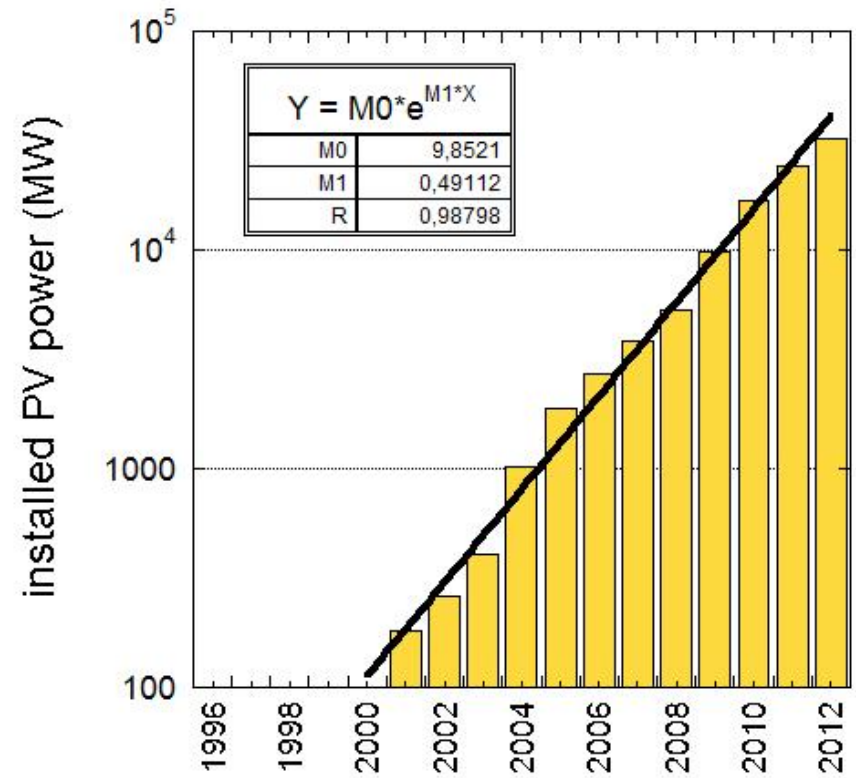
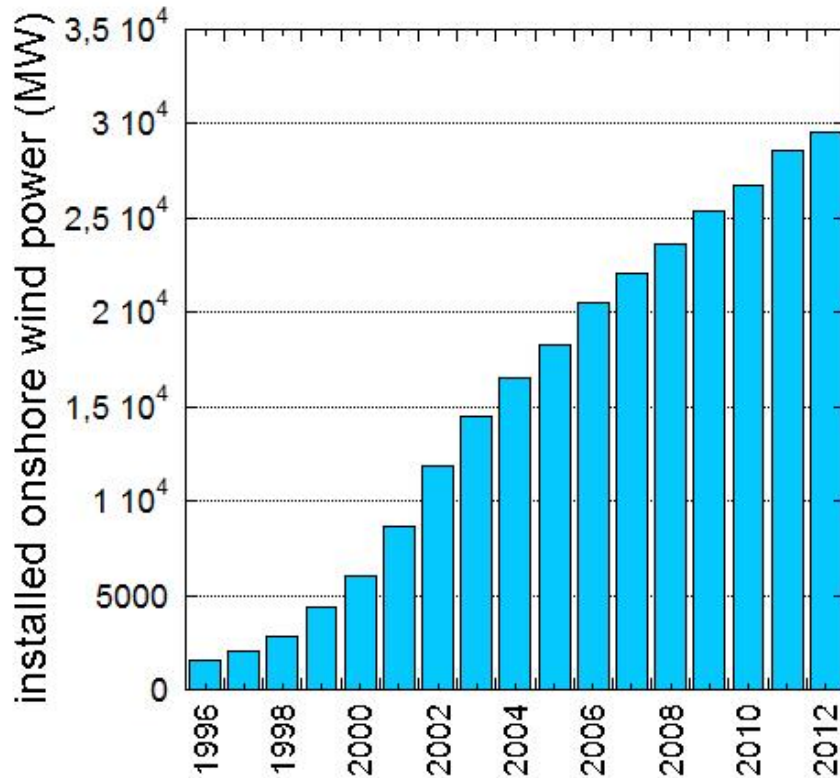




Eigenschaften einer Stromversorgung mit variabler Einspeisung

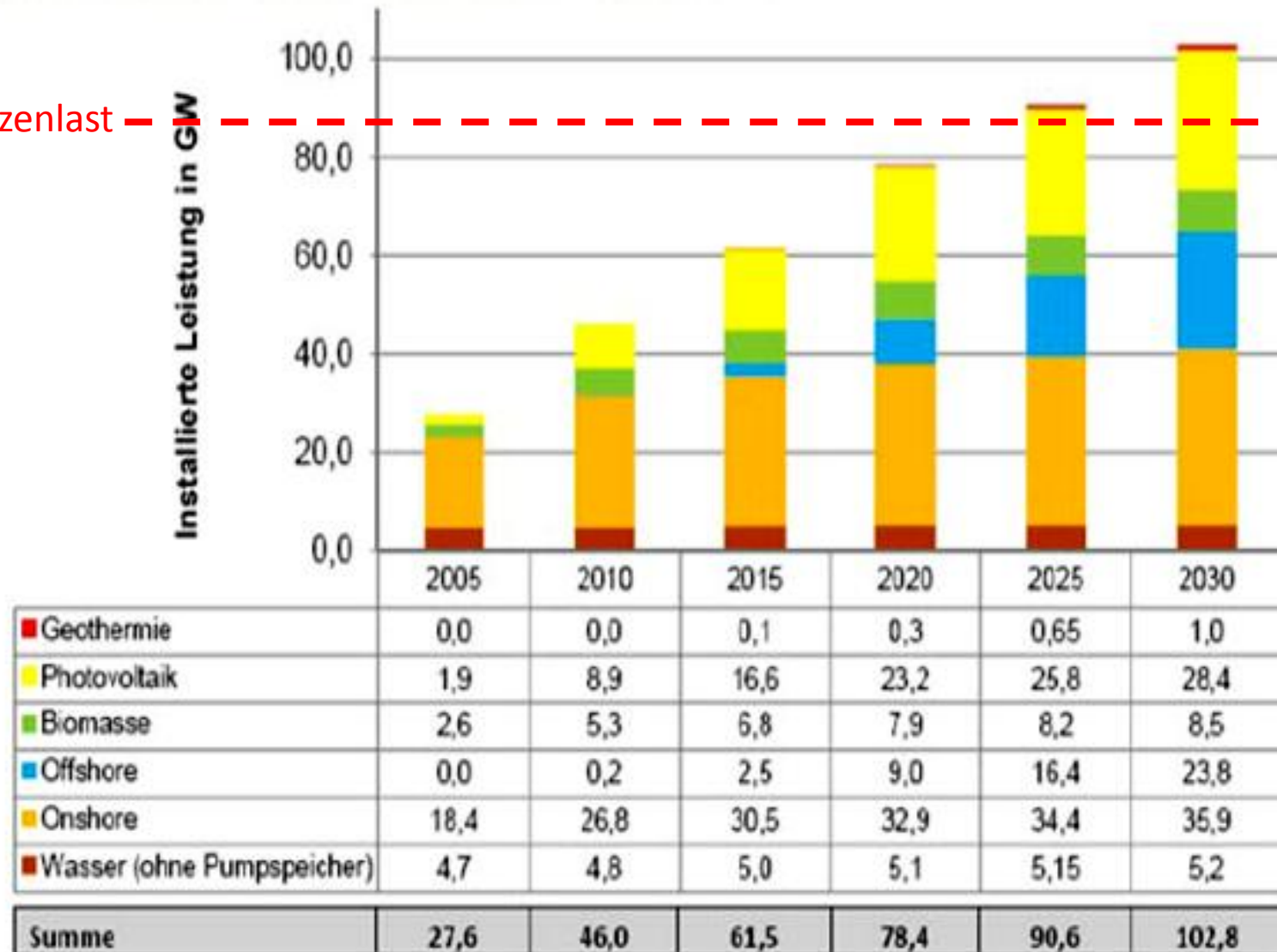
F. Wagner,
Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Greifswald

Wind und PV Entwicklung



Leitszenario BMU, 2009

Spitzenlast

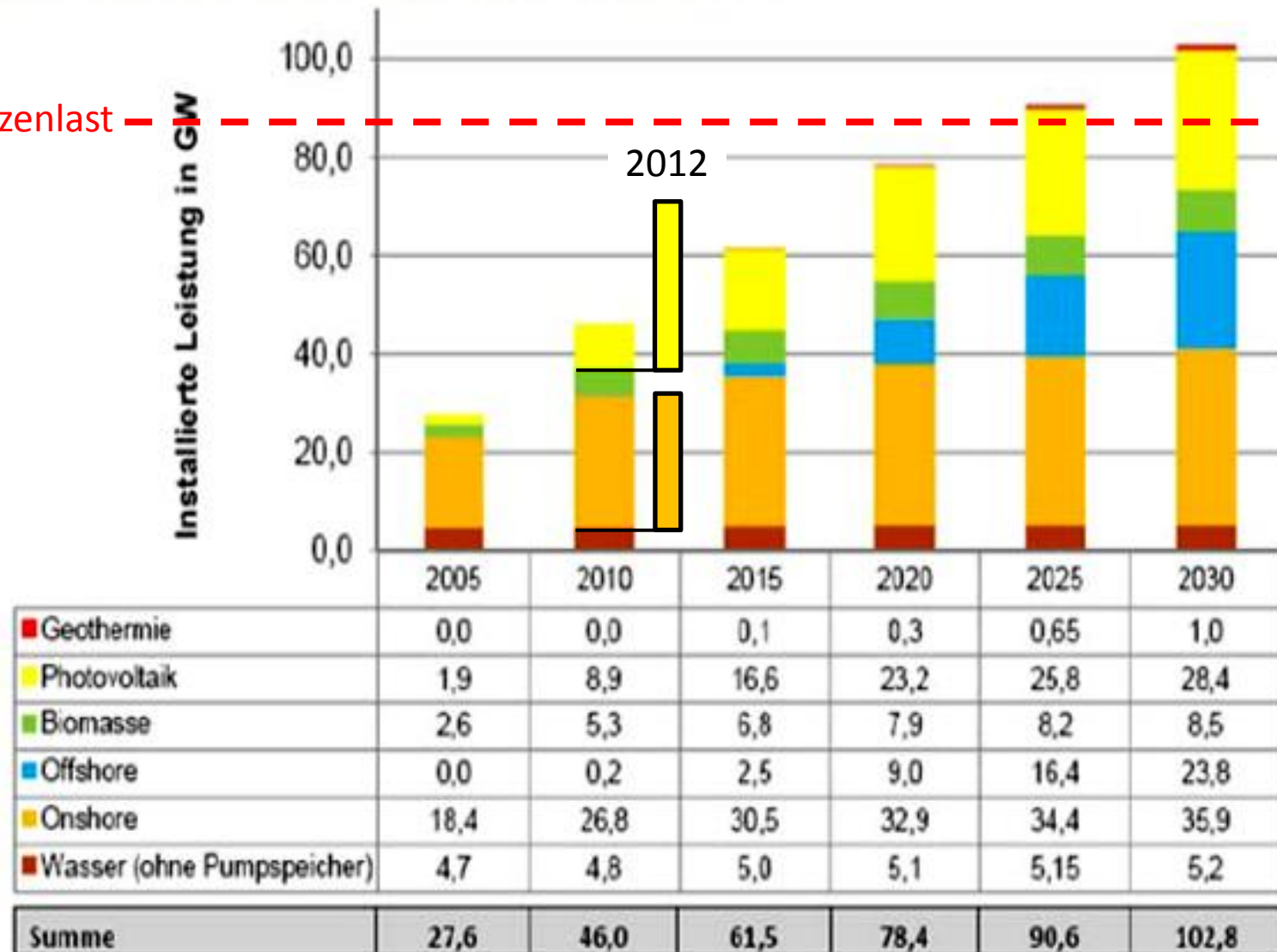


Quelle: Leitszenario 2009 (BMU 2009).



Ausbau-Realität 2012

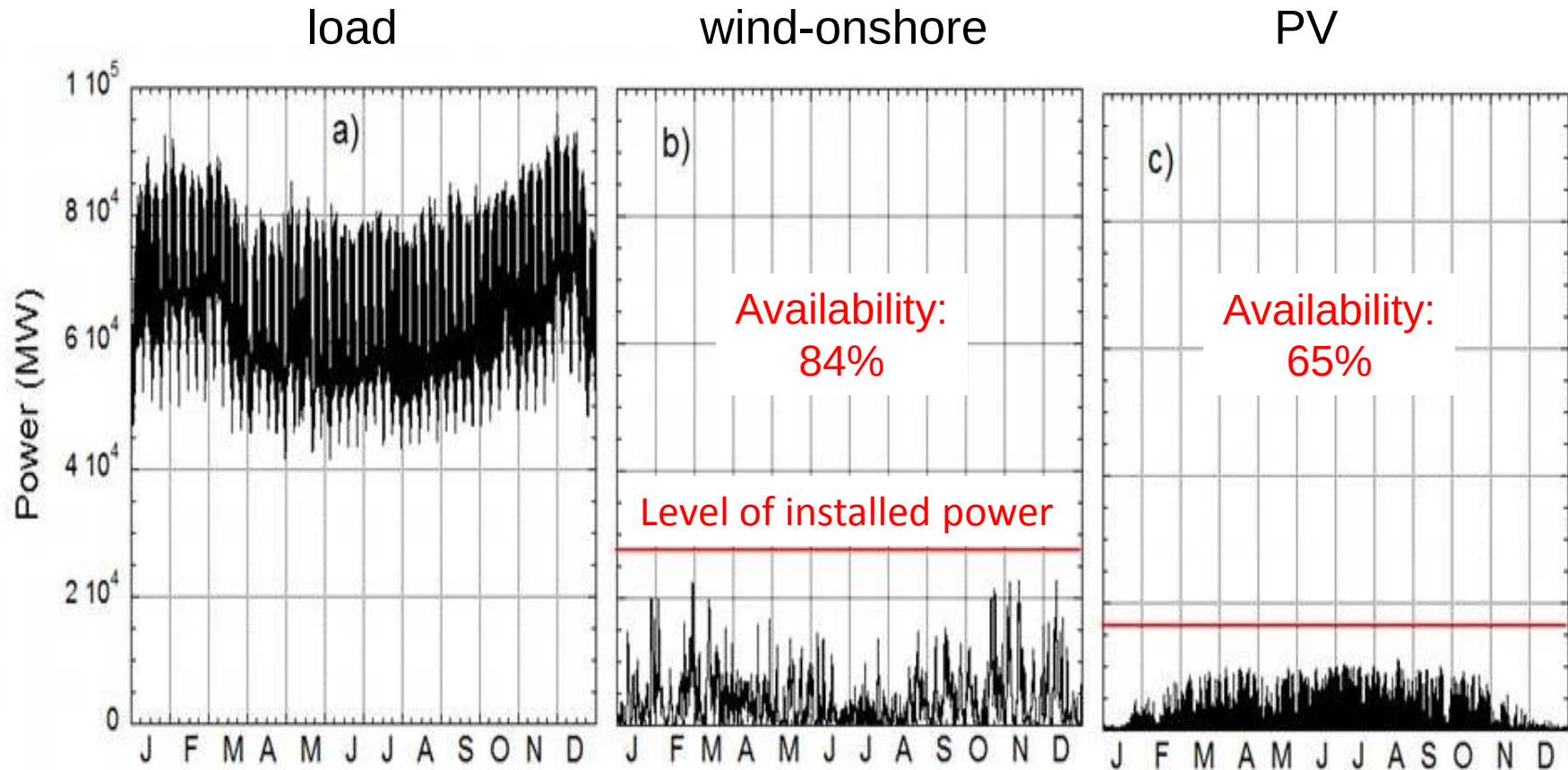
Spitzenlast



Quelle: Leitszenario 2009 (BMU 2009).

