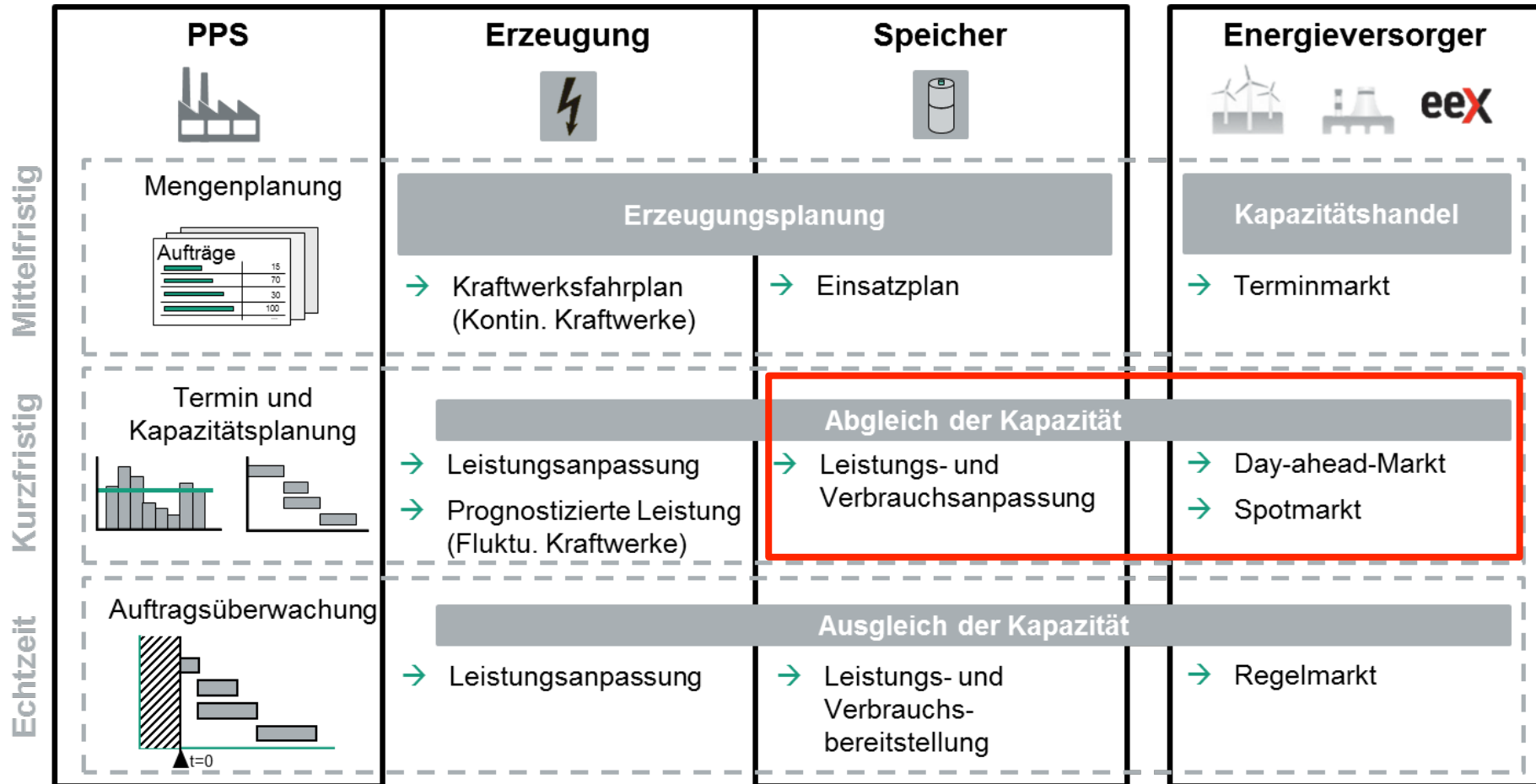


# Agenda

---

1. Motivation
2. Vorstellung FOREnergy
- 3. Energiebezugsorientierte Planung und Steuerung**
4. Speichereinsatz in Fabriken
5. Zusammenfassung und Ausblick

