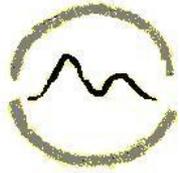


1

Digitalisierung der Energiewende

*Prof. Dr. Georg Erdmann
ehemaliger Leiter des Fachgebiets Energiesysteme
der Technischen Universität Berlin*

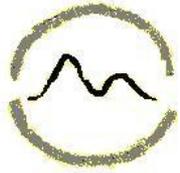
Computeria@Horgen, 29. November 2023



2

Merkmale des leitungsgebundenen Energieträgers „Elektrizität“

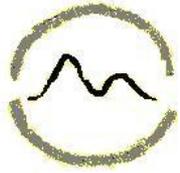
- Permanente sekundenscharfe Gleichheit zwischen Bereitstellung (Erzeugung) und Verbrauch (anders als bei Telekommunikation gibt es im Stromnetz kein Besetztzeichen)
- Keine direkte Speicherbarkeit von Elektrizität
 - in gesamtwirtschaftlich relevanten Mengen (Batterien sinnvoll, aber ihre Kapazitäten reichen nicht)
 - über längere Zeiträume (Schweizer Pumpspeicher-kraftwerke können derzeit maximal 30 Stunden)
- Stromverbundnetz (für den regionalen Lastausgleich) mit nicht-diskriminierendem Netzzugang für unabhängige Erzeuger und (bestimmte) Verbraucher



3

Was ändert sich durch die Energiewende?

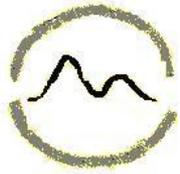
- Stromgewinnung: Wegfall konventioneller Kraftwerke, Verteilte Erzeugung (Dezentralisierung) durch intermittierende Anlagen (Flexibilität), Prosumer
- Stromübertragungsnetze: Frequenzstabilisierung, Netzengpässe
- Stromverteilnetze (hier sind die meisten erneuerbaren Erzeuger angeschlossen): Spannungsstabilisierung
- Stromkunden mit registrierter Leistungsmessung (Anreiz zur „Netzdienlichkeit“ schaffen)
- Retail-Kunden mit neuen Anwendungen für Wärme und Verkehr (Cleverer Nutzung intelligenter Zähler notwendig)