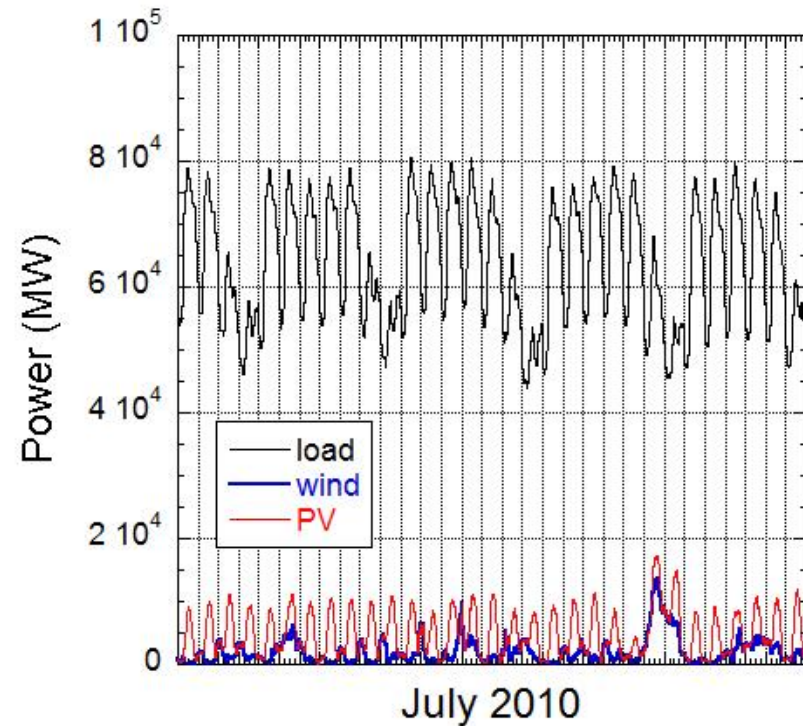
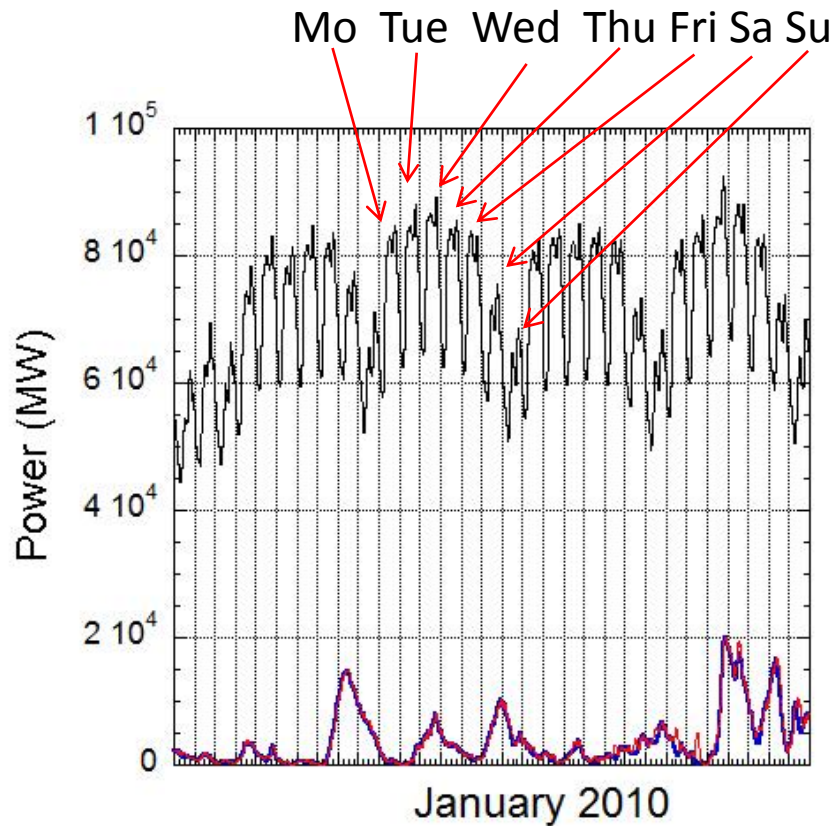


2010 input data: load, Won, PV





Input data in more detail: January and July



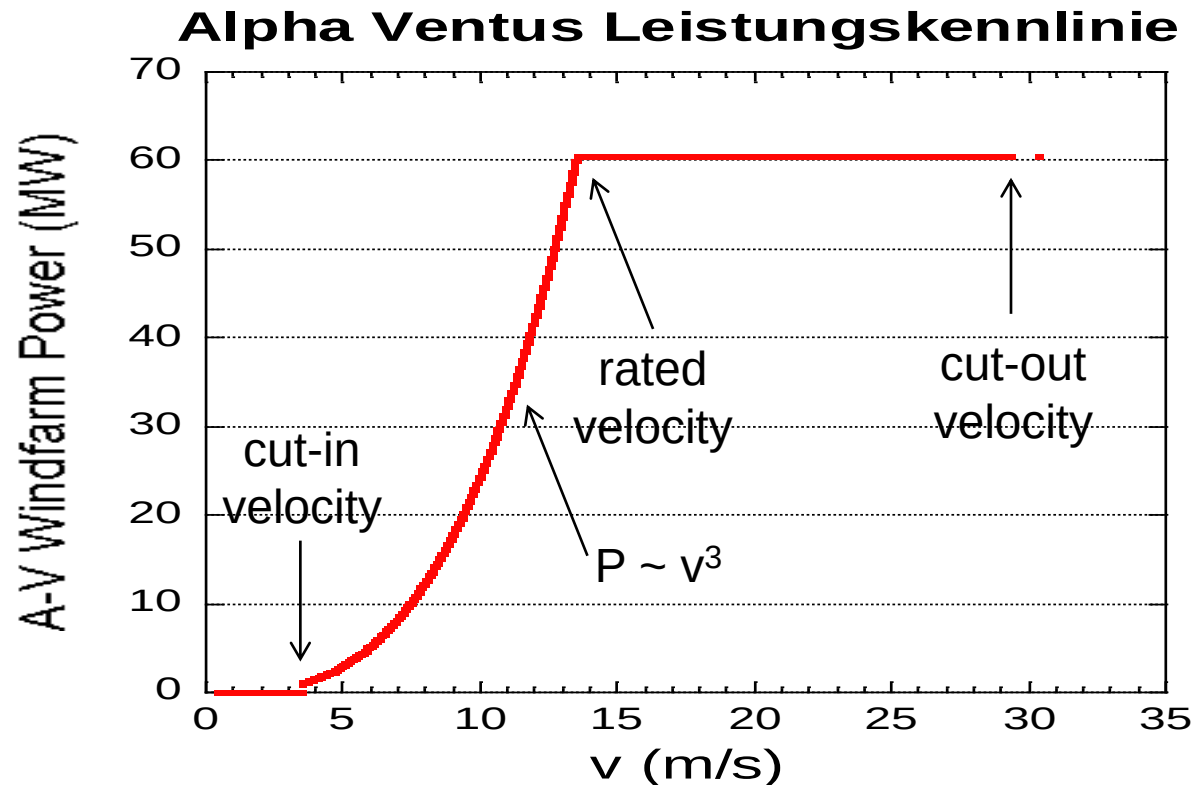


Konstruktion der Ausgangsdaten

Last: Entsoe (1h Auflösung); Tennet (15 min Auflösung)

Onshore, PV: Tennet 15 min;

Offshore: Berechnet aus FINO3 Geschwindigkeitsdaten, angebunden an Alpha-Ventus





Annahmen

Netto-Stromerzeugung: 588 TWh

Strom aus Wasser und Abfall
bleiben konstant

Biomasse nicht betrachtet:
Nutzung im Flugverkehr

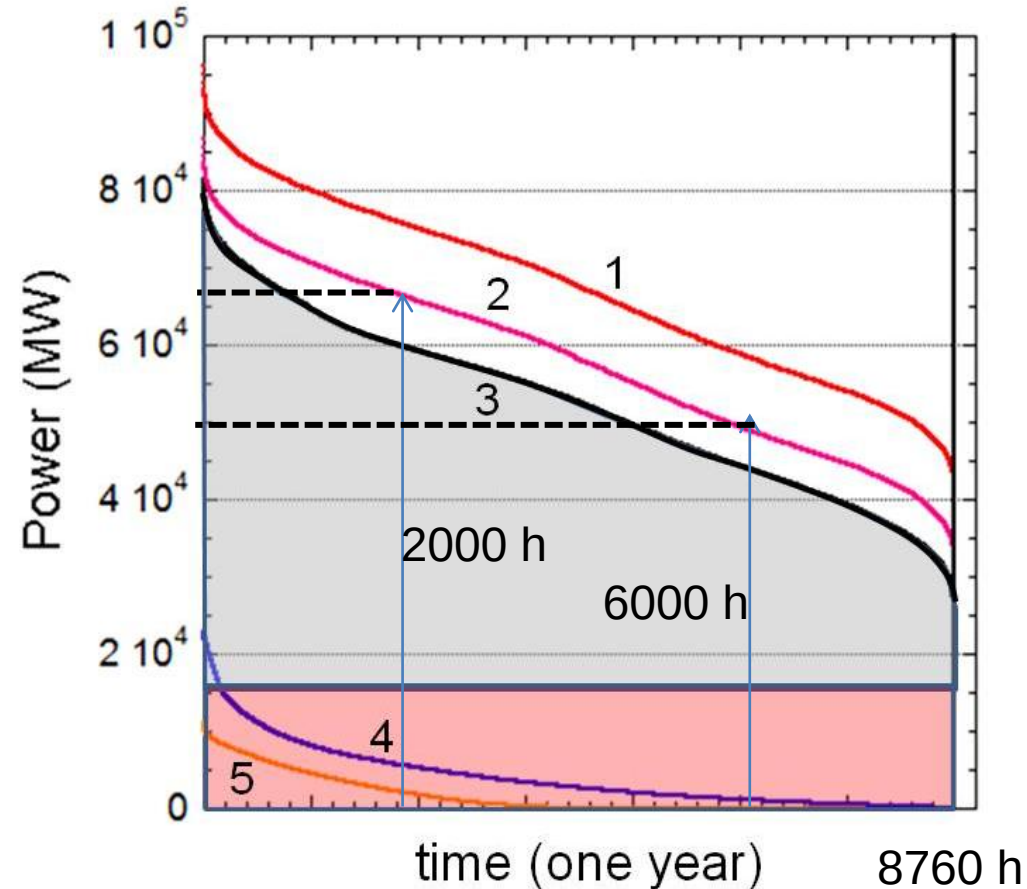
Keine Verluste betrachtet

Import nicht betrachtet

$W_{on} = 2/3 W_{wind}$

$W_{off} = 1/3 W_{wind}$

Jahresdauerkurven



1: Last

2: reduzierte Last

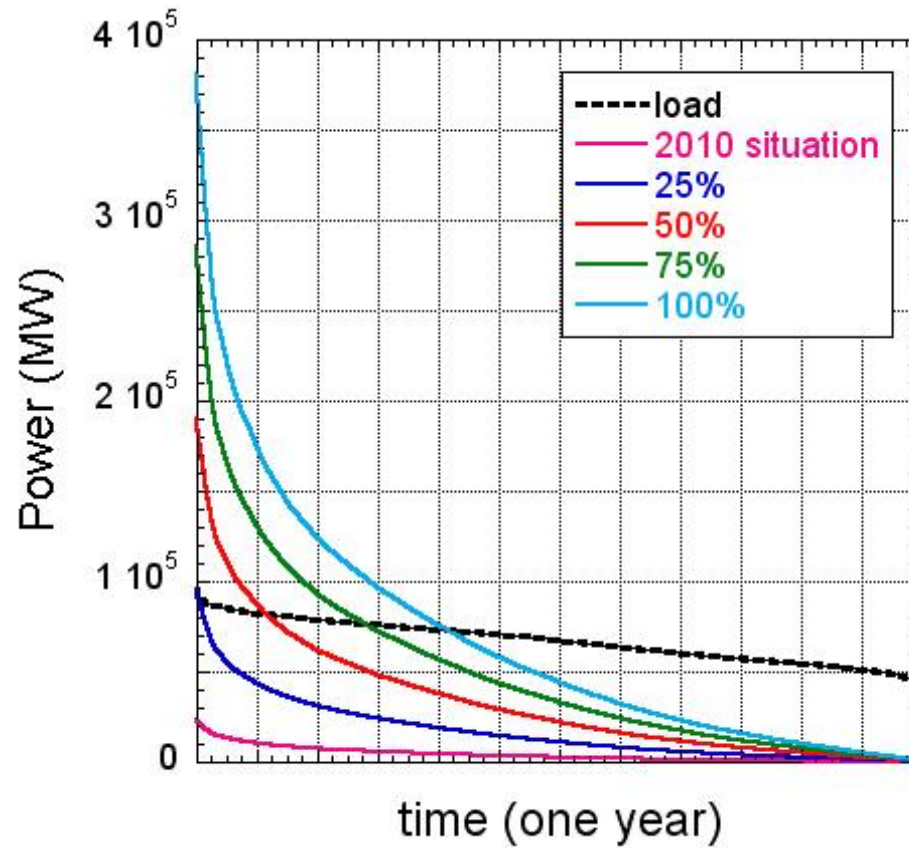
3: Residual-Last (Beitrag back-up Systeme)

4: W_{on}

5: PV



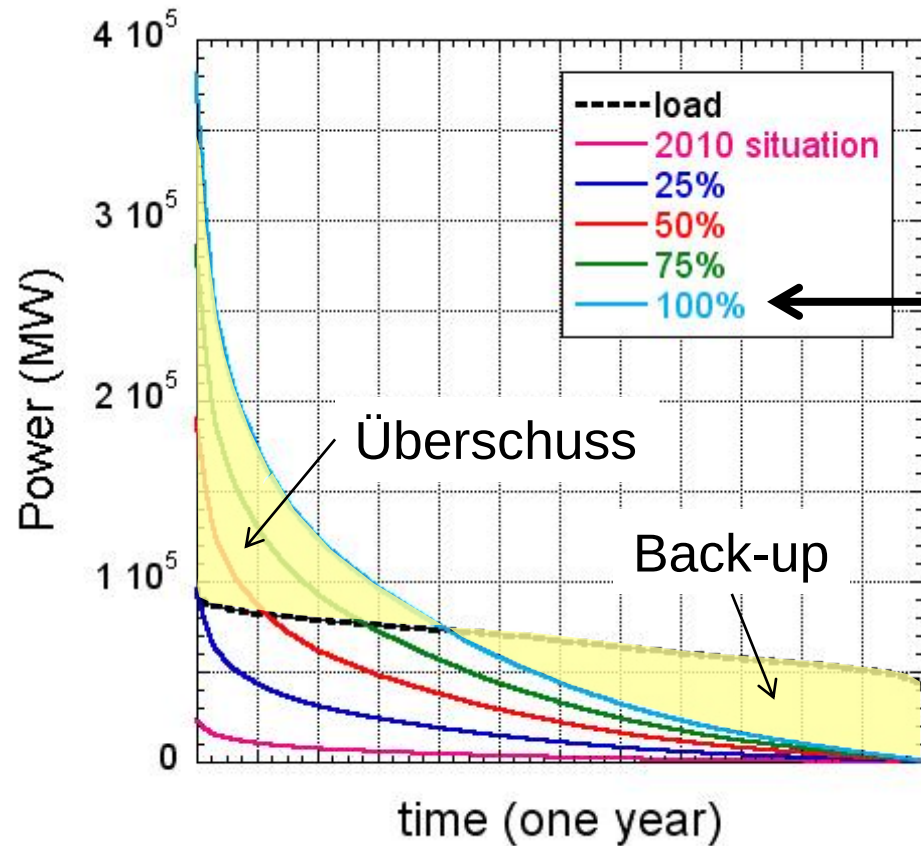
Skalierung der Daten: Won



Problem der EE:
Überschuss-Produktion



Skalierung der Daten: Won



1. Sonderfall:
„equal energy case“

Überschuss in Speicher

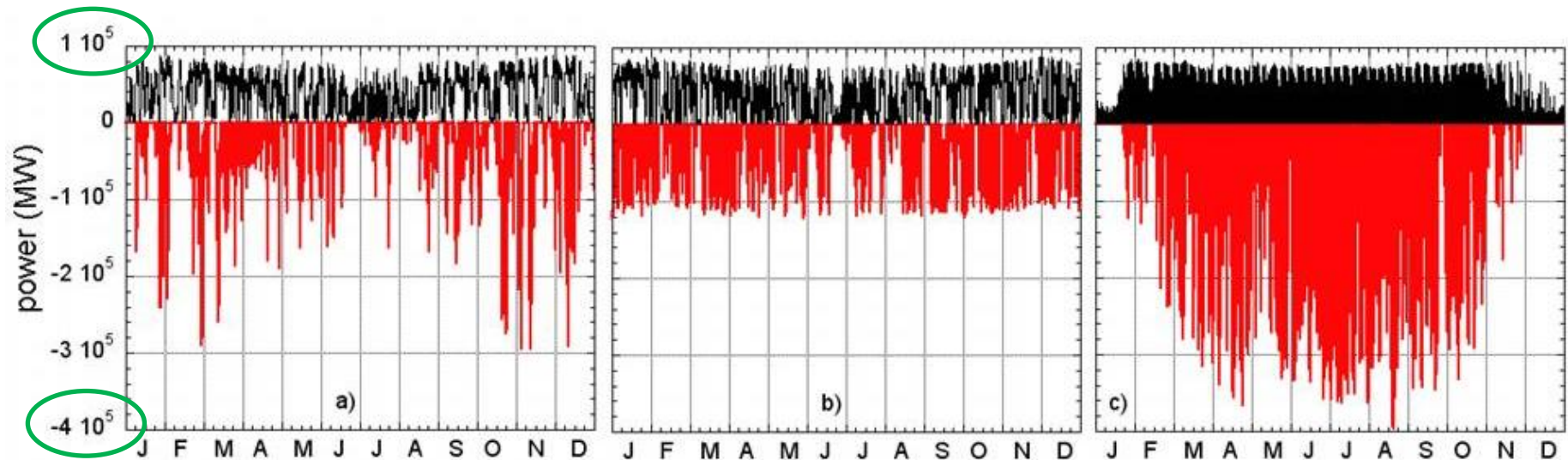
1. Equal energy case

Die gesamte reduzierte Last wird durch EE erzeugt
...für jede Stromquelle separat

