



Technische
Universität
Braunschweig



Quelle: SMA

Abregeln oder Speichern

TEILNAHME VON PHOTOVOLTAIKANLAGEN AN DER PRIMÄRREGELLEISTUNG

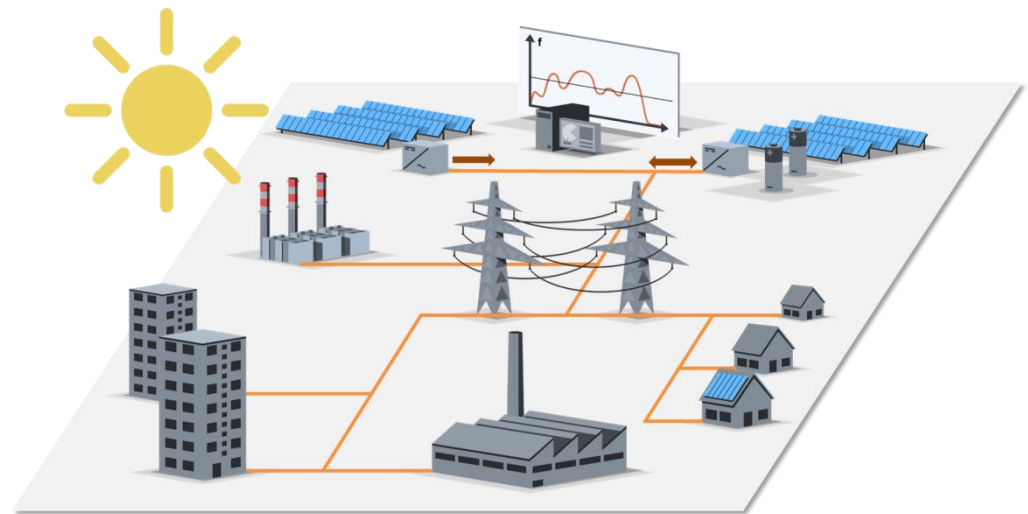
Daniel UNGER*, Stefan LAUDAHN*, Bernd ENGEL

TU Braunschweig, Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen - elenia,
Deutschland, d.unger@tu-braunschweig.de, +49 531 391 7704

14.02.2014

Agenda

1. Einleitung
2. Frequenzhaltung im ENTSO-E
3. Technische Machbarkeit durch das Abregeln von PV-Anlagen
4. Wirtschaftlichkeit des Abregelns von PV-Anlagen
5. Technische Machbarkeit der Bereitstellung durch elektrische Energiespeicher
6. Wirtschaftlichkeit elektrischer Energiespeicher für die Bereitstellung
7. Zusammenfassung und Ausblick

