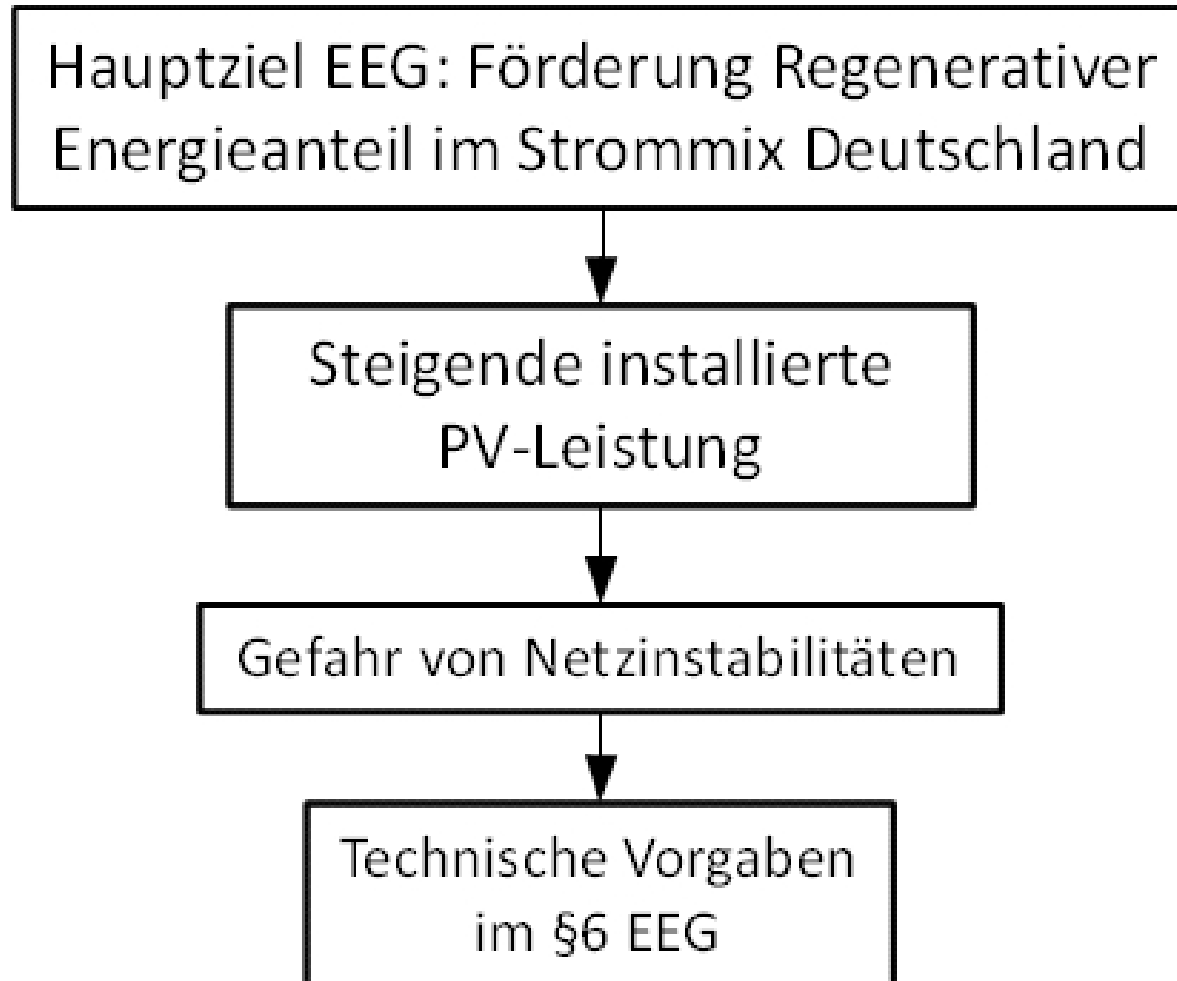

Technische Vorgaben für die Photovoltaik §6 Erneuerbare- Energien-Gesetz (EEG)

Vortragende	Henriette Müller
Modul	Energiesysteme
Seminar	Neue Entwicklungen auf den Energiemärkten
Seminarleitung	Prof. Dr. Erdmann
Betreuung	Dipl.-Ing. Johannes Henkel