wind - onshore

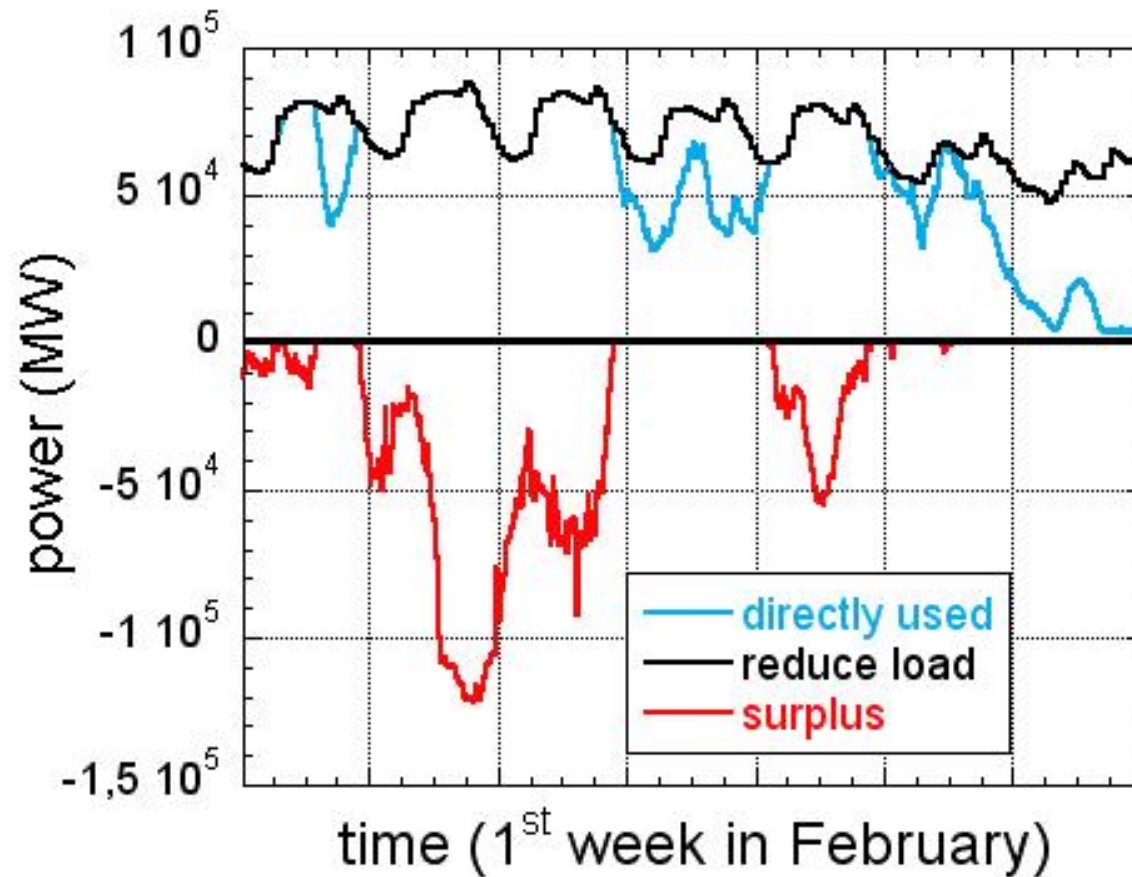
wind-offshore

PV

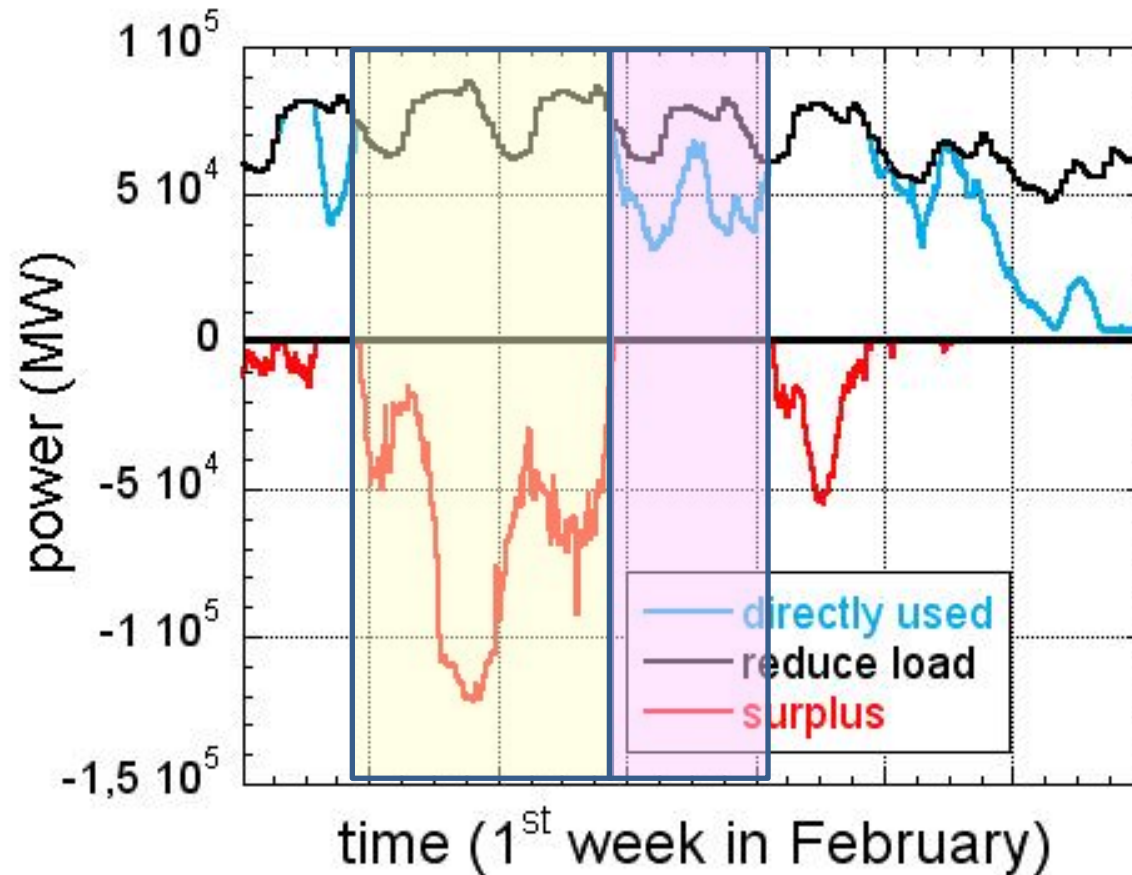




Equal energy case



Equal energy case



- produziert Überschuss
- braucht back-up Kraftwerke



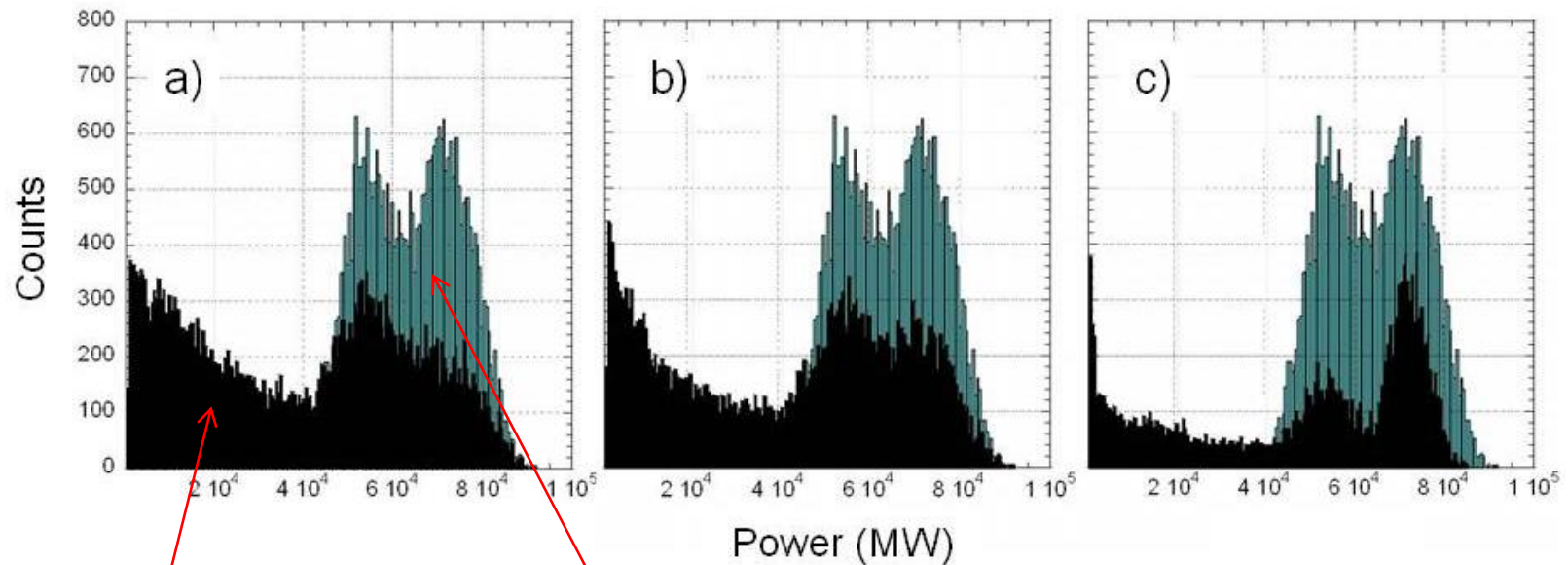
Eigenschaften der Versorgung mit EE

„equal energy case“

wind - onshore

wind-offshore

PV

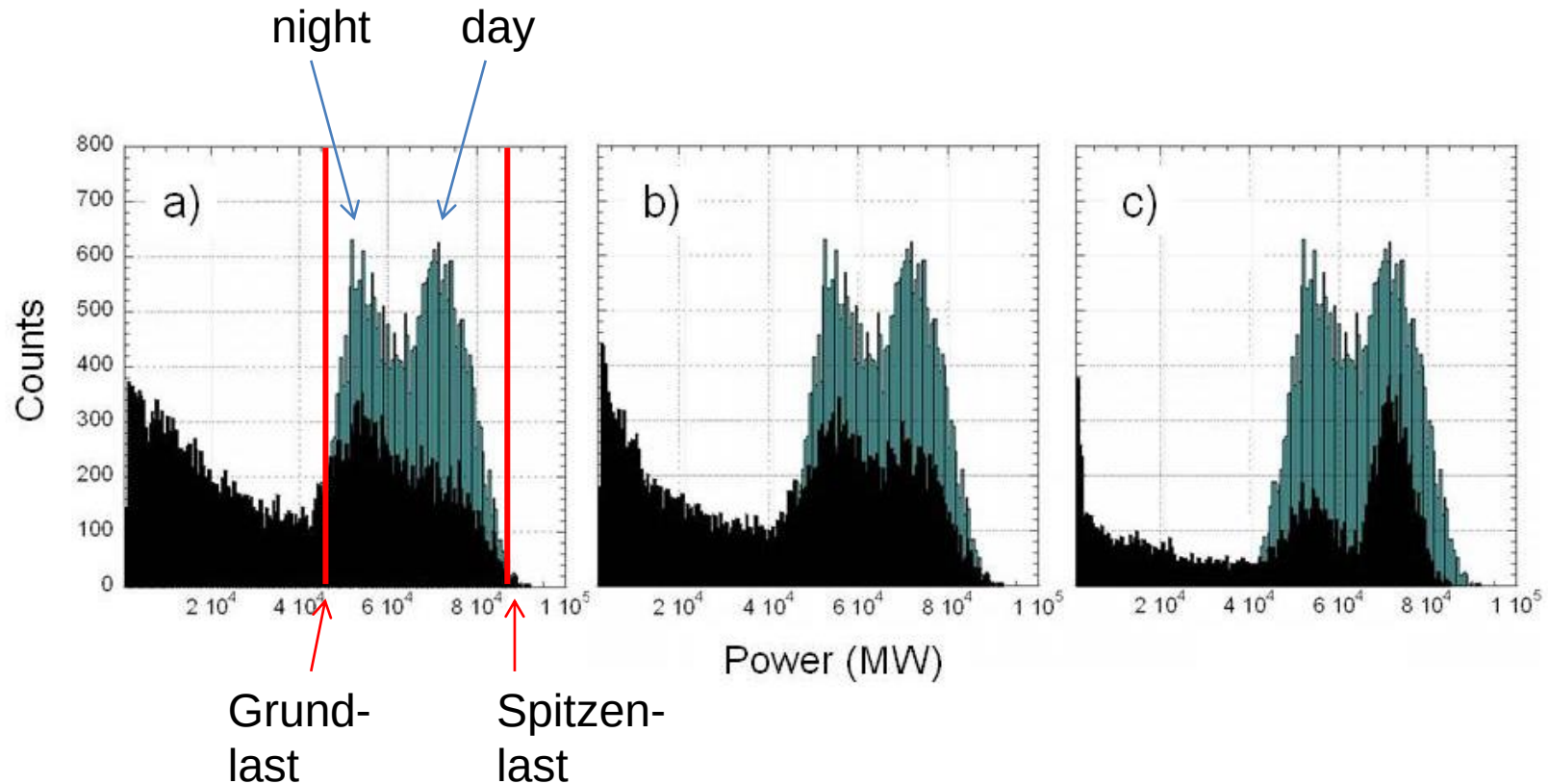


Direkte Einspeisung Last



Eigenschaften der Versorgung mit EE

„equal energy case“





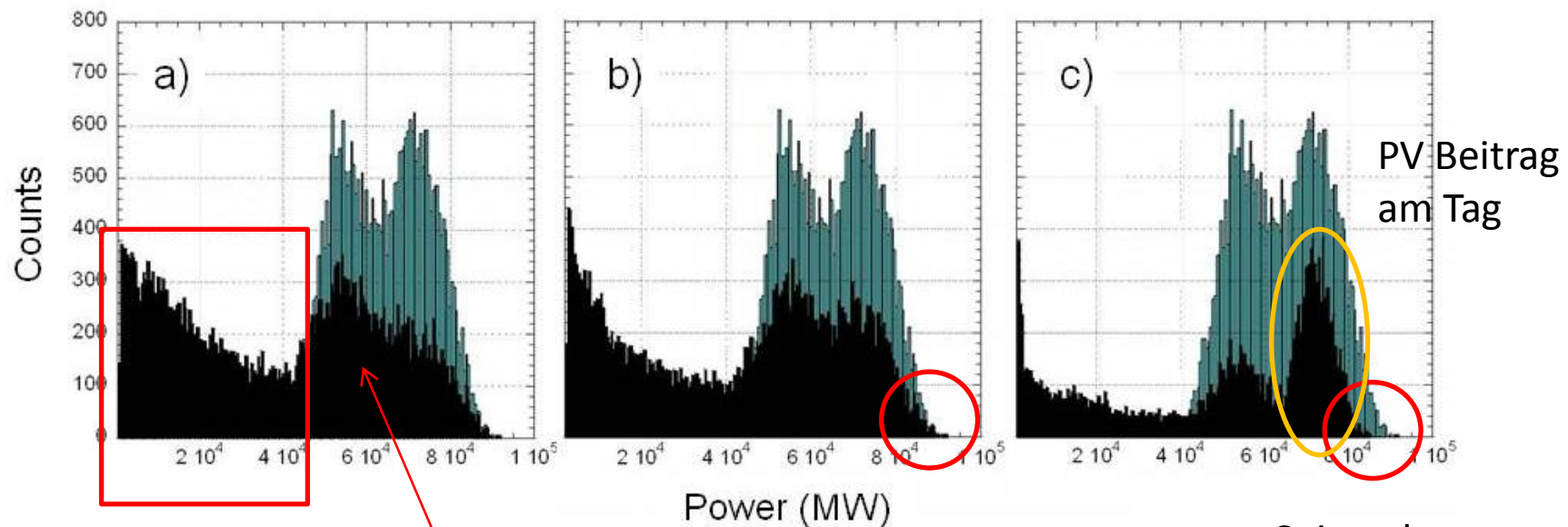
Eigenschaften der Versorgung mit EE

„equal energy case“

wind - onshore