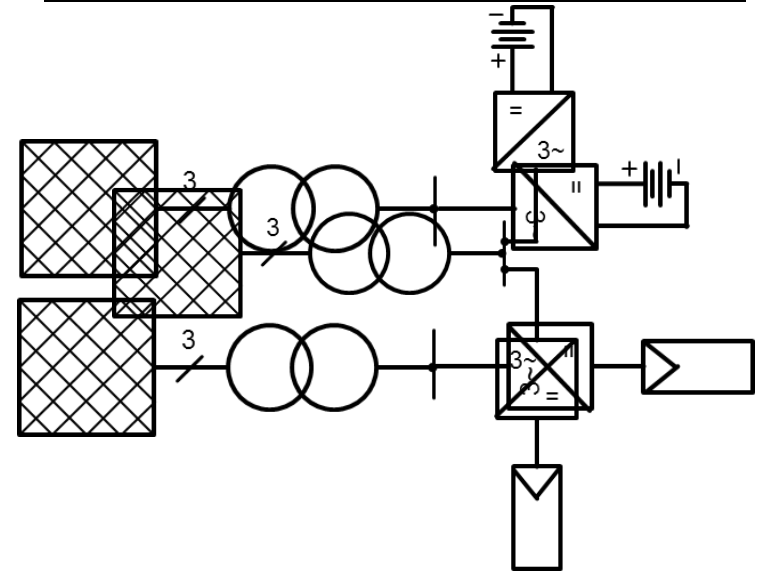


1. Einleitung

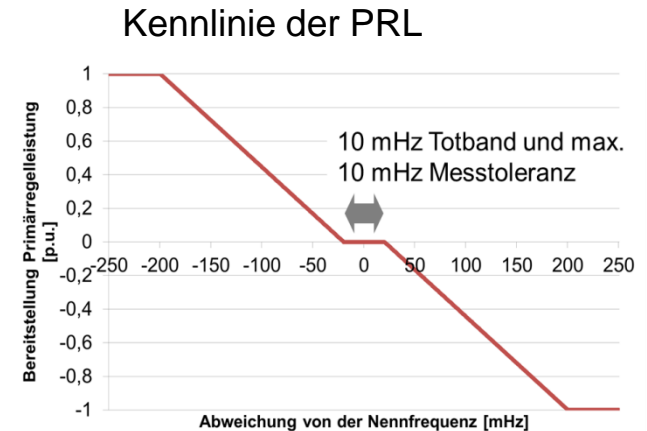
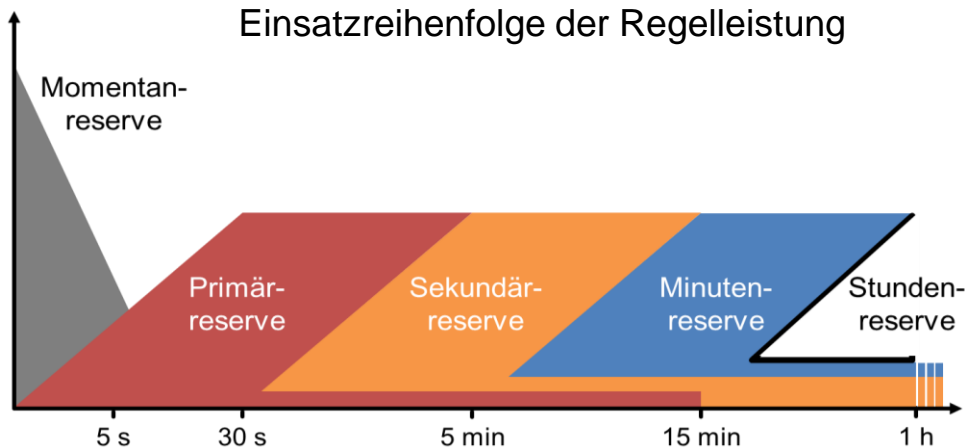
- Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung stark gestiegen
- PV-Anlagen liefern zeitweise Großteil der benötigten elektrischen Leistung
- Systemdienstleistungen müssen mit dann weniger einspeisenden konventionellen Kraftwerken von dezentralen Anlagen übernommen werden
- Primärregelleistung ist erste und schnellste (vorgehaltene) Regelleistung nach Frequenzabweichung
- Vergleich der technischen Machbarkeit und der Wirtschaftlichkeit durch PV-Anlagen und elektrische Speicher

Kennzahlen der PRL:

Sollfrequenz im ENTSO-E	50 Hz
ENTSO-E Nachfragemenge	±3000MW
- davon in D+CH+NL	±628 MW
Beschaffung	regelleistung.net
Mindestangebotsmenge	±1 MW
Vergütung	Leistungspreis
Ausschreibung	1 Woche vorher
Lieferzeitraum	1 Woche
Aktivierungsgeschwindigkeit	< 30 Sekunden,
Verfügbarkeit	100 %

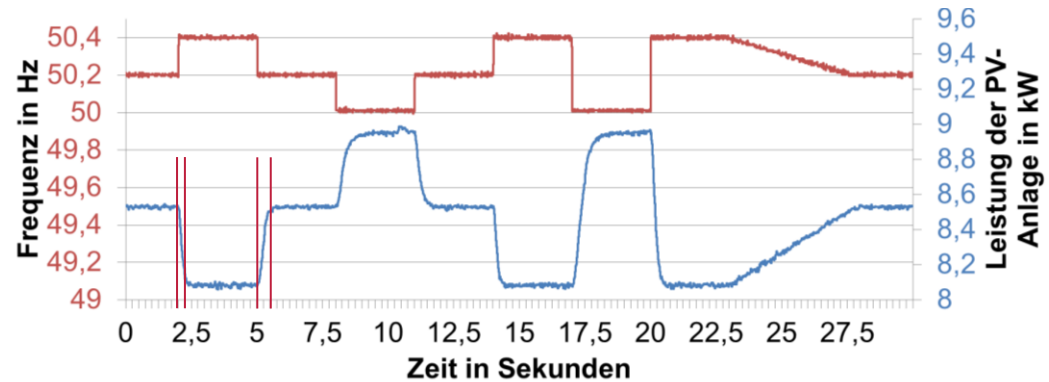
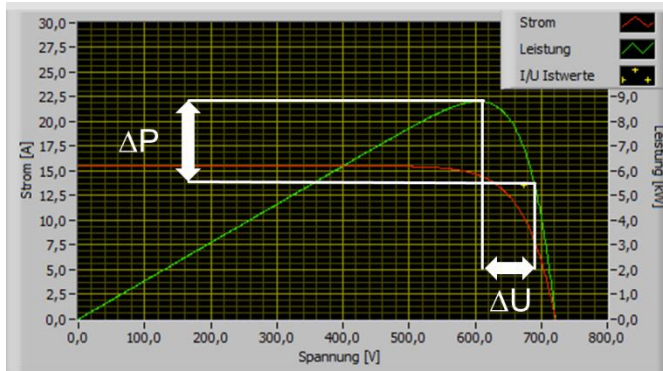