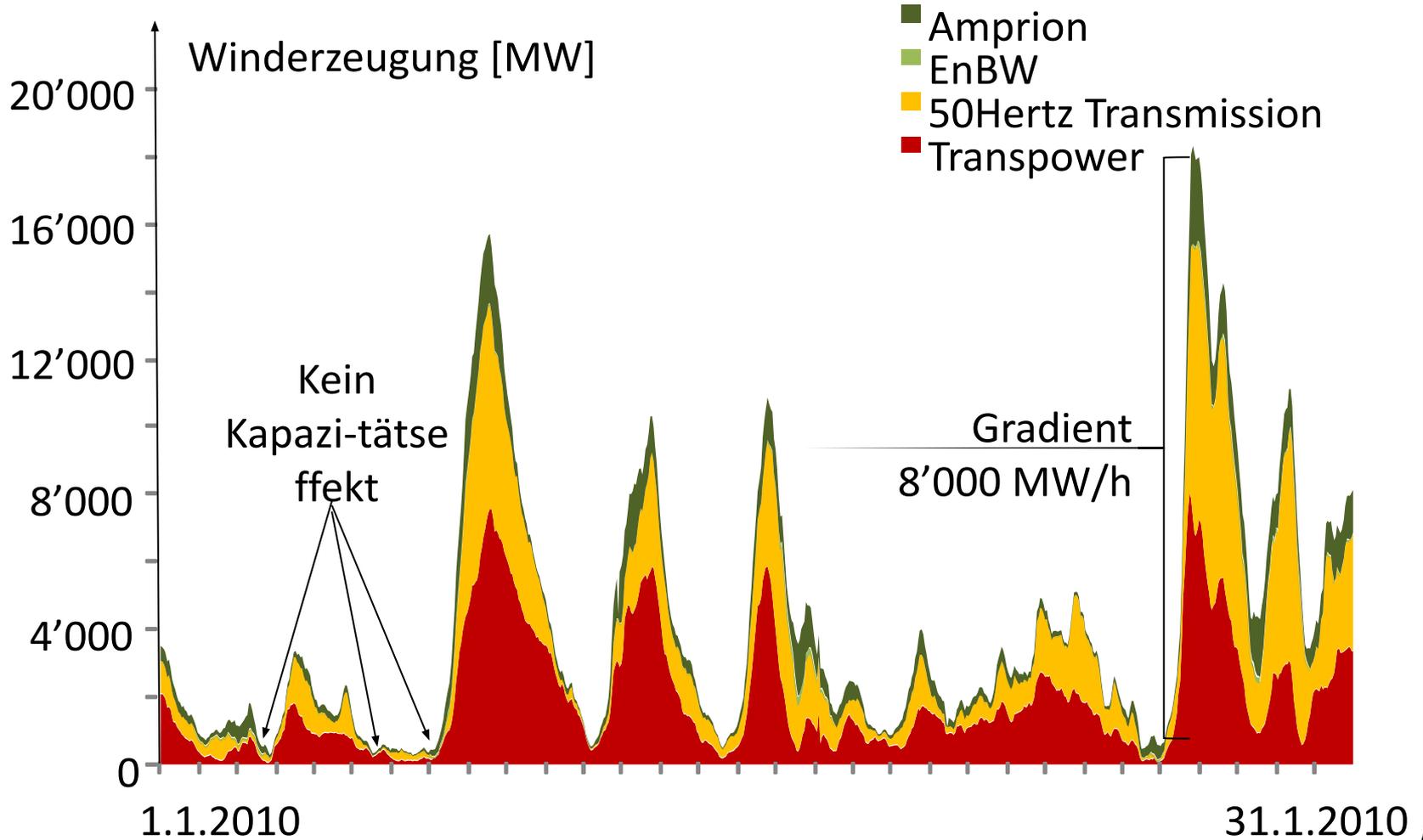
4

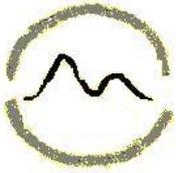
Verteilte Erzeugung in Deutschland 2016

	Anlagen zur Strom-erze- ugung	Installierte Leistung [MW]	Erzeugung [GWh]
Kernenergie	9	12'068	97'100
Kohle, Gas, Öl	890	84'893	353'700
Wind	26'206	40'456	55'970
Solar	1'547'000	38'236	34'930
Biomasse	15'499	6'867	43'000
Wasserkraft	7'513	5'590	20'500
Andere Erneuerbare	873	1'245	6'210