07.10.2011

- 1 Einleitung
- 2 Netzeinspeisung
- 3 Entwicklung des §6 EEG
 - i EEG 2009
 - ii EEG 2012
- 4 Auswirkungen der neuen Vorgaben
 - i Überblick
 - ii 70%-Regelung
 - iii Ferngesteuerte Leistungsregulierung
- 5 Zusammenfassung und Ausblick

Einordnung und Struktur



1 Einleitung

2 Netzeinspeisung

3 Entwicklung des § 6 EEG

i EEG 2009

ii EEG 2012

4 Auswirkungen der neuen Vorgaben

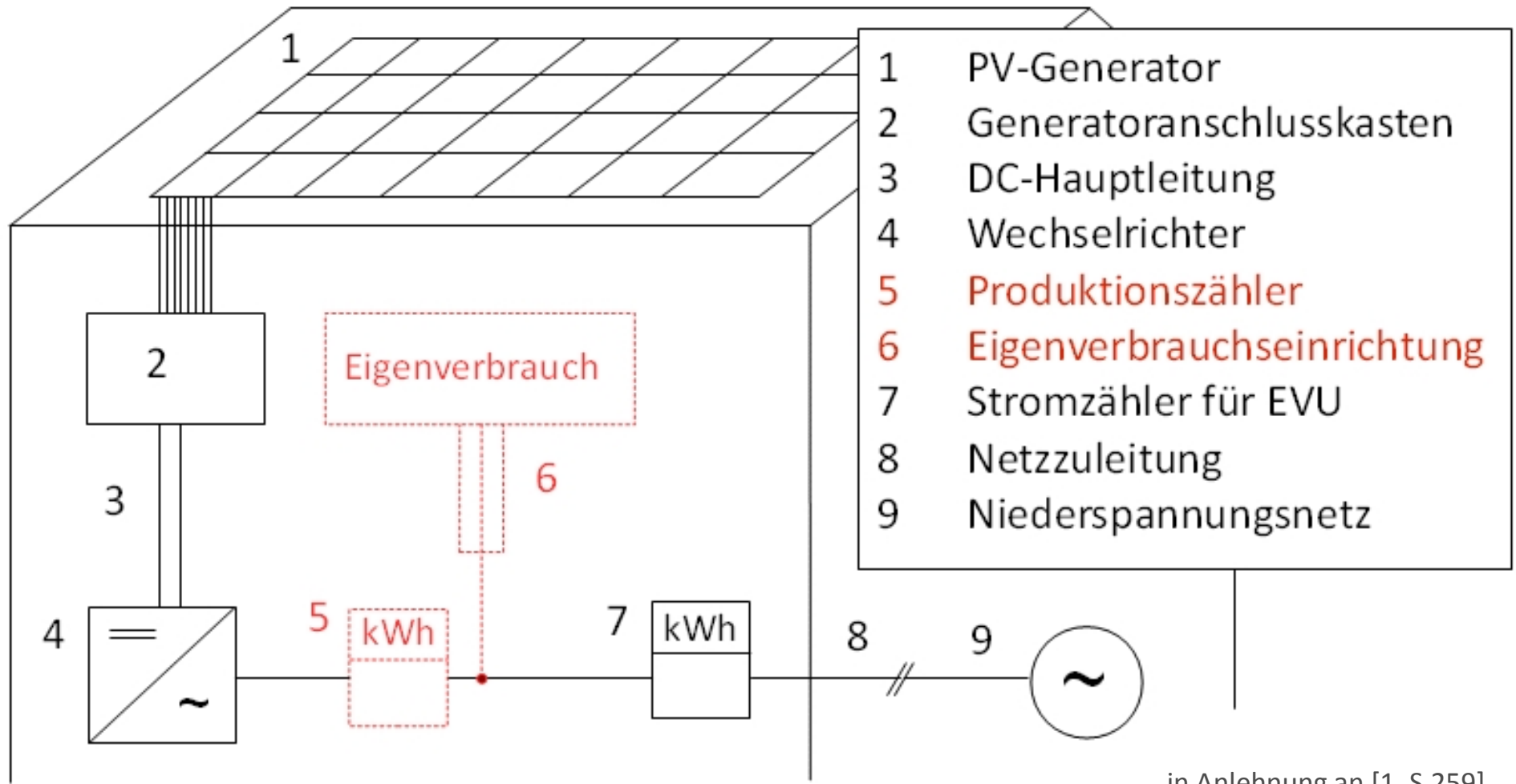
i Überblick

ii 70%- Regelung

iii Ferngesteuerte Leistungsregulierung

5 Zusammenfassung und Ausblick

Verschaltung eines Photovoltaik-Systems



in Anlehnung an [1, S.259]