2. Frequenzhaltung im ENTSO-E

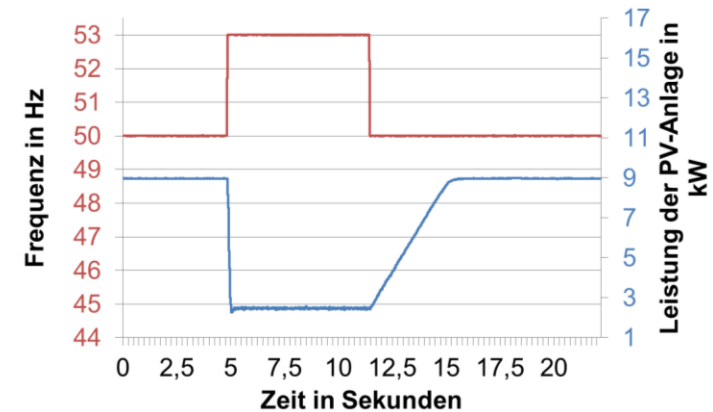


- Netzfrequenz im gesamten ENTSO-E nahezu gleich (Nennfrequenz 50 Hz)
- Leistungsungleichgewicht führt zu Frequenzabweichungen. Diese werden in stochastische und deterministische Abweichungen unterteilt.
- PRL wird automatisch und nach dem Solidaritätsprinzip von allen beteiligten Anlagen bereitgestellt
- Schnelle Bereitstellung der PRL durch leistungselektronisch gekoppelte Erzeuger hat eine hohe Wertigkeit

3. Technische Machbarkeit durch das Abregeln von PV-Anlagen



- PV-Anlagen müssen nach der VDE-AR-N 4105 ab 50,2 Hz ihre Leistung reduzieren
- Messung des Verhaltens eines PV-Wechselrichter und einer DC-Quelle für PRL-Teilnahme im Netzintegrationslabor der TU Braunschweig
- Wechselrichter regelt innerhalb von 200 ms ab
- Leistungssteigerung; 3,7 s für 75 % der Leistung

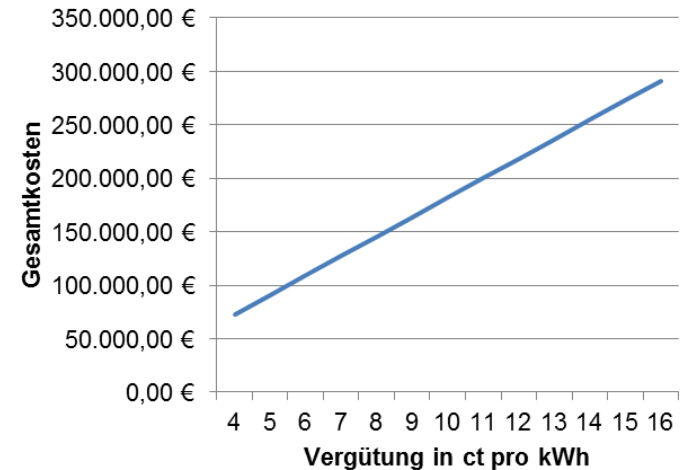
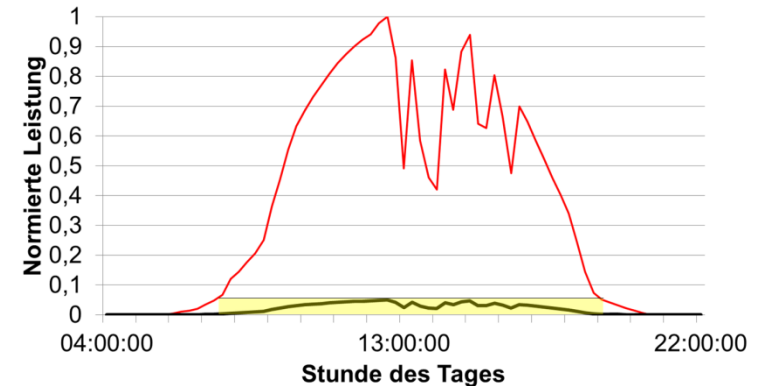