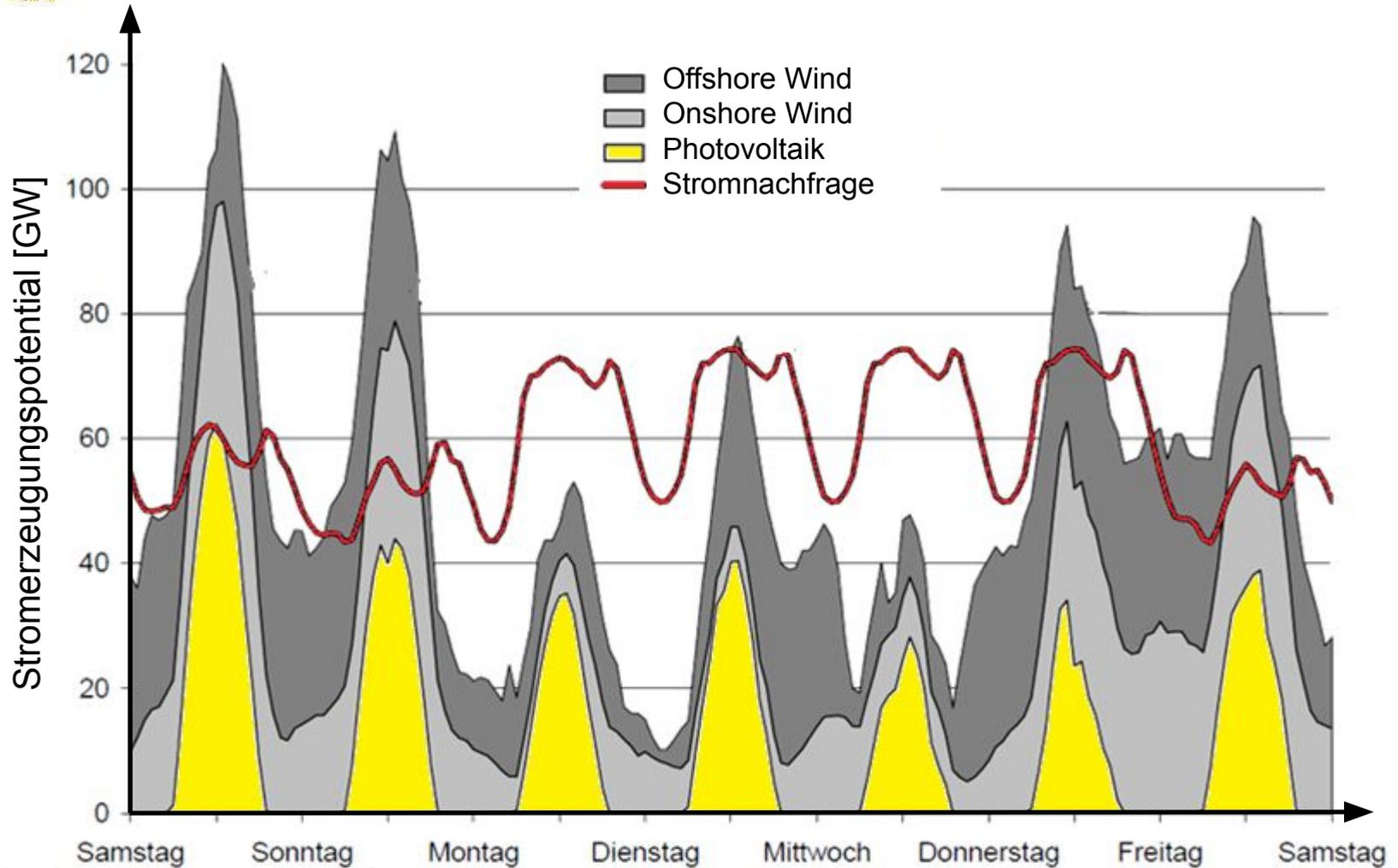
Volatilität der Windenergie [Quelle: Ehlers 2011, S. 100]

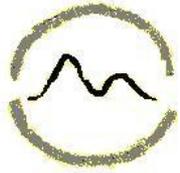




Stromerzeugung bei 100% PV- und Wind

[Beispielwoche; Quelle: Grosse Böckmann 2010]





7

Netzkunden mit registrierter Leistungsmessung

- Beispiel: Netzentgelte für RLM-Mittelspannungskunden (12-16 kV) mit einem Strombezug > 50'000 kWh

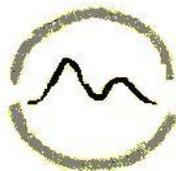
	Grundtarif [CHF/a]	Arbeitstarif [Rp/kWh] (7–21 h)	Arbeitstarif [Rp/kWh] (21–7 h)	Leistungstarif [CHF/kW/m]
BD > 3000 h	912.00	1.45	0.73	12.50
BD ≤ 3000 h	912.00	5.79	2.90	3.50