# Planung und Steuerung des Strombezugs



1. Motivation
2. Vorstellung FOREnergy
3. Energiebezugsorientierte Planung und Steuerung
- 4. Speichereinsatz in Fabriken**
5. Zusammenfassung und Ausblick

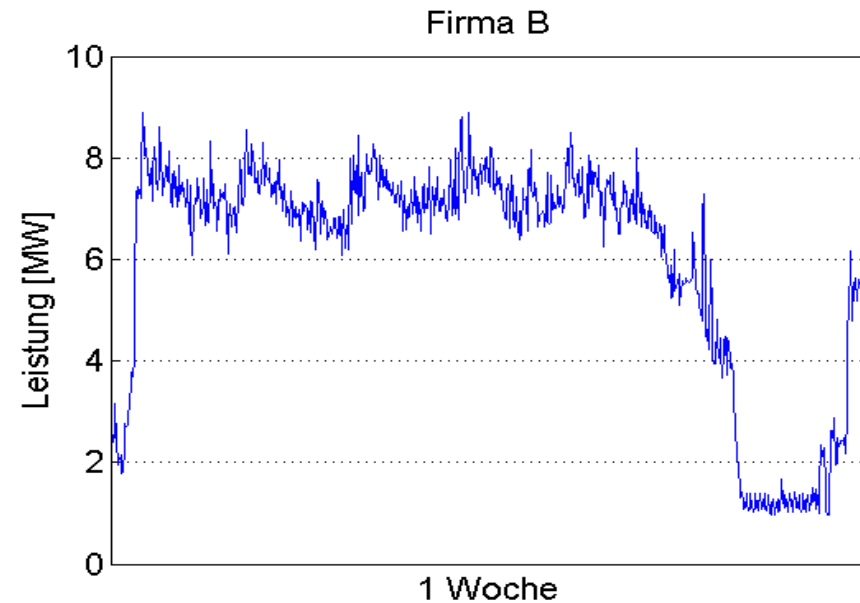
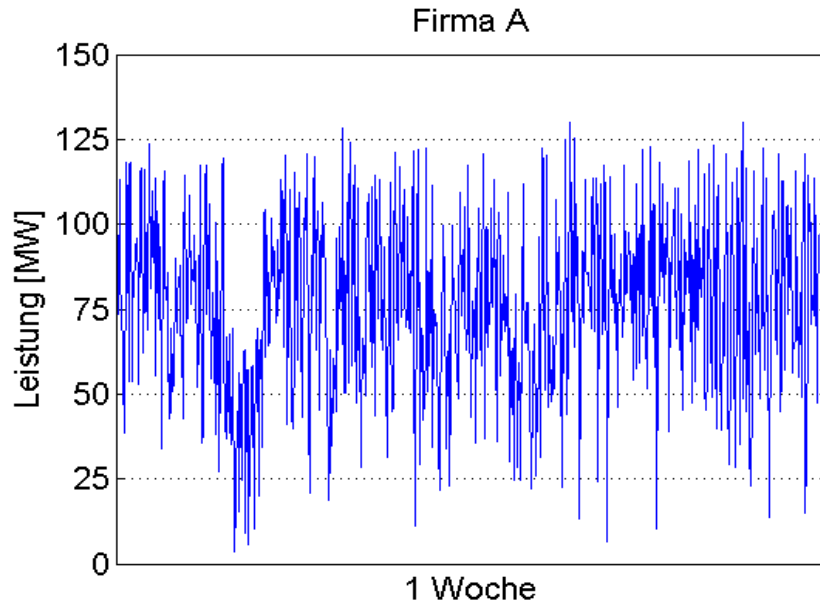
**Strompreis =                      Arbeitspreis                      +                      Leistungspreis**

$$K_{Strom} = \sum_t (P_L(t) * \Delta t * K_{Arbeit}(t)) + \max(P_L(t)) * K_{Leistung}$$

## Einsatz von Speichern:

- Verschiebung der Last in „günstige“ Zeiten (Variabler Stromtarif, EPEX SPOT)
- Spitzenlastreduktion