Fluktuation von PV-Einspeiseleistung

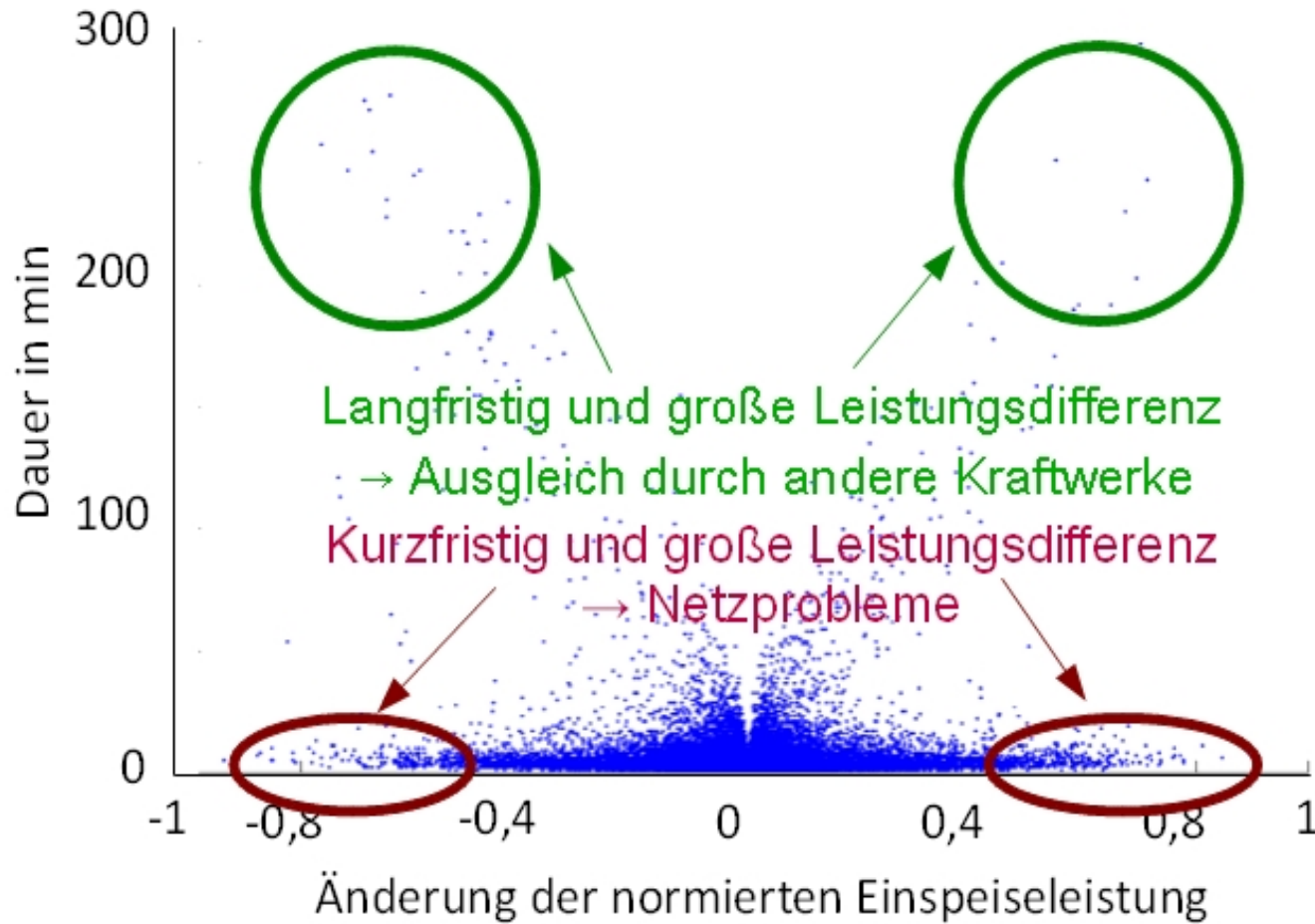


Abbildung aus [2]