wind-offshore

PV



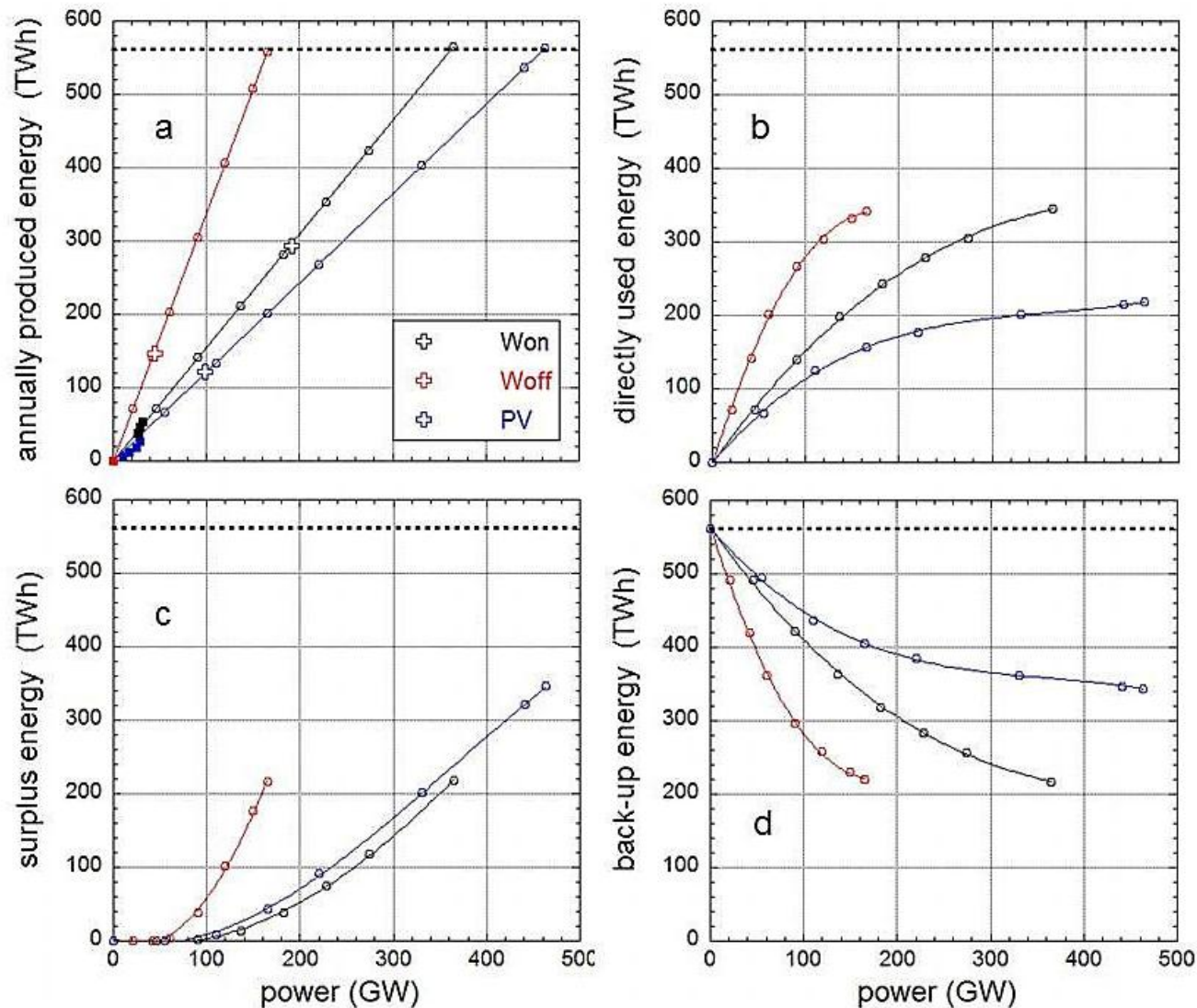
EE Beiträge
kleiner als Last

Überschuss füllt
das Leistungsband des Last

Spitzenlast
Im Winter



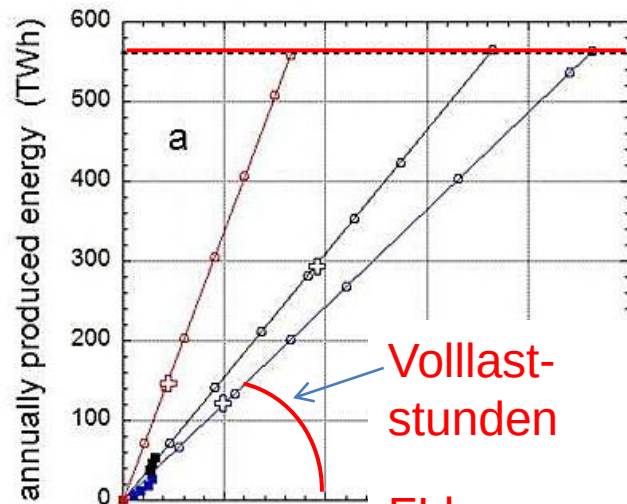
Zusammenfassung: „equ. energy case“





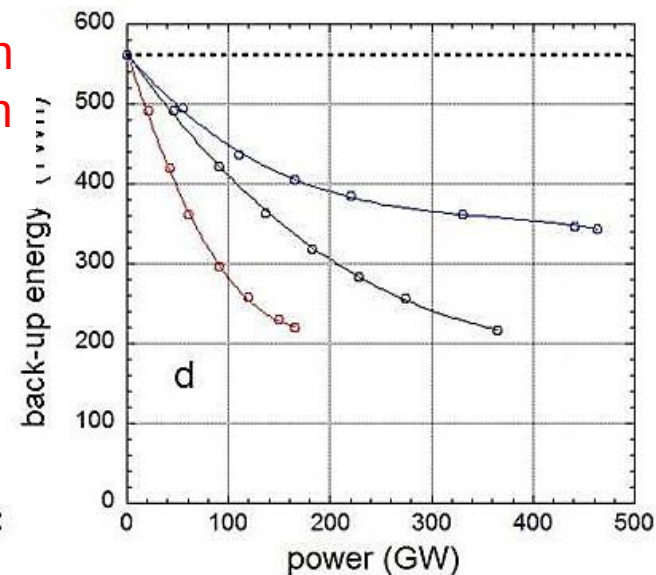
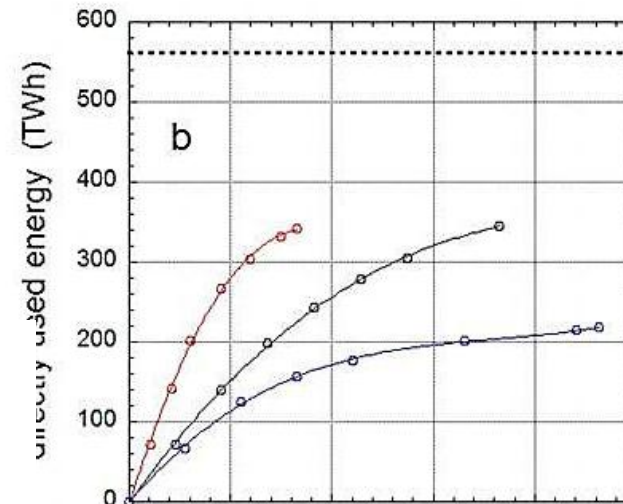
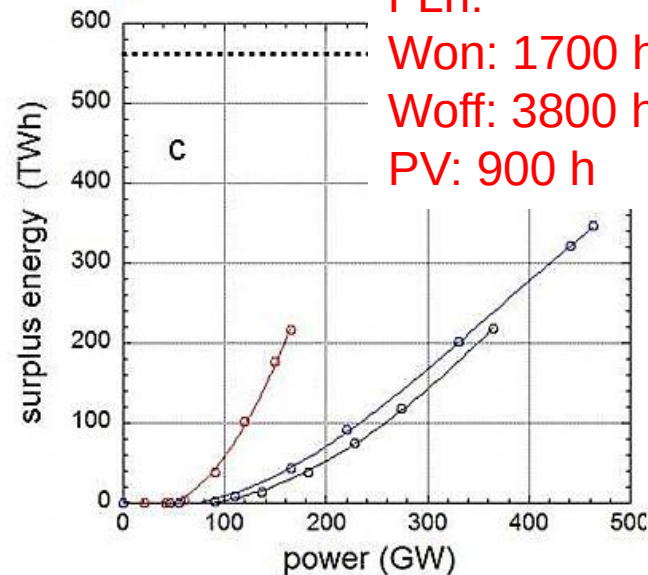
Zusammenfassung: „equ. energy case“

Nett-Strom
Erzeugung



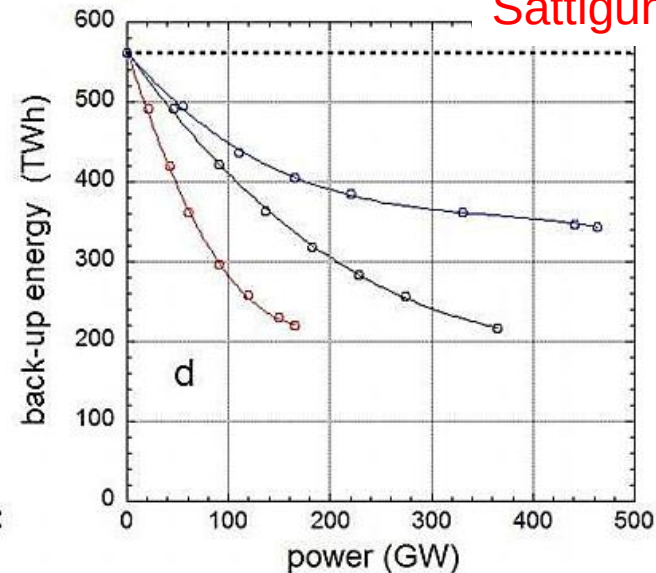
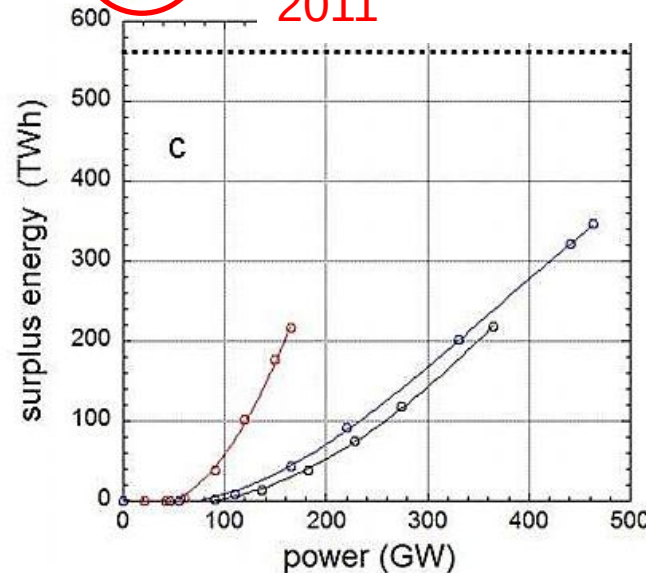
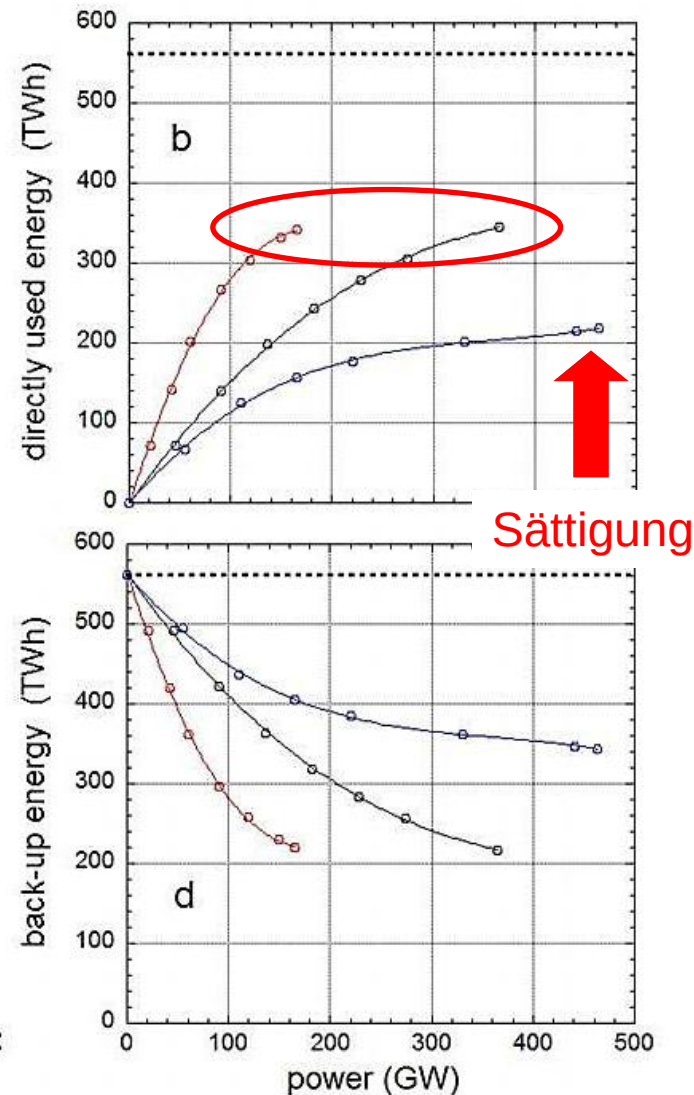
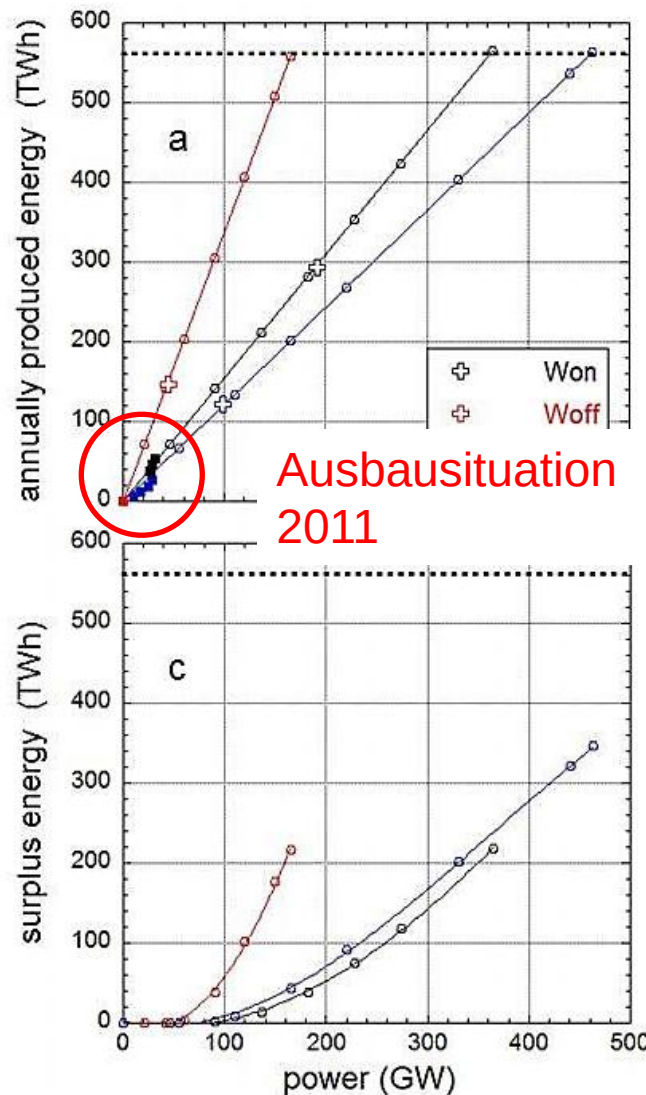
Volllast-
stunden