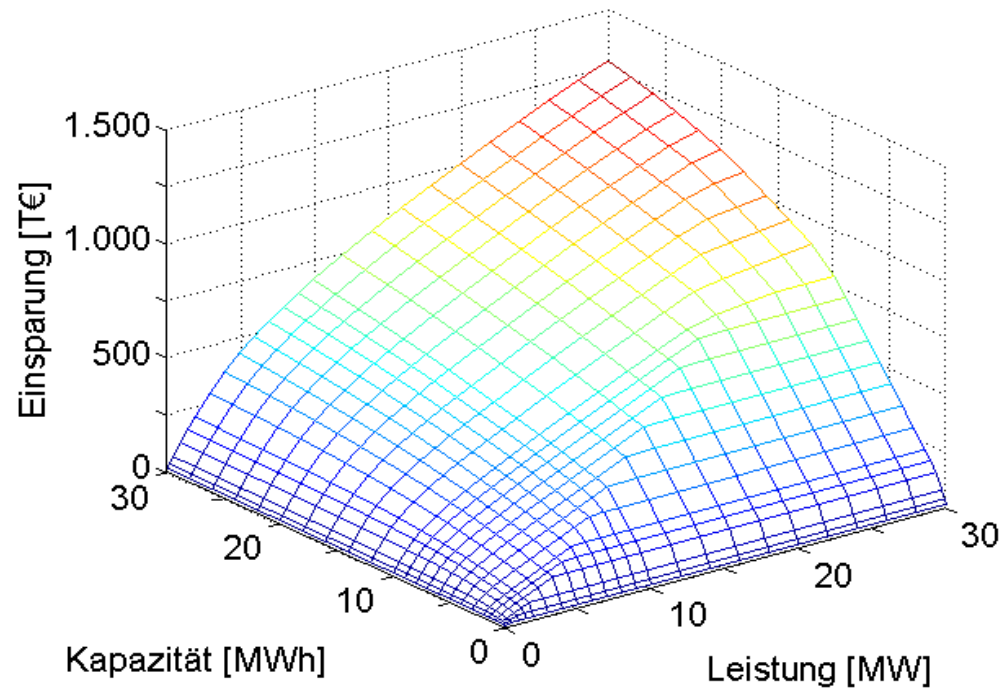
# Speichereinsatz in Fabriken - Zeitreihen



<i>Unternehmen</i>	<b>J ä h r l i c h e r</b> <b>Stromverbrauch</b>	<b>Maximale</b> <b>Last</b>	<b>Netzanschluss</b>	<b>Leistungspreis</b>
<i>Firma A</i>	600 GWh	130 MW	Hochspannung	28,94 €/kWa
<i>Firma B</i>	50 GWh	9,1 MW	Mittelspannung	68,20 €/kWa