Resultierende Probleme

- Frequenzänderung im Netz durch schwankende Einspeisung
- 50,2 Hz Netzfrequenz (Grenzwert)
- Schlagartige Trennung der PV-Anlagen vom Netz durch Wechselrichter
- Abrupter Leistungsverlust bis 9 GW möglich
- Europäisches Verbundnetz hat Puffer von 3 GW [3]
- Großräumiger Stromausfall in Europa möglich [3]

Vorgaben zur Problemlösung

- 85% der installierten PV-Leistung wird ins Niederspannungsnetz eingespeist
- Vorgabe in Niederspannungsrichtlinie (VDE AR-N 4105)
 - Anlehnung an Mittelspannungsrichtlinie
 - Stufenweise Leistungsregulierung zwischen 50,2 und 51,5Hz
- Weitere Vorgaben zur Problemlösung im EEG

-
- 1 Einleitung
 - 2 Netzeinspeisung
 - 3 Entwicklung des § 6 EEG**
 - i EEG 2009
 - ii EEG 2012
 - 4 Auswirkungen der neuen Vorgaben
 - i Überblick
 - ii 70%- Regelung
 - iii Ferngesteuerte Leistungsregelung
 - 5 Zusammenfassung und Ausblick

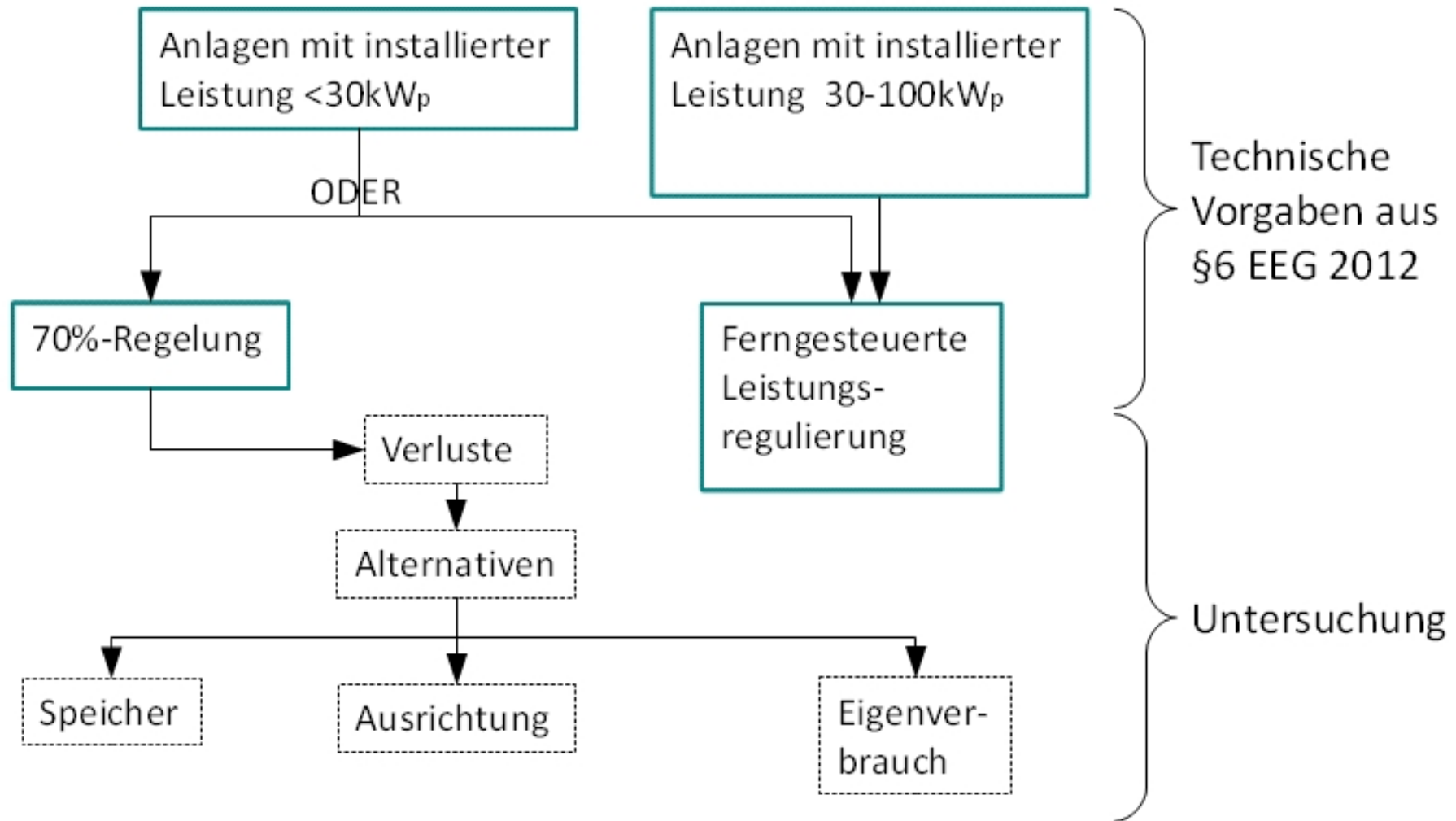
Wirkung §6 (1) EEG 2009 bei PV-Anlagen?