BD: Benutzungsdauer; Quelle: www.bkw.ch am 27.11.2023

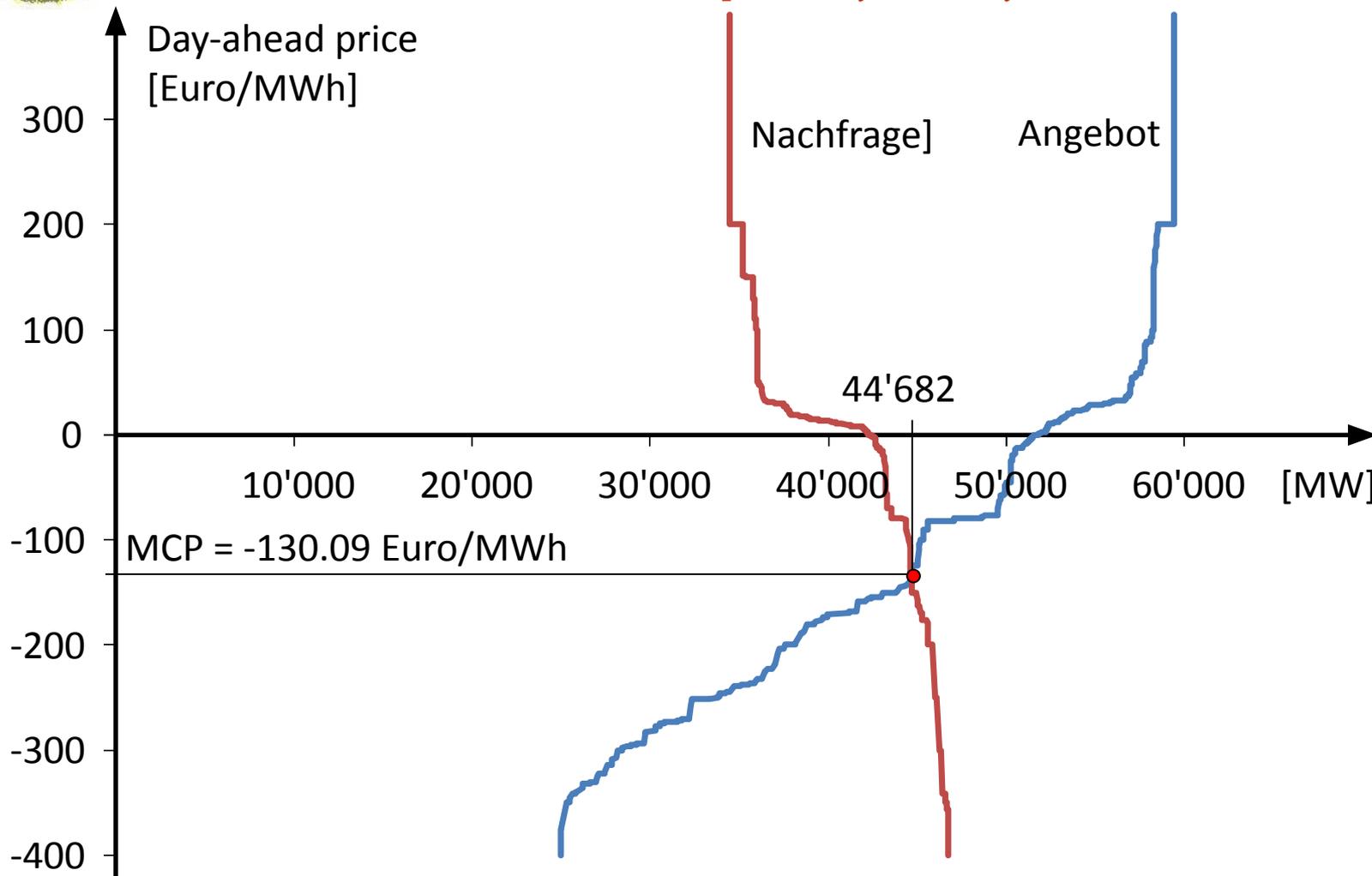
- In einem Erzeugungssystem mit einem hohen Anteil von Wind und Sonne führt diese Tarifstruktur perspektivisch zu marktschädlichem Verhalten

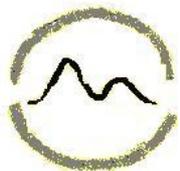
Bid and Ask Cureves at the EPEX

[Delivery Monday, 07.05.2016, 14-15 h]