FLh:
Won: 1700 h
Woff: 3800 h
PV: 900 h



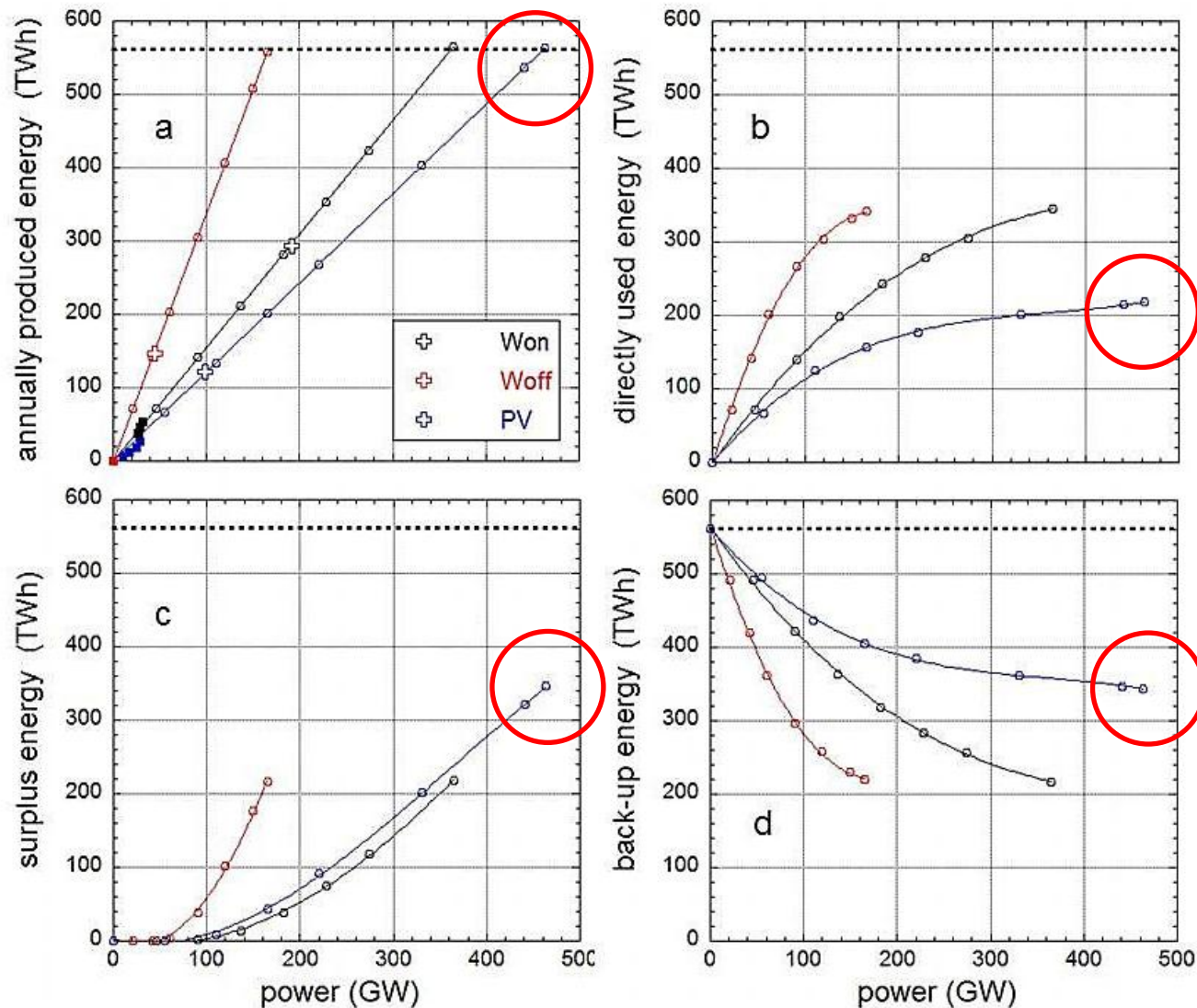


Zusammenfassung: „equ. energy case“



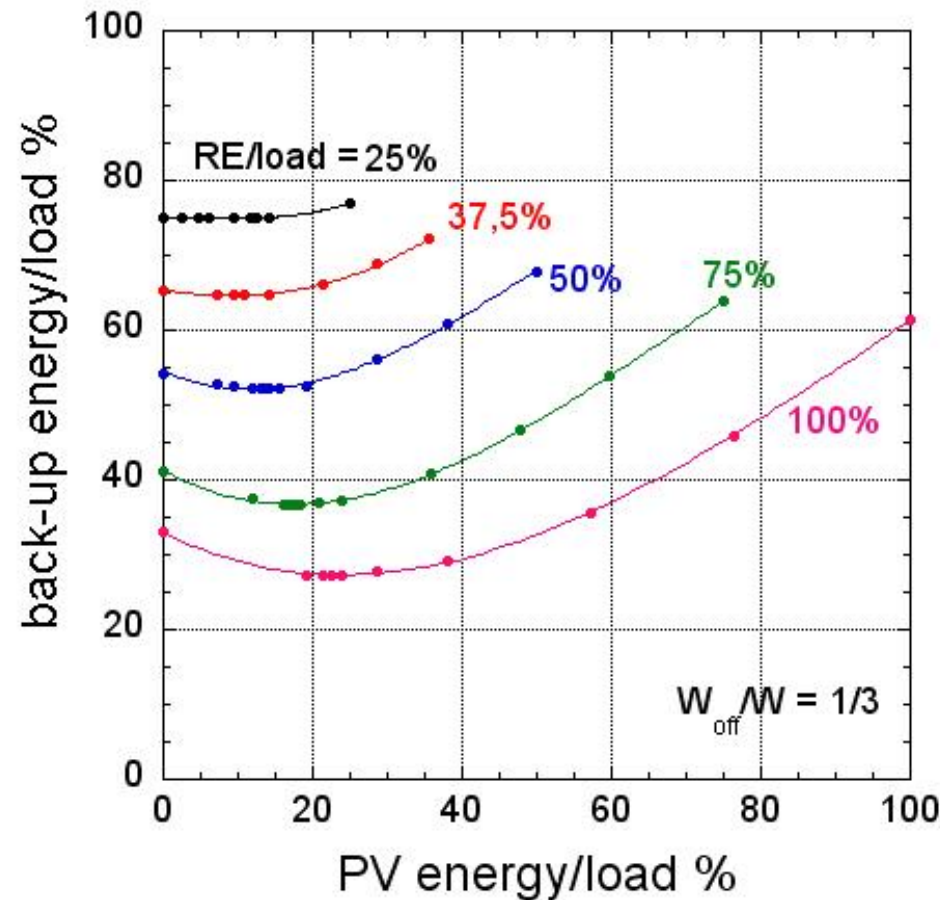


Zusammenfassung: „equ. energy case“



2. Optimal mix case

Kriterium: Minimierung der back-up Energie

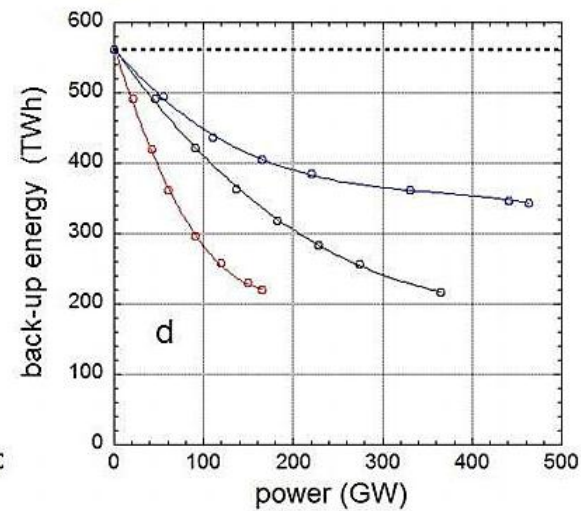
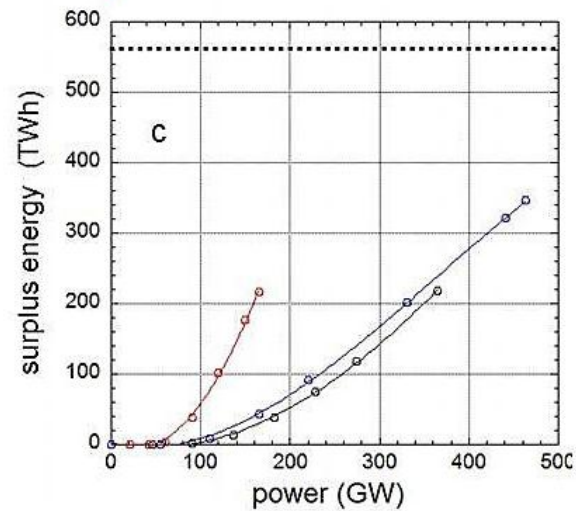
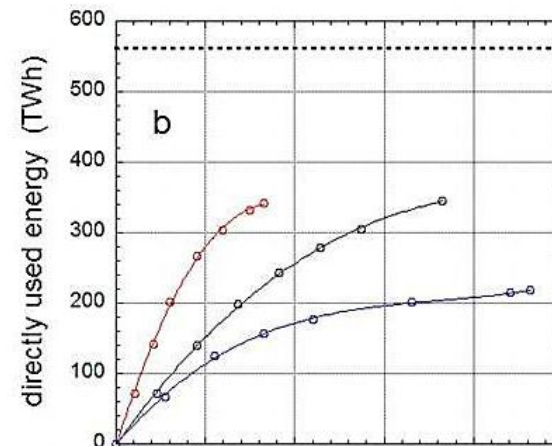
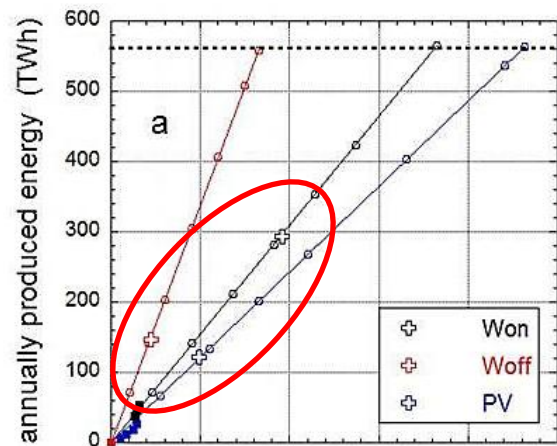


Das Minimum ist flach

Der PV Anteil steigt aber relativ zum Wind fällt er mit zunehmendem EE Anteil Zweck. Dient als Referenz