- Anlagen größer 100 kWp müssen Einrichtung installieren zur:
 - Ferngesteuerten Leistungsreduzierung bei Netzüberlastung
 - Abrufung der Ist-Leistung
- Installierte PV-Leistung bereitet größte Probleme auf Niederspannungsebene
 - Hauptsächlich eingespeiste PV-Leistung ins Niederspannungsnetz (85%)
 - Überwiegend Anlagen kleiner 100 kWp
- Auf PV-Einspeiseleistung kaum wirksam

- §6 (2) gilt für Anlagen bis 100 kW
- Regelung unterteilt
 - Anlagen kleiner 30 kW
 - Ferngesteuerte Leistungsreduzierung oder
 - 70%-Regelung
 - Anlagen 30 – 100 kW : ferngesteuerte Leistungsreduzierung

-
- 1 Einleitung
 - 2 Netzeinspeisung
 - 3 Entwicklung des § 6 EEG
 - i EEG 2009
 - ii EEG 2012
 - 4 Auswirkungen der neuen Vorgaben**
 - i Überblick
 - ii 70%- Regelung
 - iii Ferngesteuerte Leistungsregulierung
 - 5 Zusammenfassung und Ausblick

Überblick über technische Vorgaben der EEG Novelle



- Inbetriebnahme 23.11.2009
- Ausrichtung 190° Süd, 48° DN
- Anlagenüberwachung
SolarLog 500
- Standort: Berlin