8



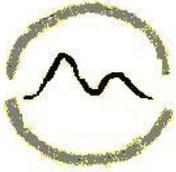


9

Negative Day-ahead Preise

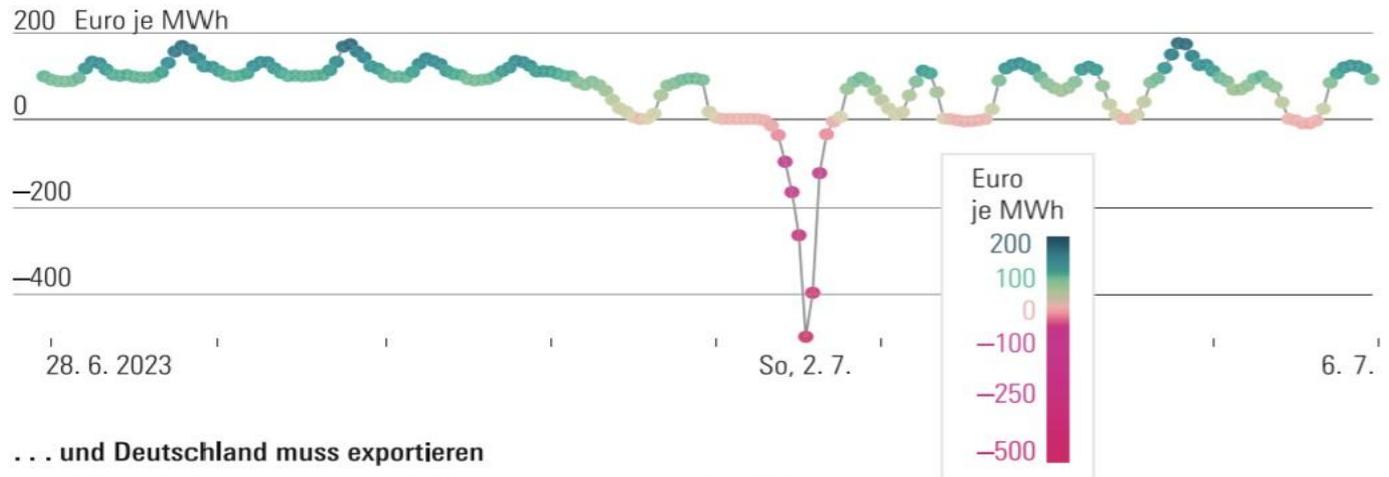
[Deutschland; Eigene Berechnungen aus EPEX-Daten]

Year	Zahl der Stunden mit Preisen ≤ 0	Minimalpreis [Euro/MWh]
2010	12	-20.45
2011	16	-38.82
2012	56	-221.99
2013	64	-100.93
2014	63	-65.03
2015	126	-79.94
2016	97	-130.09
2017	104	-83.06
2018	119	-76.01
2019 (bis 21.08.)	126	-80.69



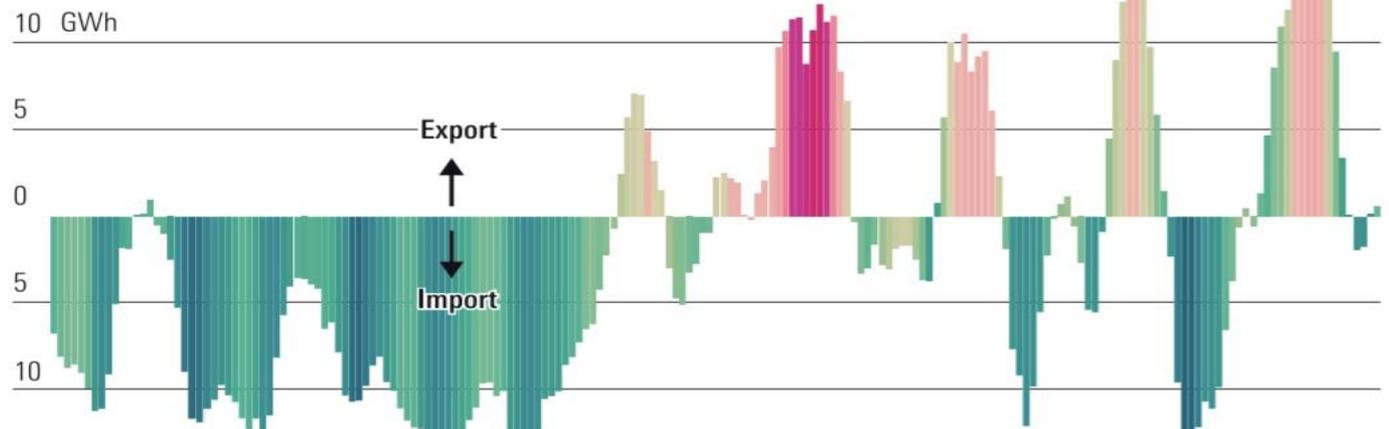
Day-ahead-Preise und Deutsche Stromexporte

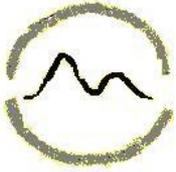
[Quelle: Aus der NZZ vom 25. November 2023]



... und Deutschland muss exportieren

Grenzüberschreitender Stromhandel Deutschlands Anfang Juli 2023





Retail-Kunden und Intelligente Zähler

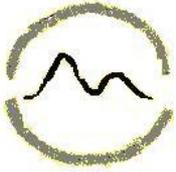
[Quelle: de.wikipedia.org]

Einführung intelligenter Zähler („*smart meter*“) für Standard-lastprofil-Kunden (SLP-Kunden)