4. Wirtschaftlichkeit des Abregelns von PV-Anlagen

- Kurzfristprognose der aktuellen Leistung durch separate Anlage oder kurzzeitiges hochfahren der Leistung möglich
- Berechnung der Verluste einer 1 MWp Anlage
- Teilnahme an der PRL mit 5 % der Nennleistung, Zeitraum pauschal von 08:00 bis 18:00 Uhr
- Entgangene Einspeisevergütung wird mit sinkenden Sätzen monetär bewertet
- Keine weiteren Installations- oder Betriebskosten berücksichtigt
- Kapitalwertmethode nach

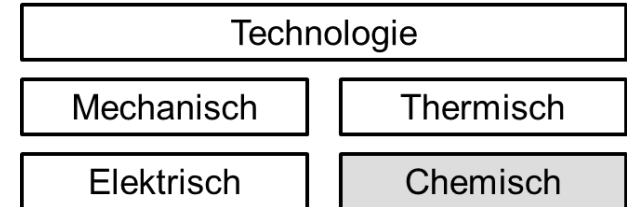
$$K_0 = \sum_{t=0}^T \frac{Z_t}{(1+i)^t}$$

- Investitionszeitraum 20 Jahre, Kalkulationszinssatz 5 %



5. Technische Machbarkeit der Bereitstellung durch elektrische Energiespeicher

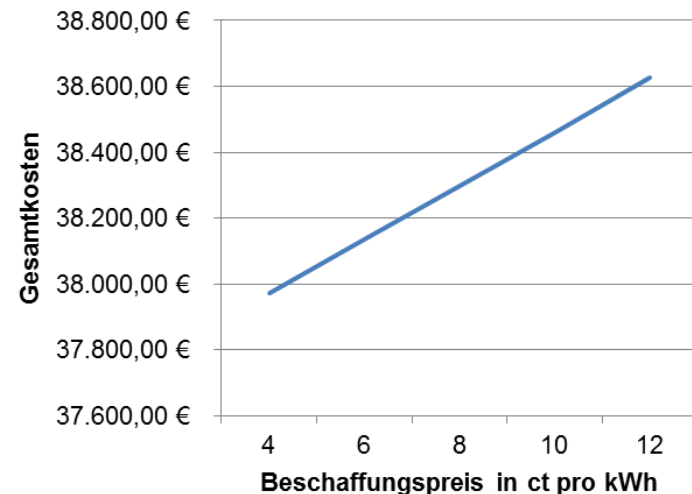
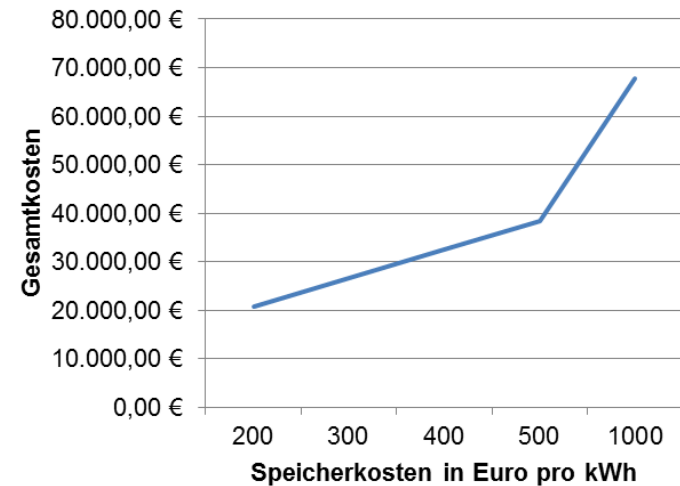
- Speichertechnologie muss Anforderungen an PRL erfüllen
- Hinsichtlich Reaktionszeit und Energiedichte: Chemische Speichertechnologien (Li-Ion)
- Speicherkapazität aus vorgehaltener Zeit
- Worst Case: Vorhaltung für eine Woche, Optimierung über Besicherung oder Hybridsysteme
- Wirkleistungsverluste fallen im Betrieb an. Wiederaufladen im nicht-kritischen Korridor
- Speichersystem mit 50 kW / 25 kWh Teilnahme an der PRL simuliert
- Zyklen werden mit Rainflow-Zählung bestimmt