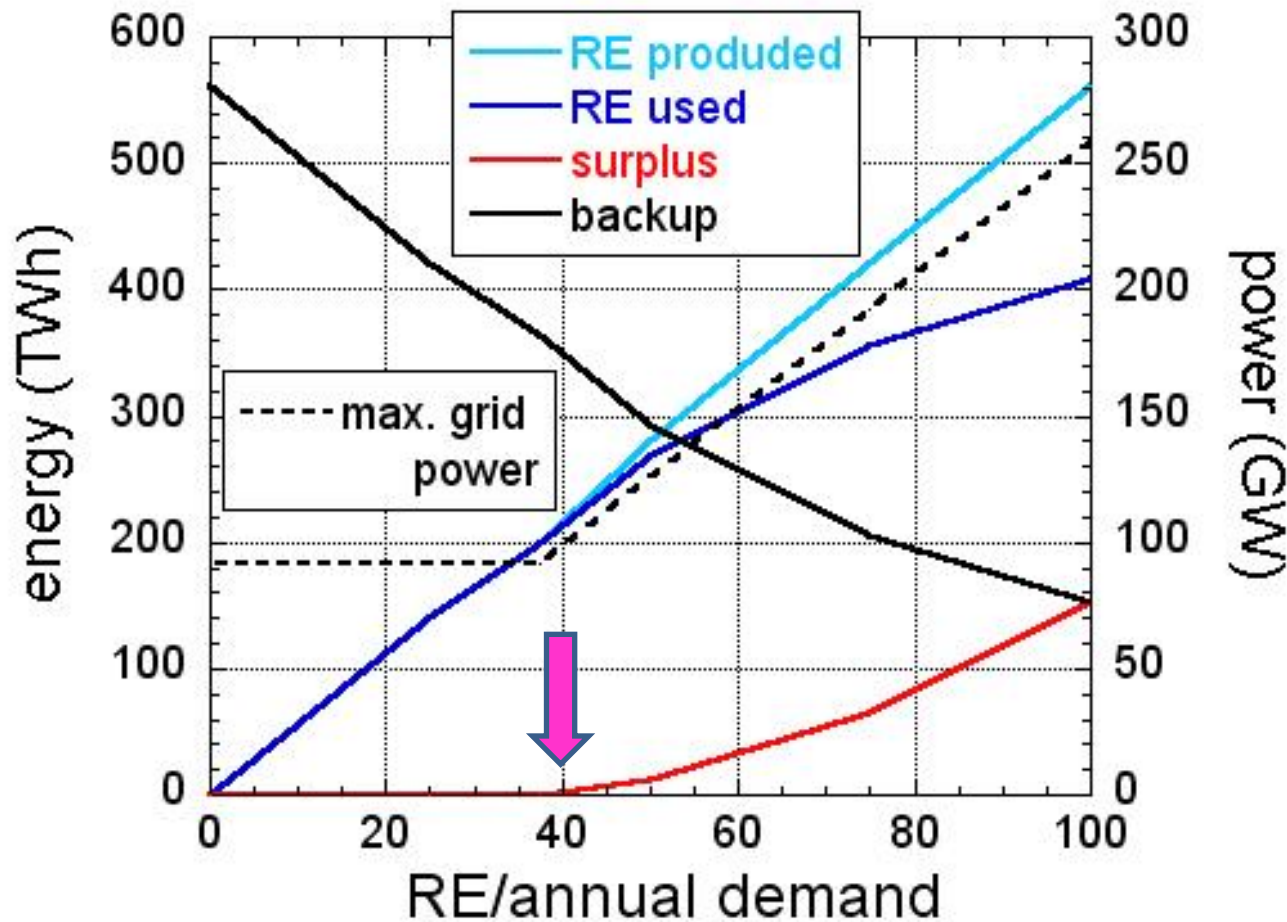


Equal energy optimal mix case





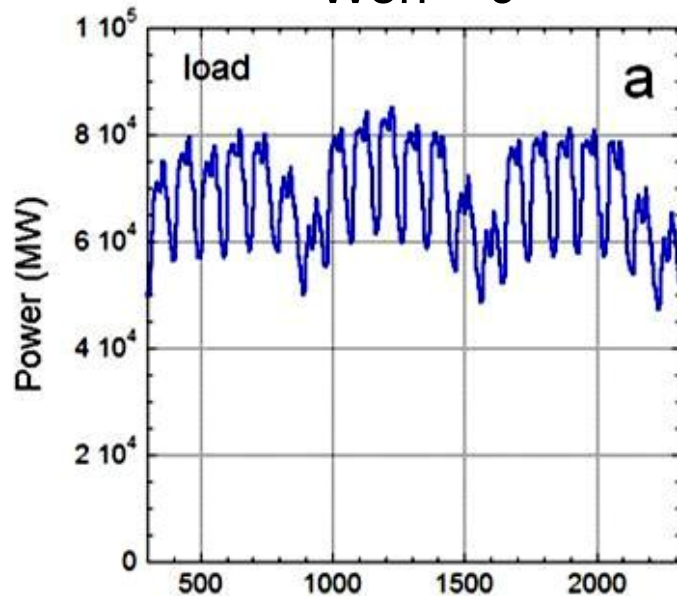
Zusammenfassung: Optimal mix case



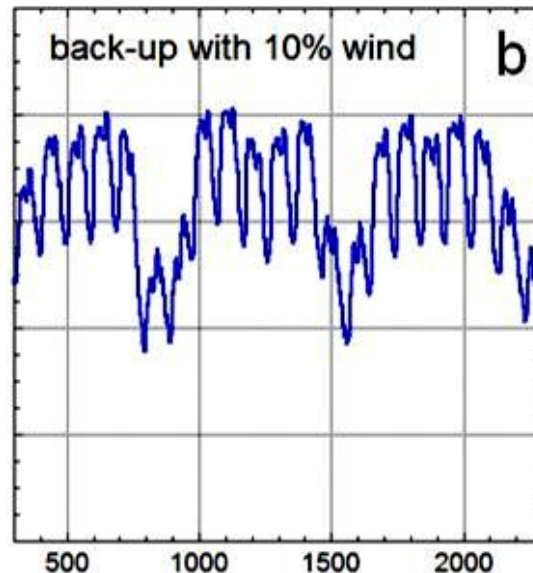


Folgen für Betrieb back-up Systeme

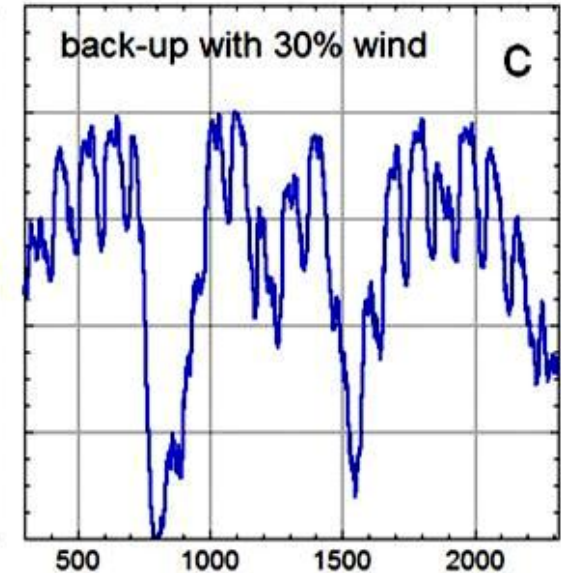
Last = back-up
Won = 0



Won = 10%



Won = 30 %

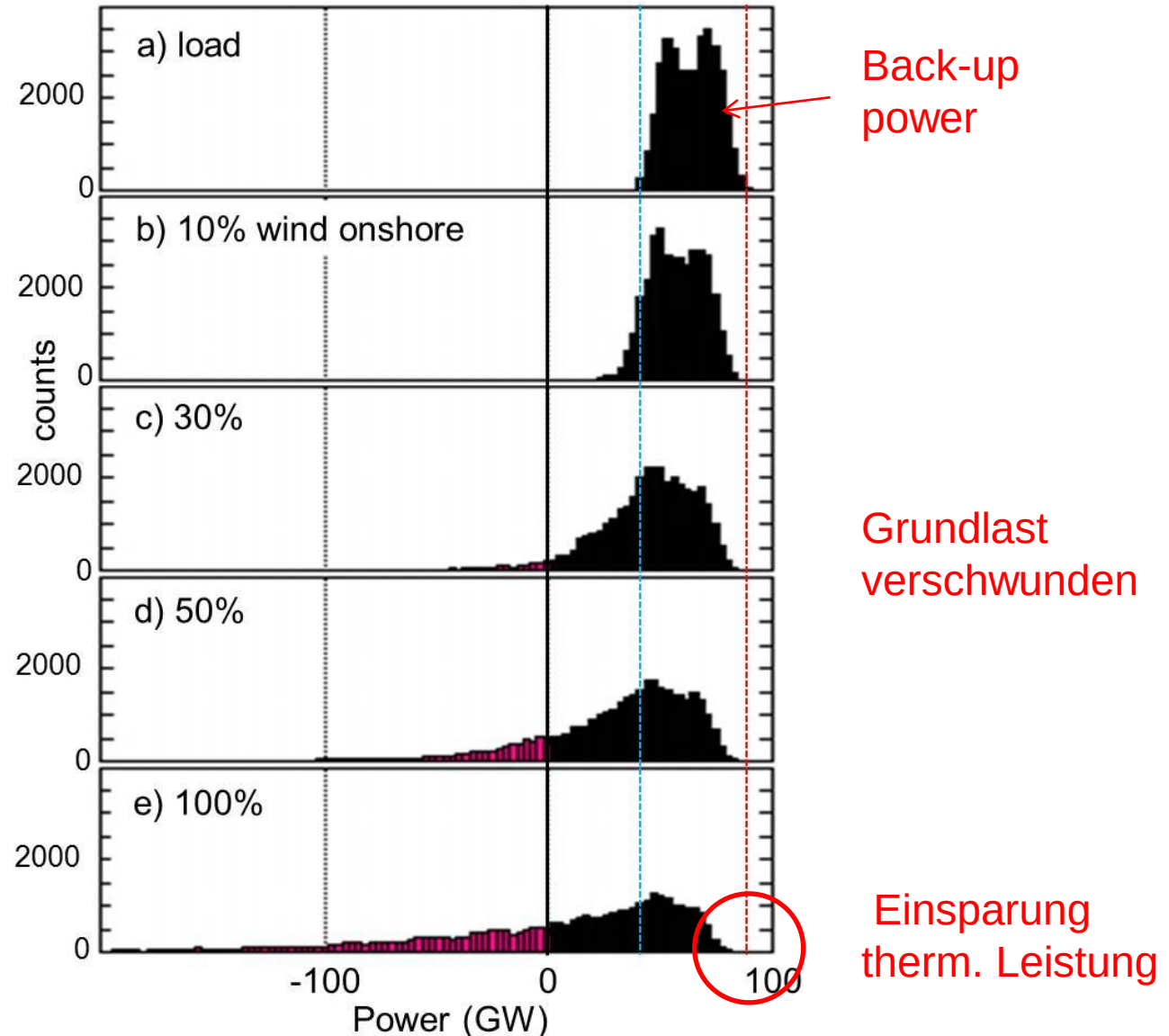


Three weeks in January 2010



Folgen für Betrieb back-up Systeme

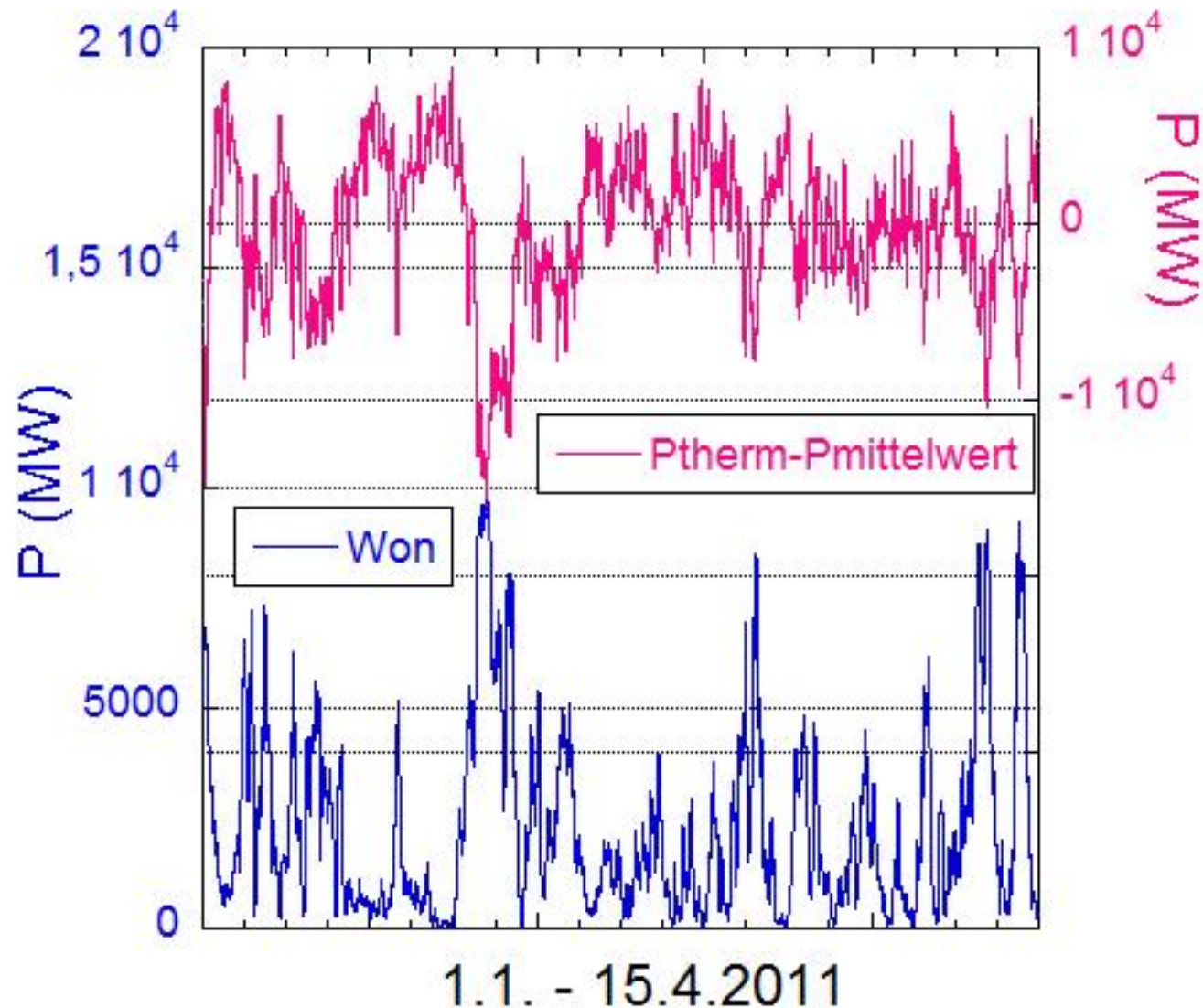
Won





Situation 50Hertz

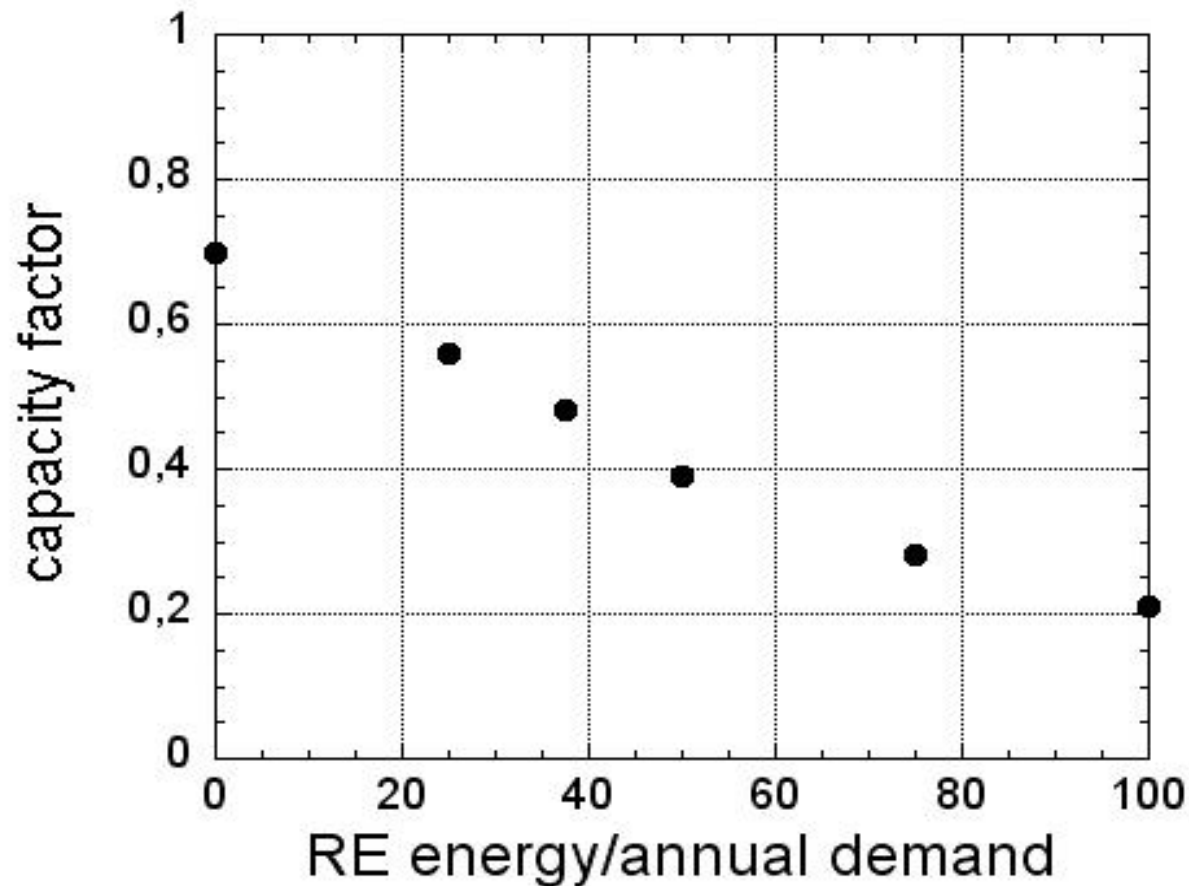
Regeltätigkeit der therm. Kraftwerke





Wirtschaftlichkeit der back-up Syst.

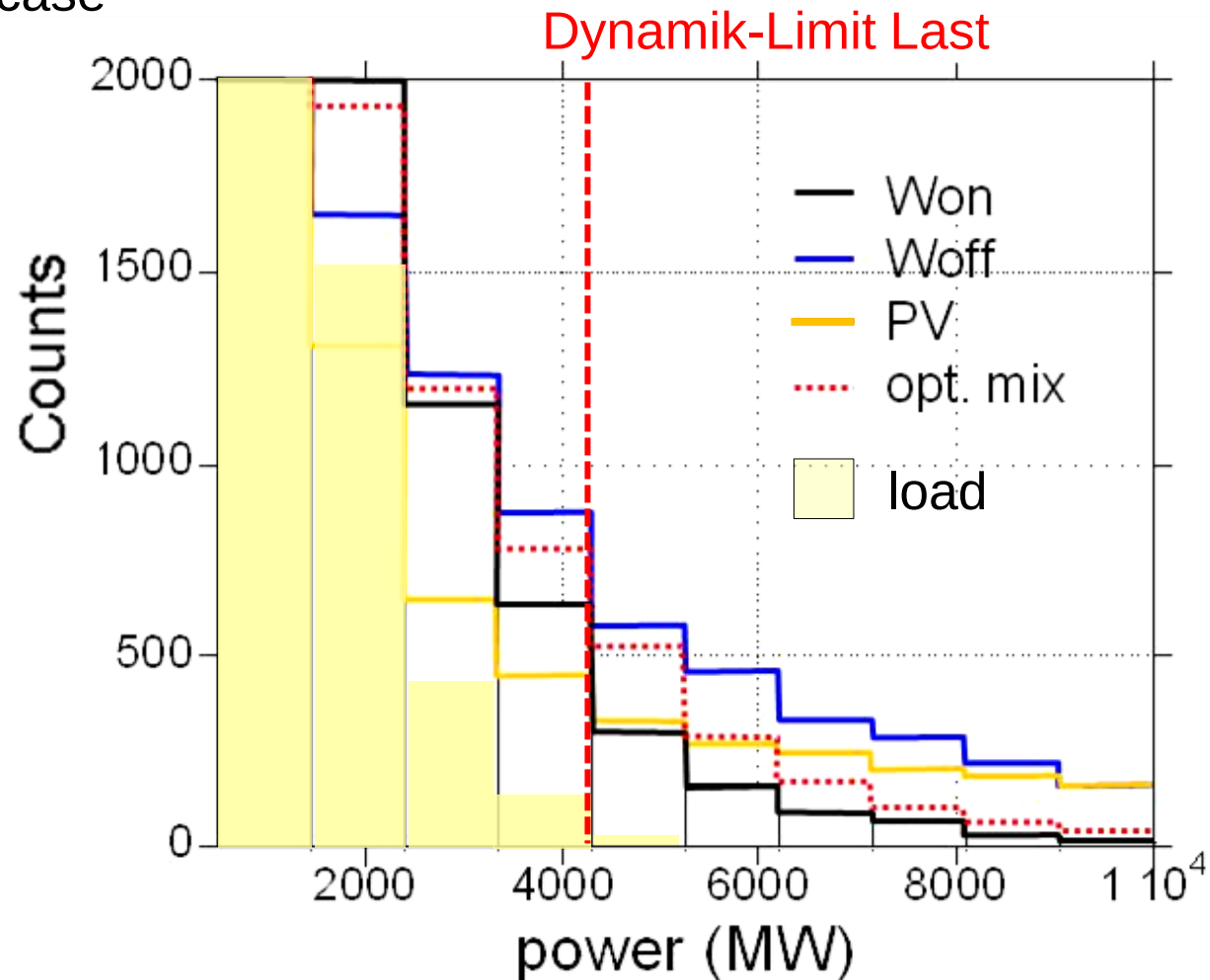
Lastfaktor: $cf = \text{Volllaststunden}/8760$



Technische Beanspruchung des B-S (1)

Spektrum der Leistungsstufen

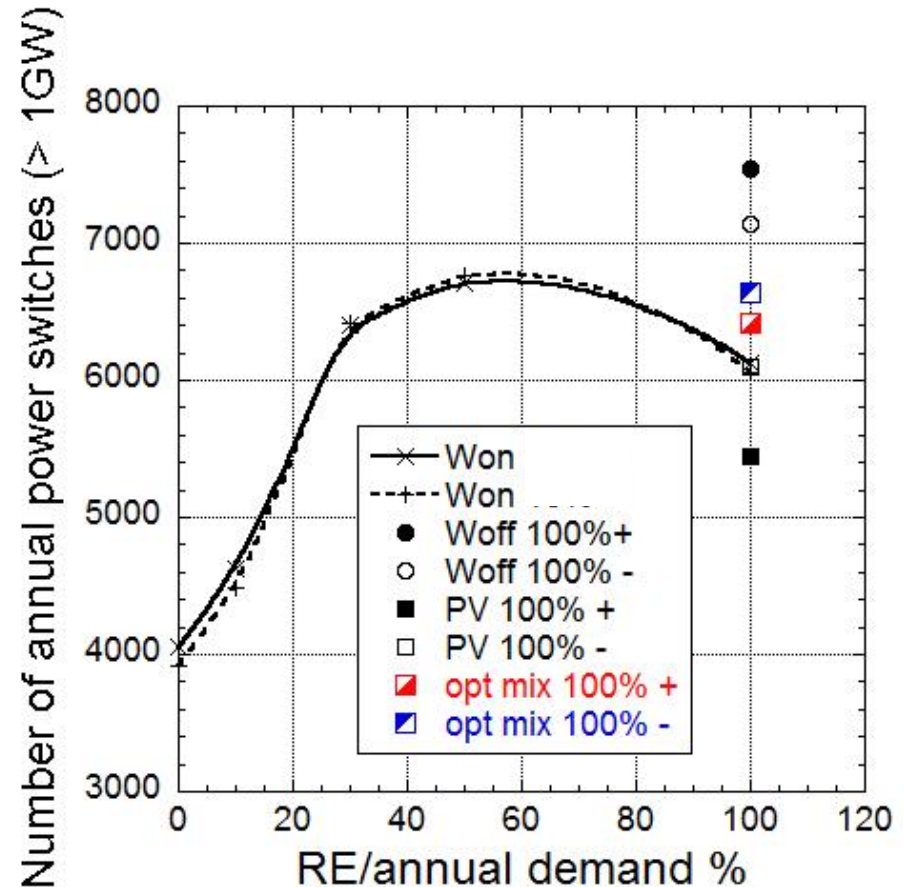
equal energy case





Technische Beanspruchung des B-S (2)

Zahl der Leistungsstufen $> 1\text{GW}$



60% Anstieg in den Leistungsexkursionen
Symmetrie in den pos. und neg. Exkursionen
Maximum ist bei 60% EE erreicht

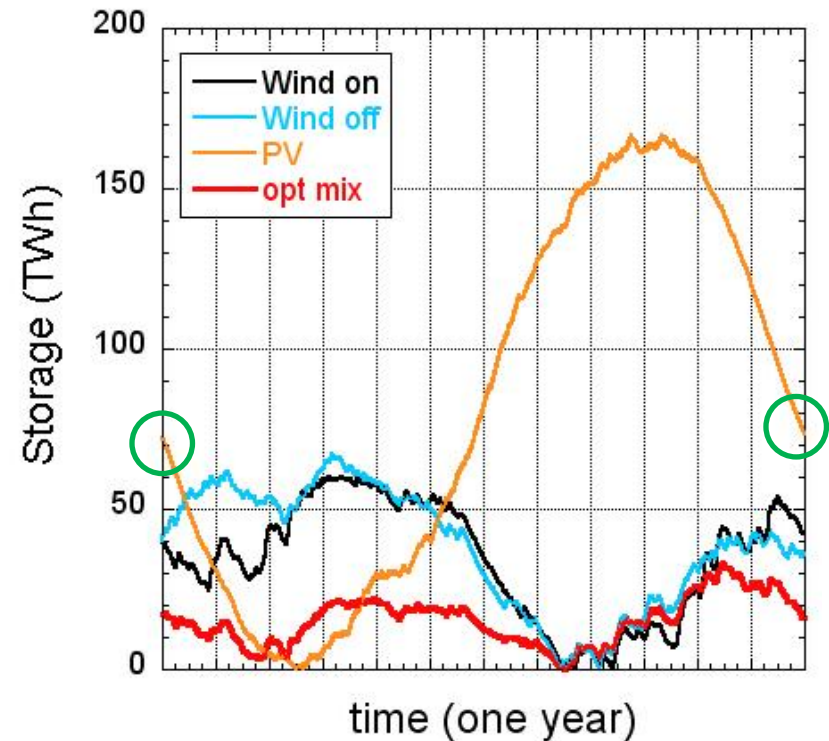


1.Saisonale Speicher

equ. energy case

Periodische Randbedingungen

Speicher wird vollständig geleert



	Storage energy (TWh)	Maximal storage power (GW)
Onshore wind	60	+296, -83 (1 month)
Offshore wind	67	+123, -87 (24 days)
PV	166	+397, -92 (two months)
Optimal mix	33	+179, -85 (11 days)

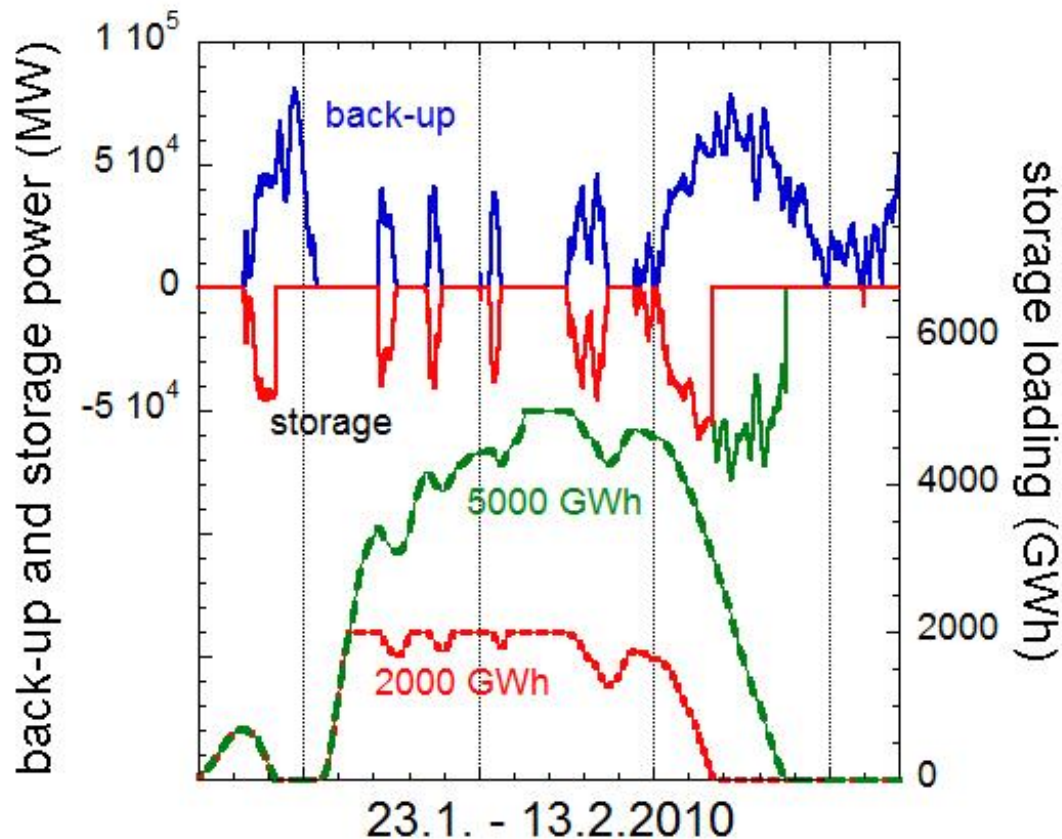
Situation in Deutschland: 50 (+20 Zubau) GWh