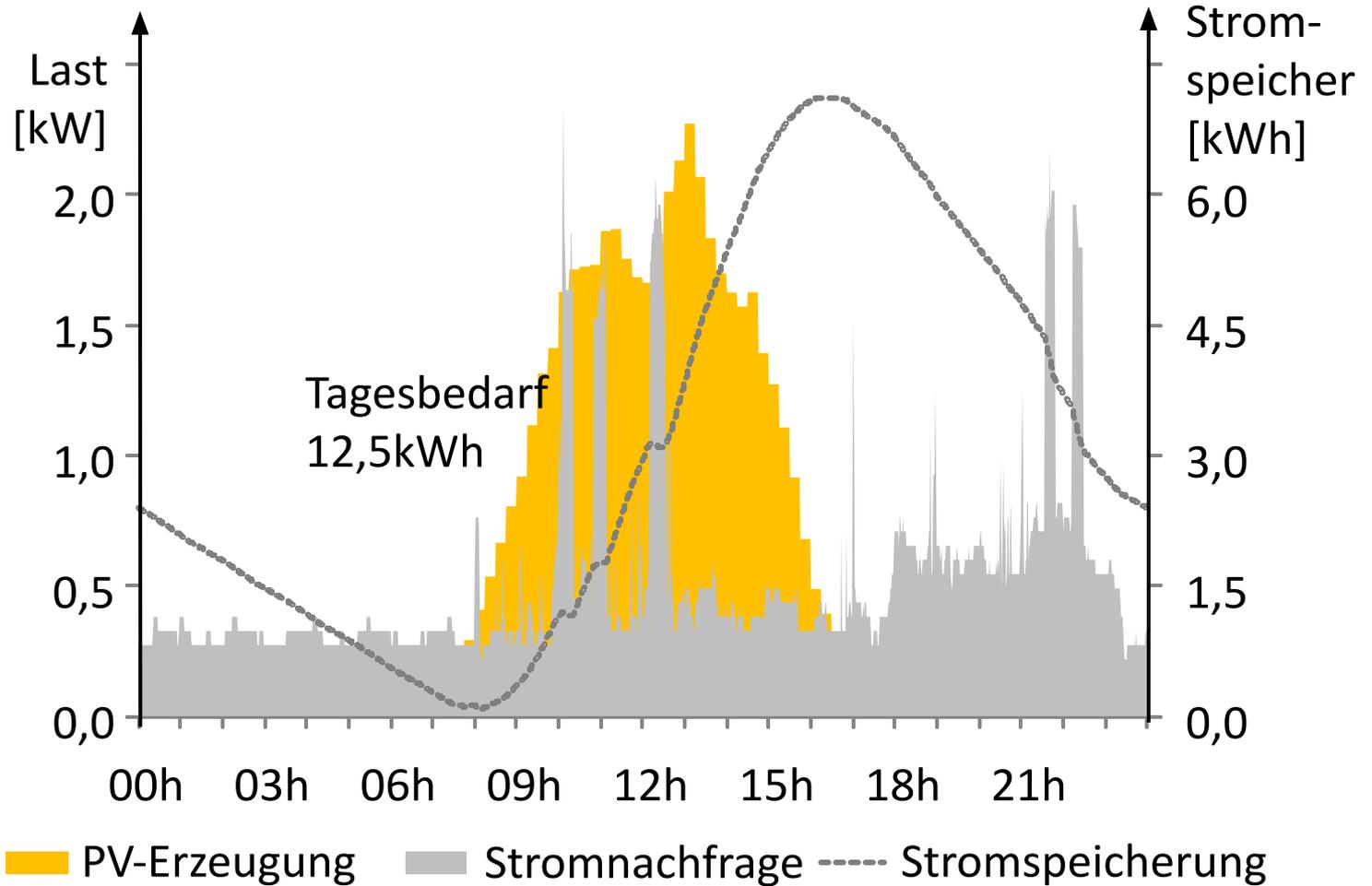
Die Zähler messen und speichern den Stromverbrauch **in 15-Minuten-Intervallen** (35'000 Datenpunkte p.a.)

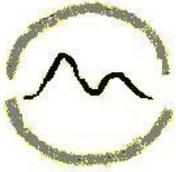
Bei einer sicheren Internet-Verbindung zum Energie-versorger kann der Zähler fern-ausgelesen werden. Damit entfallen die Kosten für die manuelle Ablesung.