DOD in p.u.	Anzahl Zyklen	Faktor	Gewichtete Zyklen
0,1	42022	0,01622	681,59684
0,2	58	0,06742	3,91036
0,3	24	0,14818	3,55632
0,4	17	0,23419	3,98123
0,5	4	0,34227	1,36908
0,6	5	0,46261	2,31305
0,7	2	0,57859	1,15718
0,8	2	0,69686	1,39372
0,9	3	0,80645	2,41935
1	6	1	6
			707,69713

6. Wirtschaftlichkeit elektrischer Energiespeicher für die Bereitstellung

- Teilnahme: 08:00 Uhr bis 18:00 Uhr
- Wechselrichterkosten: 150 Euro / kW
- Speicherkosten werden variiert
- Installationskosten 10 % auf Kosten
- Speicherlebensdauer: 6000 Vollzyklen, mit 707,7 Zyklen pro Jahr somit 8,5 Jahre Lebensdauer
- Wirkleistungsverluste fallen durch Selbstentladung (0,1 % pro Tag) und Umwandlungsverluste (Wirkungsgrad von 95 %) an (insgesamt 656,42 kWh pro Jahr)
- Bewertung der Gesamtkosten mit Investitionszeitraum von 20 Jahren und der Kapitalwertmethode



7. Zusammenfassung und Ausblick

- **Teilnahme von PV-Anlagen und Speichern an der PRL werden verglichen**
- **Technische Machbarkeit:**
 - Sowohl PV-Anlagen als auch elektrische Speicher können die benötigte Leistung ausreichen schnell regeln
 - PV-Anlagen müssen abgeregelt betrieben werden
 - Elektrische Speicher müssen ausreichend groß dimensioniert werden
- **Wirtschaftlichkeit:**
 - Kosten von PV-Anlagen im Bereich von 75.000,- Euro bis 200.000,- Euro
 - Kosten von elektrischen Speichern zwischen 20.000,- Euro und 70.000,- Euro
 - Elektrische Speicher sind deutlich günstiger
- **Ausblick:** Hybride Speichersysteme können Vorteil bringen
 - Kombination von PV-Anlage und Speicher
 - Nutzung eines elektrischen Widerstandes
 - Kombination mehrerer Speichertechnologien

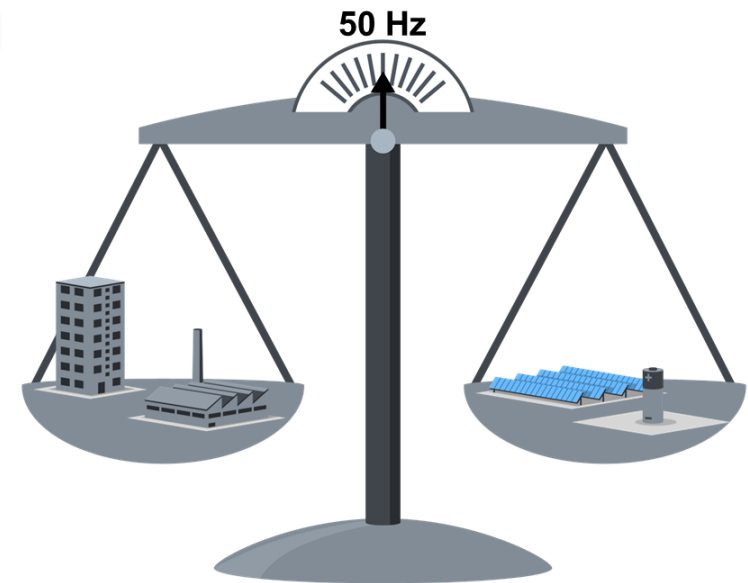
Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!



Technische Universität Braunschweig
Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische
Energieanlagen - elenia

Schleinitzstraße 23
38106 Braunschweig

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Daniel Unger
Telefon: +49 531 391 7704
Telefax: +49 531 391 8106
E-Mail: d.unger@tu-braunschweig.de



Backup



Laborschema „Basic“