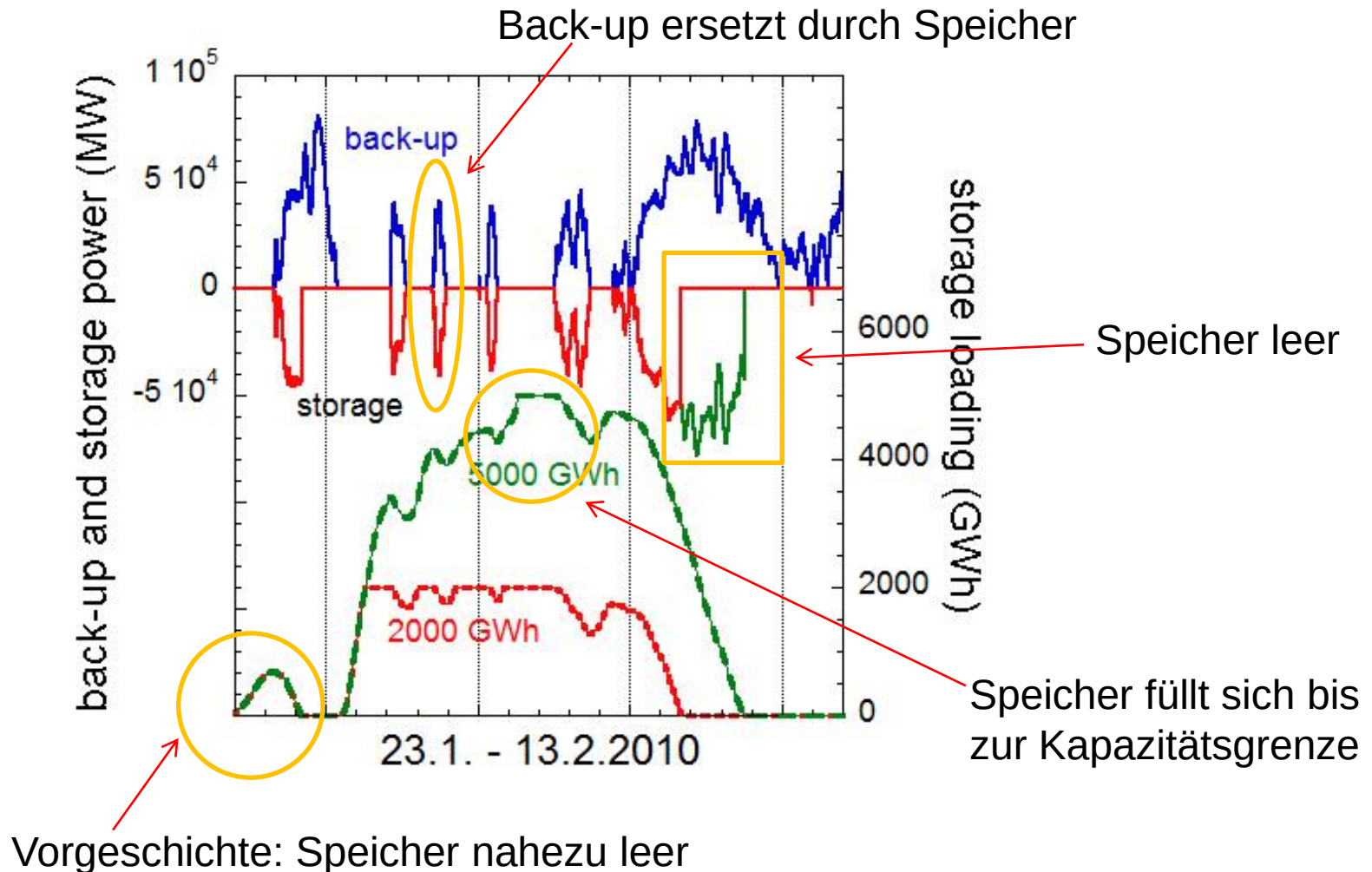
2. Kurzzeit - Speicher

Speicher füllt sich bei Überschuss

Speicher leert sich, wenn andernfalls back-up einspringen müßte



2. Kurzzeit - Speicher



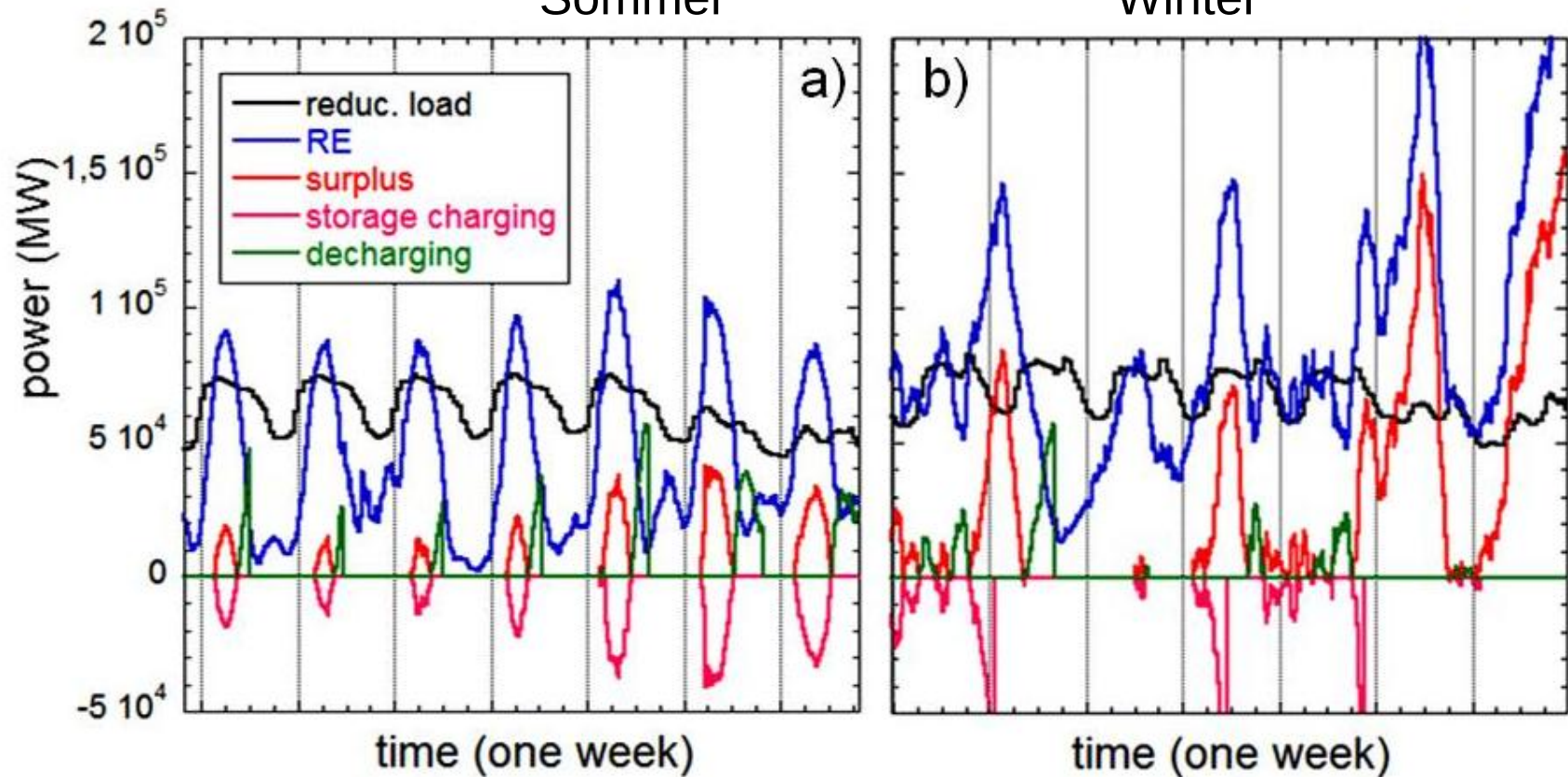


Speicherbetrieb Sommer - Winter

Speicher: 200 GWh

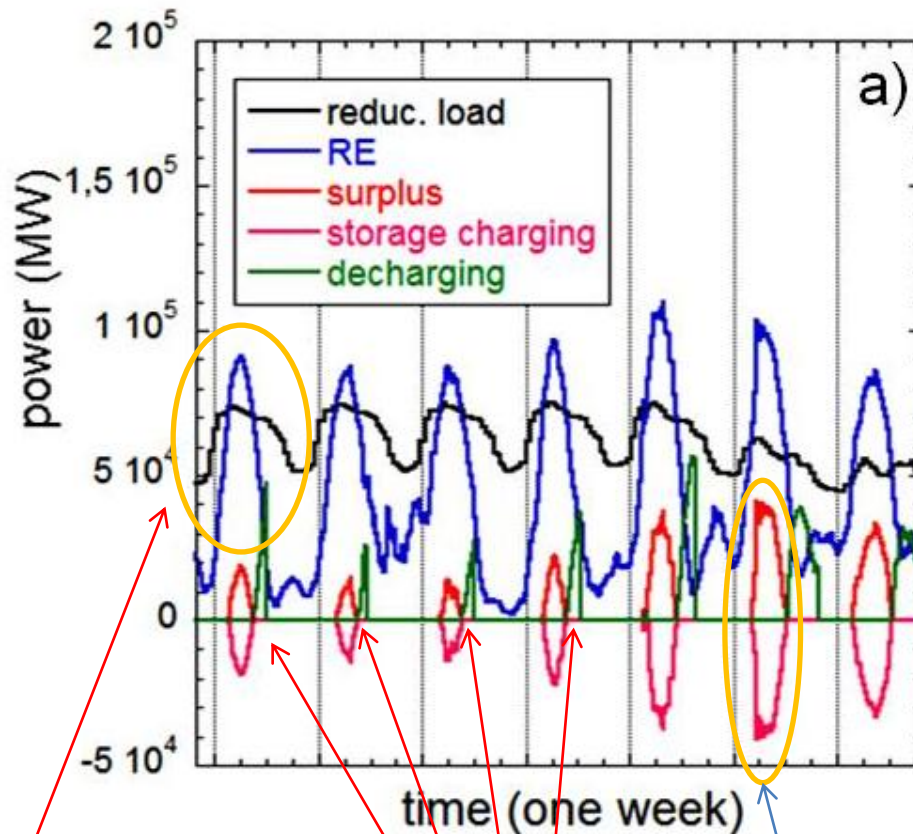
Sommer

Winter



Speicherbetrieb Sommer - Winter

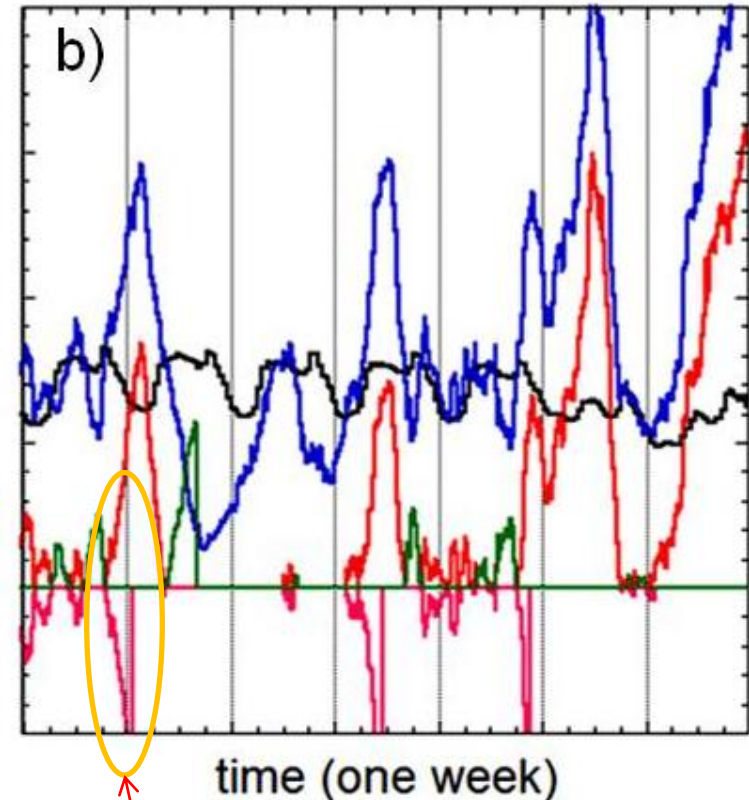
Periodischer Betrieb



PV peak
enger als
Last

Speicher entlädt sich
periodisch am Abend

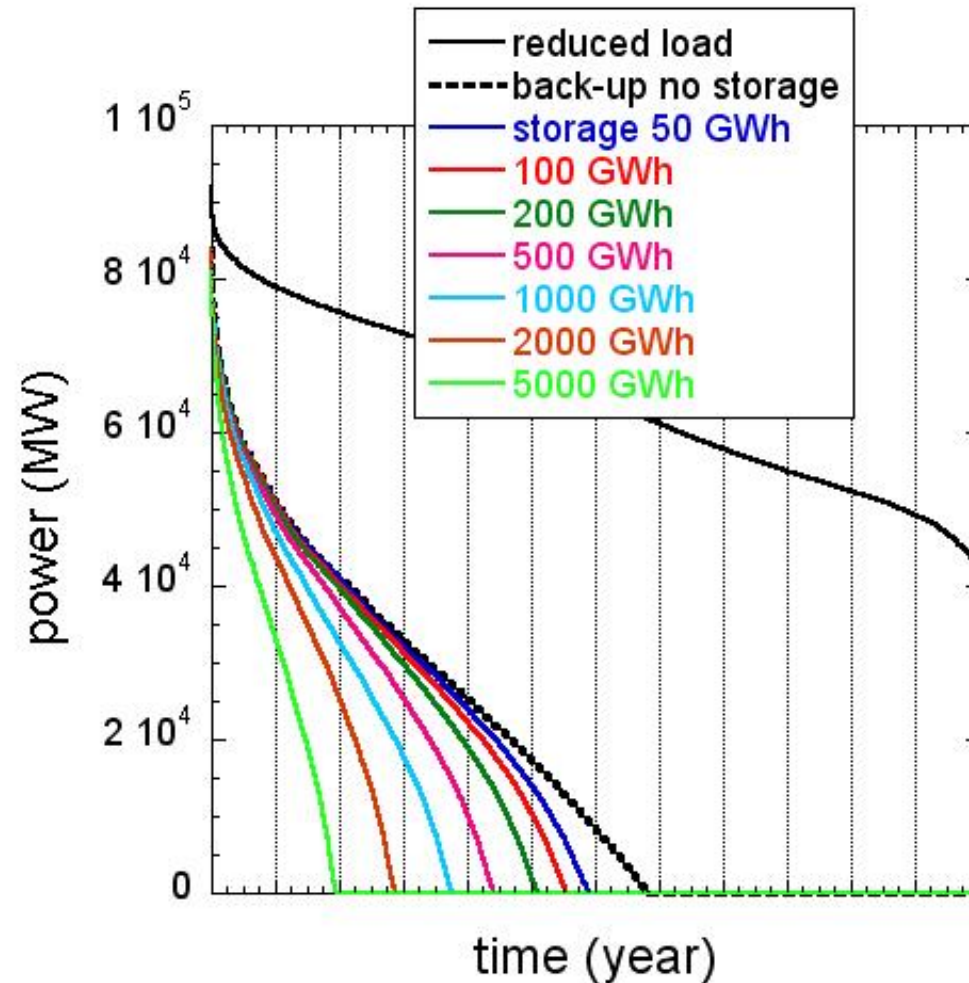
Erratischer Betrieb



Abbrüche,
weil Speicher voll

Folgen für Betrieb back-up System

Equal energy
optimal mix case



Back-up: Betrieb reduziert sich weiter;
wird aber nicht vollständig ersetzt



Wirtschaftlichkeit des Betriebs

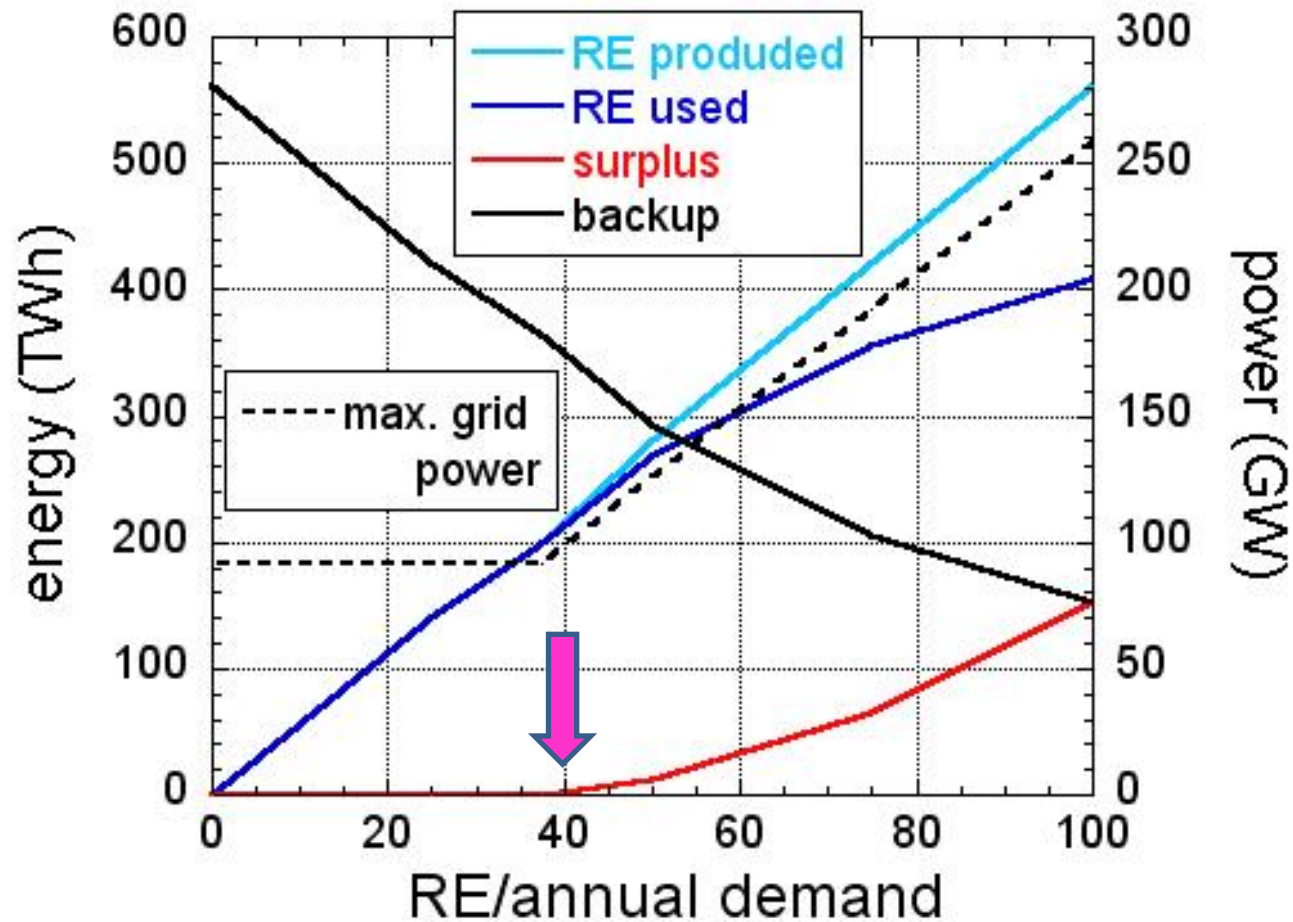
Equal energy optimal mix case

Storage capacity (GWh)	flh storage (h)	Capacity factor storage	flh back-up system (h)	Capacity factor back-up system
50	177	0.02	1711	0.195
100	241	0.027	1636	0.187
500	541	0.062	1343	0.153
1000	768	0.088	1140	0.130
2000	957	0.109	899	0.103
5000	1244	0.142	603	0.069

Table 6 Shown are the full-load hours (flh) and the capacity factors for storage and back-up system for the cases plotted in Fig. 25 and 26.