# Speichereinsatz in Fabriken

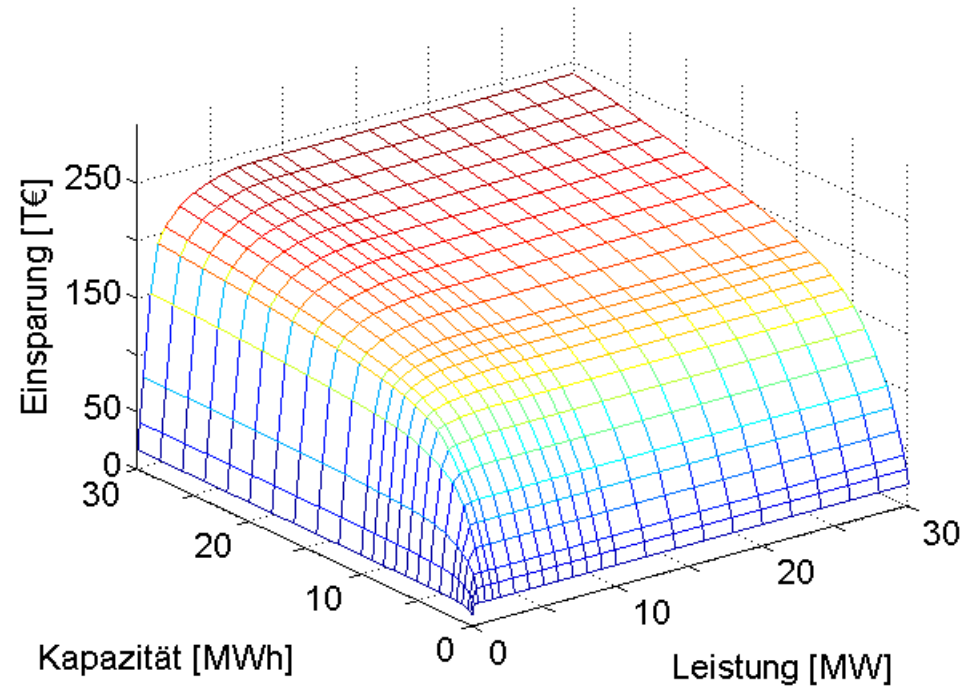
## Idealer Speicher in Firma A



<i>Kapazität</i>	<i>Leistung</i>	<b>Einsparungen bzw. Gewinn [T€] Firma A</b>
<i>5 MWh</i>	<i>1,5 MW</i>	<b>105</b>
<i>10 MWh</i>	<i>20 MW</i>	<b>726</b>
<i>30 MWh</i>	<i>10 MW</i>	<b>663</b>

# Speichereinsatz in Fabriken

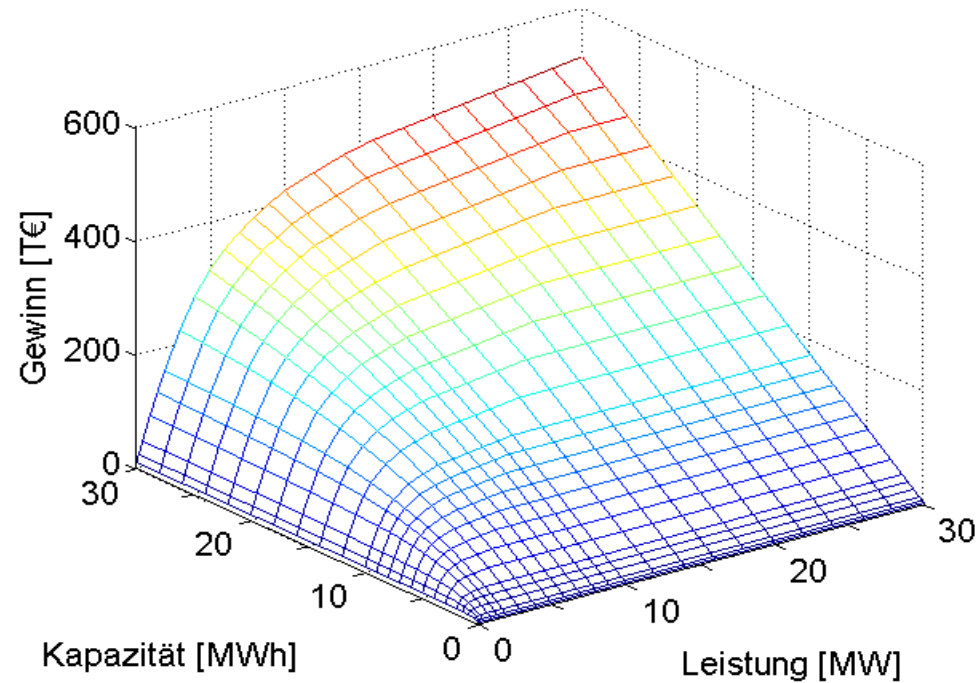
## Idealer Speicher in Firma B



<i>Kapazität</i>	<i>Leistung</i>	<b>Einsparungen bzw. Gewinn [T€]</b>	
		Firma A	Firma B
<b>5 MWh</b>	<b>1,5 MW</b>	105	<b>143</b>
<b>10 MWh</b>	<b>20 MW</b>	726	<b>185</b>
<b>30 MWh</b>	<b>10 MW</b>	663	<b>238</b>

# Speichereinsatz in Fabriken

## Idealer Speicher am Netz



<i>Kapazität</i>	<i>Leistung</i>	<b>Einsparungen bzw. Gewinn [T€]</b>		
		Firma A	Firma B	<b>Netz</b>
<i>5 MWh</i>	<i>1,5 MW</i>	105	143	<b>67</b>
<i>10 MWh</i>	<i>20 MW</i>	726	185	<b>170</b>
<b><i>30 MWh</i></b>	<b><i>10 MW</i></b>	663	238	<b>417</b>