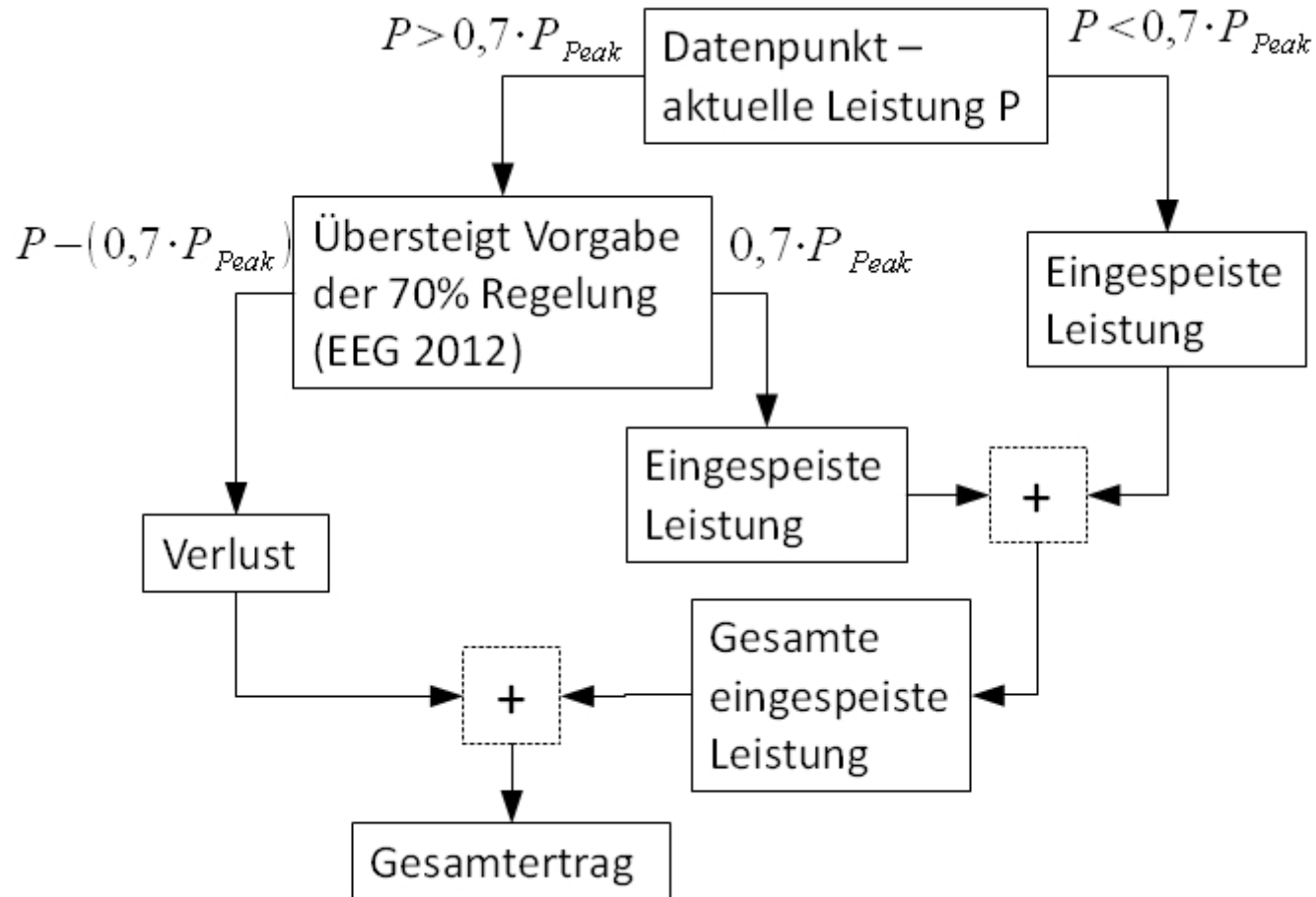


Abb. aus [6]

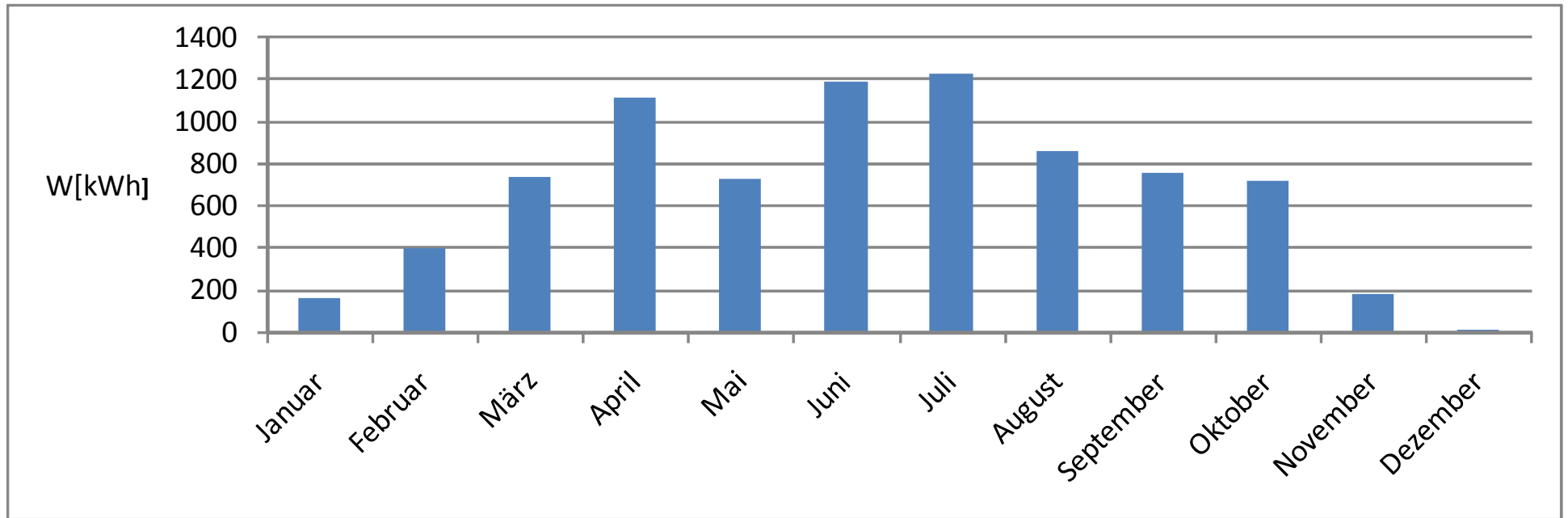
- Fläche 54,27 m²
- 9,14 kW_p installierte Leistung
- Kein Eigenverbrauch
- Messwerte (2010)
 - Einspeiseleistung
 - 5 Minuten Mittelwerte [10]
 - Messung wenn Wechselrichter (WR) aktiv