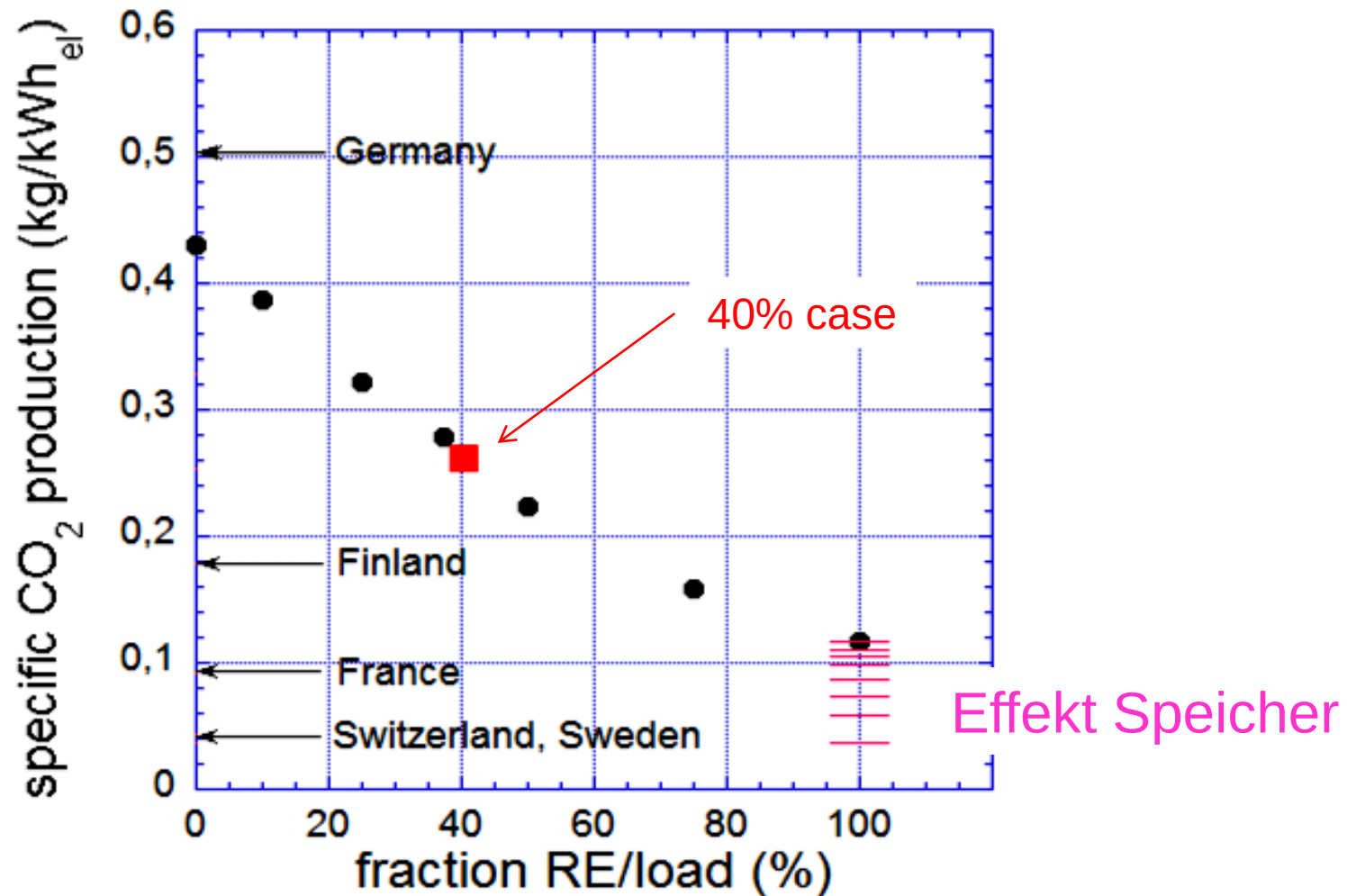
Ausbaugrenze für EE ?





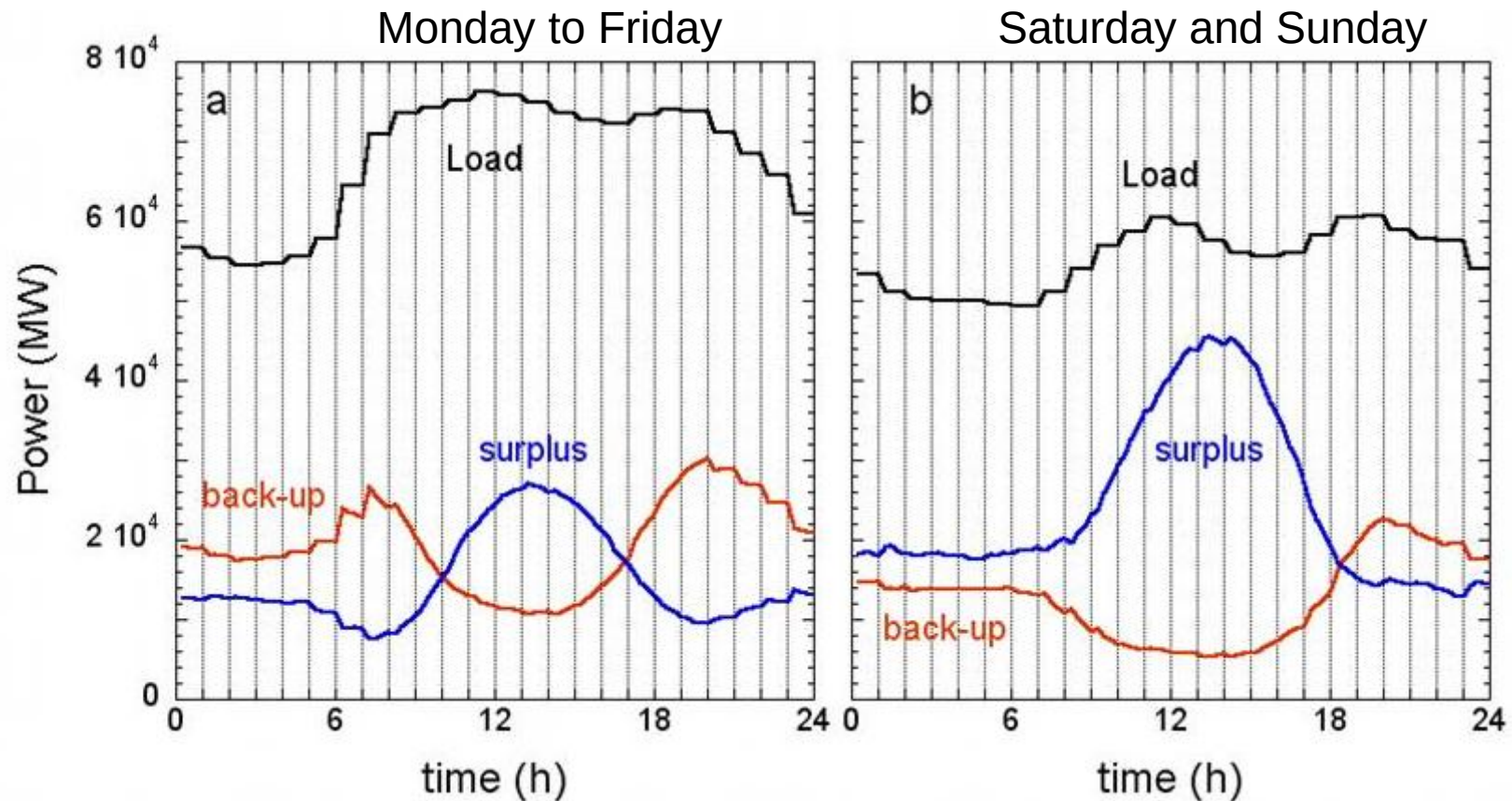
CO₂-Reduktion

Spezifische CO₂ Produktion kg/kWh_{el}
ausschließlich Gaskraftwerke



Nachfrage - Management

Verschiebung des Verbrauchs in Perioden mit geringer Last bei Überschuss
equal energy optimal mix case



Grundproblem: falsche Phasenlage – Überschuss fällt an, wenn Last maximal



Größter Effekt: Nutzung Wochenende

Der Gewinn ist gering:

Reduktion der Spitzen-Residuallast von 84 GW => 80 GW

Back-up System: Volllaststunden von 1825 h => 1902 h.

Energie-Einsparung durch bessere Nutzung des Überschusses ~1.5%.



Schlussfolgerungen

- zusätzlichen Versorgungskapazitäten >> derzeitig installierten thermische Leistungen
- konventionelle Kraftwerke werden in geringem Umfang ersetzt ($< 10\%$).
- Die direkt nutzbare Einspeisung von EE saturiert: kein vollständiger Ersatz
- Erzeugung großer Mengen an Überschussstrom: Export fraglich, wegen der Kapazitätsgrenzen potenzieller Empfänger
- Es gibt eine optimale Zusammensetzung von Wind und PV Erzeugungskapazitäten
- Betrieb aller Komponenten mit niedrigen Lastfaktoren
- gilt auch für ein Speichersystem, wenn der einzige Zweck die Speicherung von Überschussenergie ist
- Fraglich, ob ein solches System marktwirtschaftlich organisiert werden kann
- Residuallastsystem: häufige Leistungsänderungen großer Amplituden
- Nur unter großen technischen und finanziellen Anstrengungen erreicht man die niedrigen spezifischen CO₂ Emissionswerte, die in Europa bereits realisiert sind.
- Für das Konzept des Nachfrage-Managements besteht ungünstige Phasenlage
- Überschaubare Konsequenzen bei EE Anteil $< 40\%$



Bilanz

Die Nutzung von EE (wie hier betrachtet) hat Nachteile

Als Kernfrage bleibt: Wie kann man dieses System verbessern, ergänzen oder ersetzen

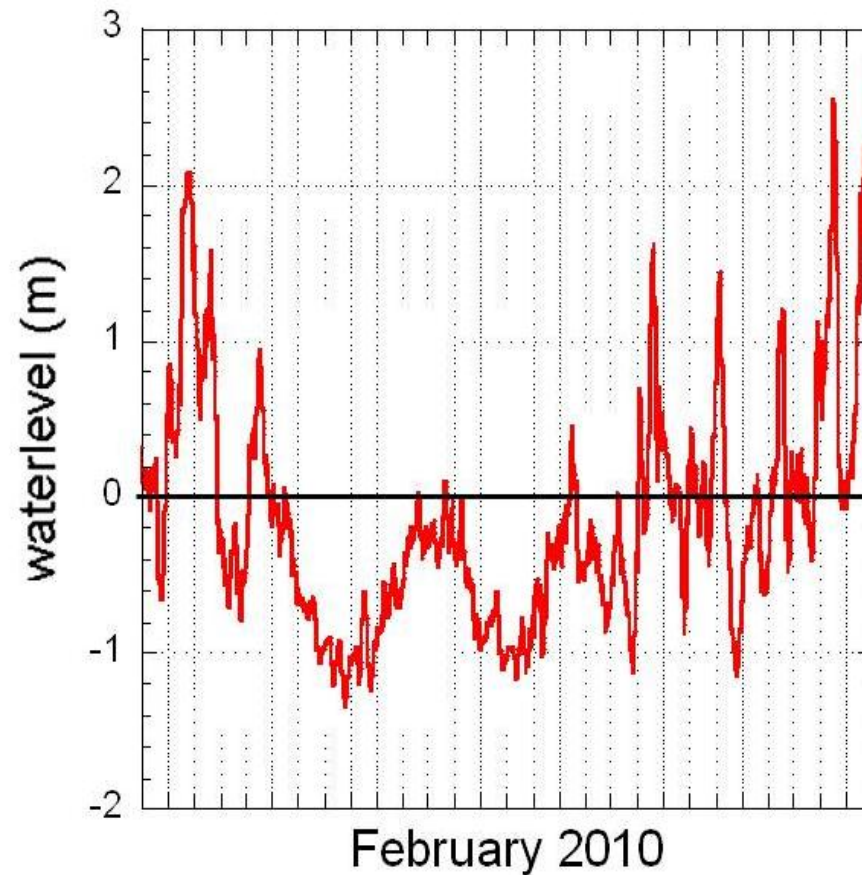
Das ist die klassische Frage an Wissenschaft und Technik.

Diese Disziplinen waren immer gefragt, wenn sich der Mensch von den Fährnissen und der Unberechenbarkeit der Natur frei machen wollte.



Der Bodensee als Speicher

Optimal mix, equal energy case



Data:

536 km²

Lock-height (Schaffhausen): 10 m

Power: 180000 m³/s

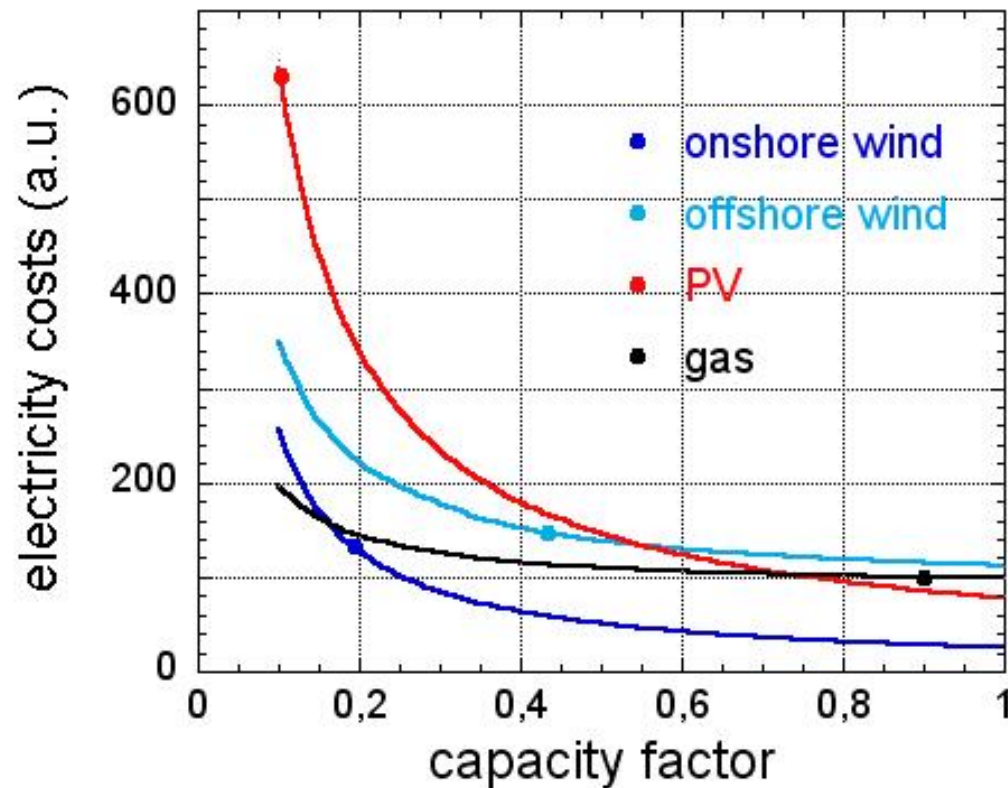
Inflow: 380 m³/s



Wirtschaftlichkeit

Problem: all components operate under short flh conditions

Cost-structure: $C = \alpha/cf + OC$





Verzerrung durch Nutzung regionaler Daten

Vergleich der skalierten* Tennet-Won und PV Daten mit den Summendaten für 2011

* auf dieselbe Gesamtenergie