# Speichereinsatz in Fabriken

## Vergleich verschiedener Speichertechnologien

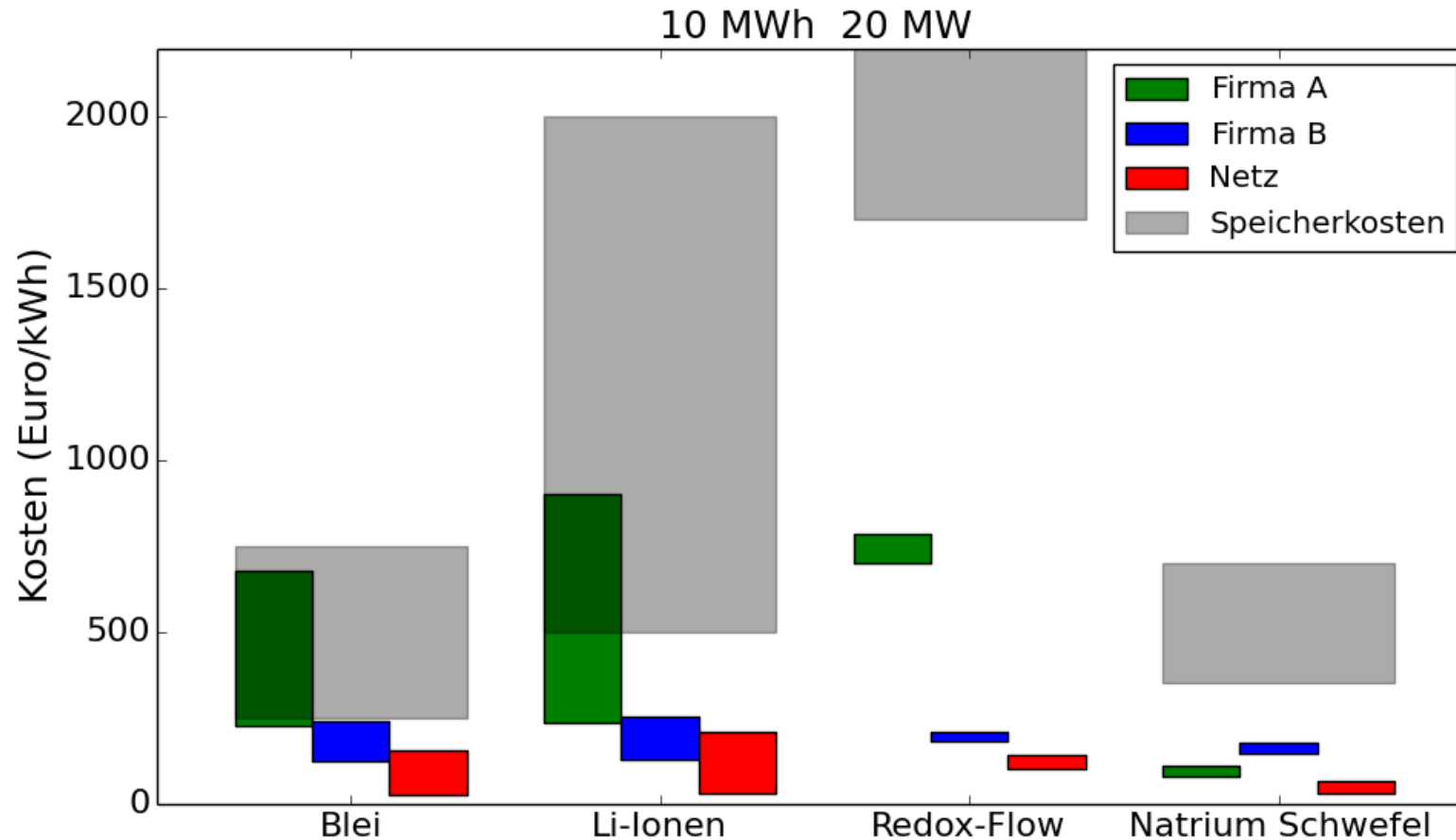
<i>Speicher- technologie</i>	Kapazitätspreis	Leistungspreis/ max. C-Rate	Nutzungs- grad	Zyklen- zahl	Selbst- Entladung
<i>Blei</i>	250-750 €/kWh	2 C	75-90 %	500-5000	3 %/m
<i>Li-Ionen</i>	500-2000 €/kWh	4 C	80-94 %	500-10000	5 %/m
<i>Redox-Flow</i>	200-500 €/kWh	1500-4500 €/kW	70-80 %	10000	<1 %/y
<i>Natrium- Schwefel</i>	350-700 €/kWh	0,12 C	75-80 %	1000-1000 0	-