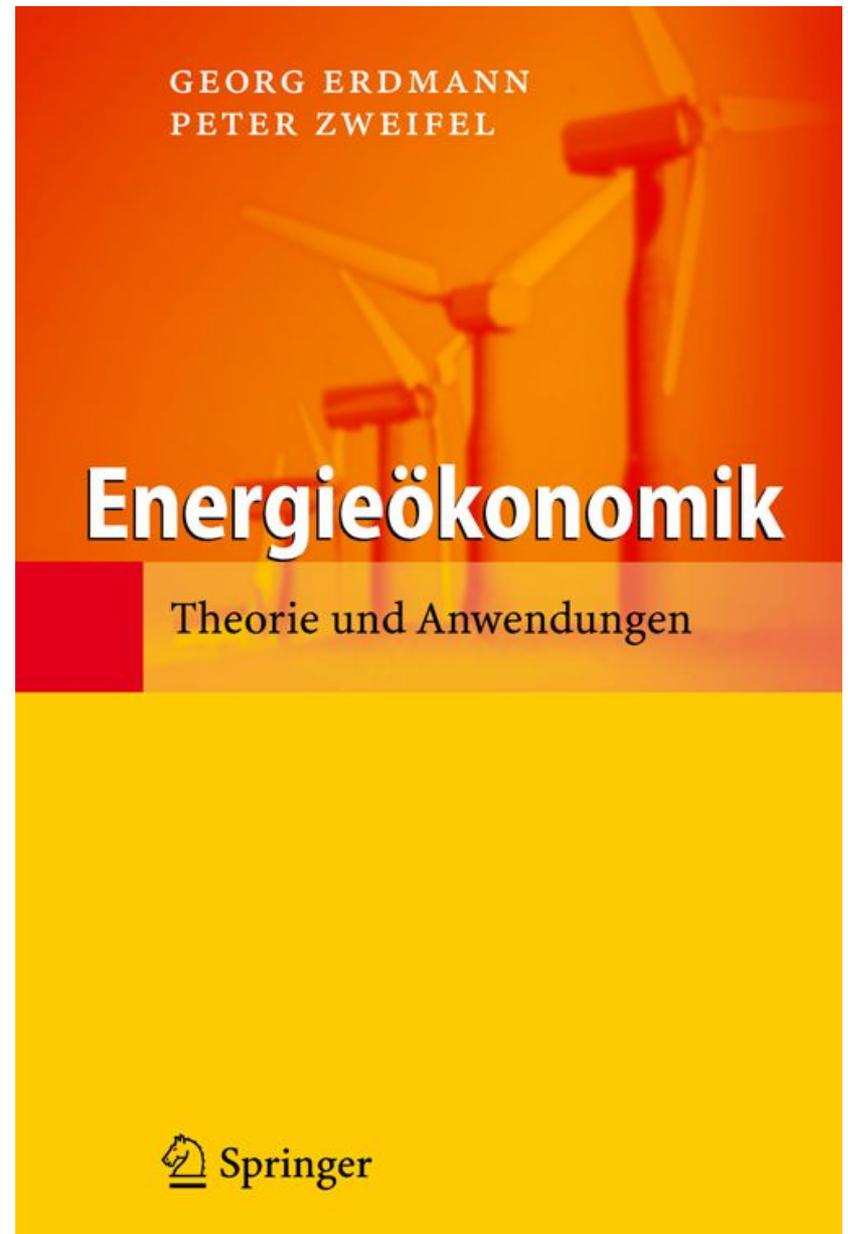


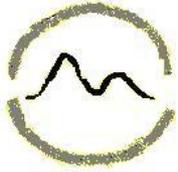
Simulation eines fiktiven Einfamilienhauses





Vielen Dank!





Gosshandelsmärkte für Elektrizität

OTC Forwards
(kontinuierlich)

EEX Futures
(kontinuierlich)

Jahres-, Quartals-,
Monats- und
Wochenblöcke

OTC: Over the Counter

Auktion für
Reserve /
Regelenergie
(Pay-as-Bid)

Gate closure
um 10 h
am Tag vor
Lieferung

EPEX Day-
ahead Auktion
(uniform
price)

Stundenblöcke
gate closure
um 12 h
am Tag vor
Lieferung

EEX
Intraday
(kontinuierlich)

15 min-Blöcke
gate closure
7 min vor
Lieferung