### Spezifische Nutzenschwelle:

Investitionskosten werden durch Einsparungen bzw. Gewinn gedeckt

# Speichereinsatz in Fabriken

## Spezifische Nutzenschwellen



1. Motivation
2. Vorstellung FOREnergy
3. Energiebezugsorientierte Planung und Steuerung
4. Speichereinsatz in Fabriken
- 5. Zusammenfassung und Ausblick**

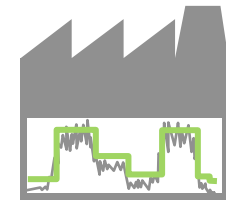
## Energiewende

- Erneuerbare Energieträger schaffen Preisunsicherheit
- Sportmarkt: Sinkende Preise, aber höhere Schwankungen
- Energieflexible Verbraucher synchronisieren Angebot und Nachfrage



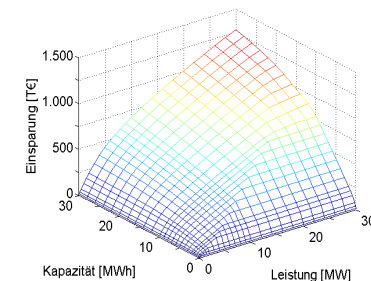
## Planung und Steuerung

- Planung und Prognose von fabrikeigenen Anlagen und Marktpreisen
- Abgleich des Produktionsbedarfs mit Energieerzeugung bzw. -bezug
- Nutzen kurzfristiger Schwankungen am Sportmarkt durch Speicher



## Speichereinsatz in Fabriken

- Größeres Wirtschaftlichkeitspotenzial als Einsatz am Netz
- Investition im Moment nicht wirtschaftlich
- Untersuchung in Kombination mit KWK



# Backup

# Backup

Kapazität	Leistung	Speicher-technologie	Spezifische Nutzenschwelle [€/kWh]		
			Firma A	Firma B	Netz
5 MWh	1,5 MW (0,6 MW) <sup>2</sup>	Blei-Säure	150 - <b>252</b>	188 - <b>366</b>	23 - 130
		Li-Ionen	152 - 283	193 - 398	24 - 167
		Redox-Flow	21 - 25	33 - 37	8 - 12
		Natrium Schwefel	172 - 201 €/kW	263 - 299 €/kW	64 - 96 €/kW
		Schwungmasse	81 - 109	152 - 185	30 - 63
		Schwungmasse	1	1	1
10 MWh	20 MW (1,2 MW) <sup>2</sup>	Blei-Säure	228 - <b>679</b>	123 - 237	26 - 154
		Li-Ionen	235 - <b>902</b>	126 - 254	27 - 209
		Redox-Flow	78 - 87	20 - 23	11 - 15
		Natrium Schwefel <sup>2</sup>	622 - 699 €/kW	159 - 184 €/kW	88 - 124 €/kW
		Schwungmasse	80 - 109	144 - 175	30 - 63
		Schwungmasse	4	1	4
30 MWh	10 MW (3,6 MW) <sup>2</sup>	Blei-Säure	130 - <b>263</b>	26 - 103	22 - 133
		Li-Ionen	134 - 299	64 - 109	25 - 173
		Redox-Flow	23 - 27	9 - 10	8 - 12
		Natrium-Schwefel <sup>2</sup>	181 - 212 €/kW	69 - 80 €/kW	67 - 99 €/kW
		Schwungmasse	80 - 108	73 - 84	30 - 63
		Schwungmasse	1	0,46	1