-
- 1 Einleitung
 - 2 Netzeinspeisung
 - 3 Entwicklung § 6 EEG
 - i EEG 2009
 - ii EEG 2012
 - 4 Auswirkungen der Vorgaben**
 - i Überblick
 - ii 70%-Regelung**
 - iii Ferngesteuerte Leistungsregulierung
 - 5 Zusammenfassung und Ausblick

Datenauswertung

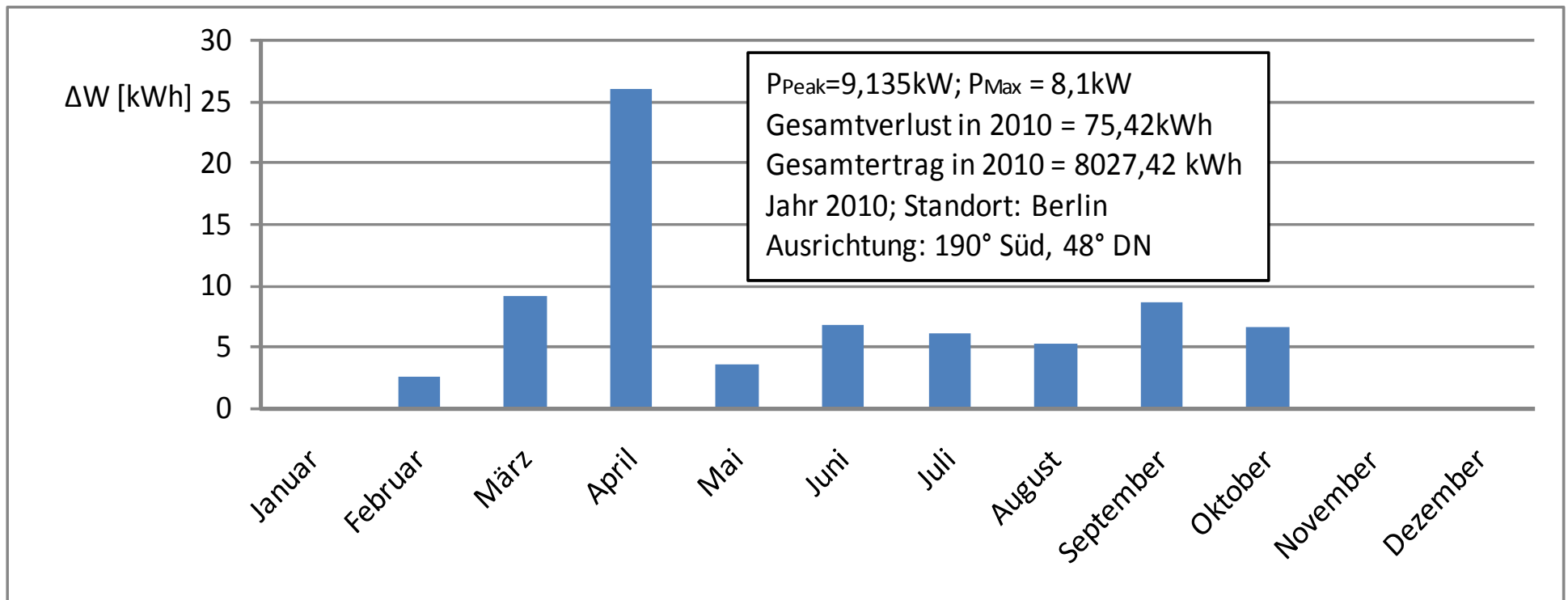


Gesamte generierte Leistung



Jahresertrag 8027,42kWh

Leistungsverluste durch 70%- Regelung



Verlust durch 70%-Regelung 75,42kWh

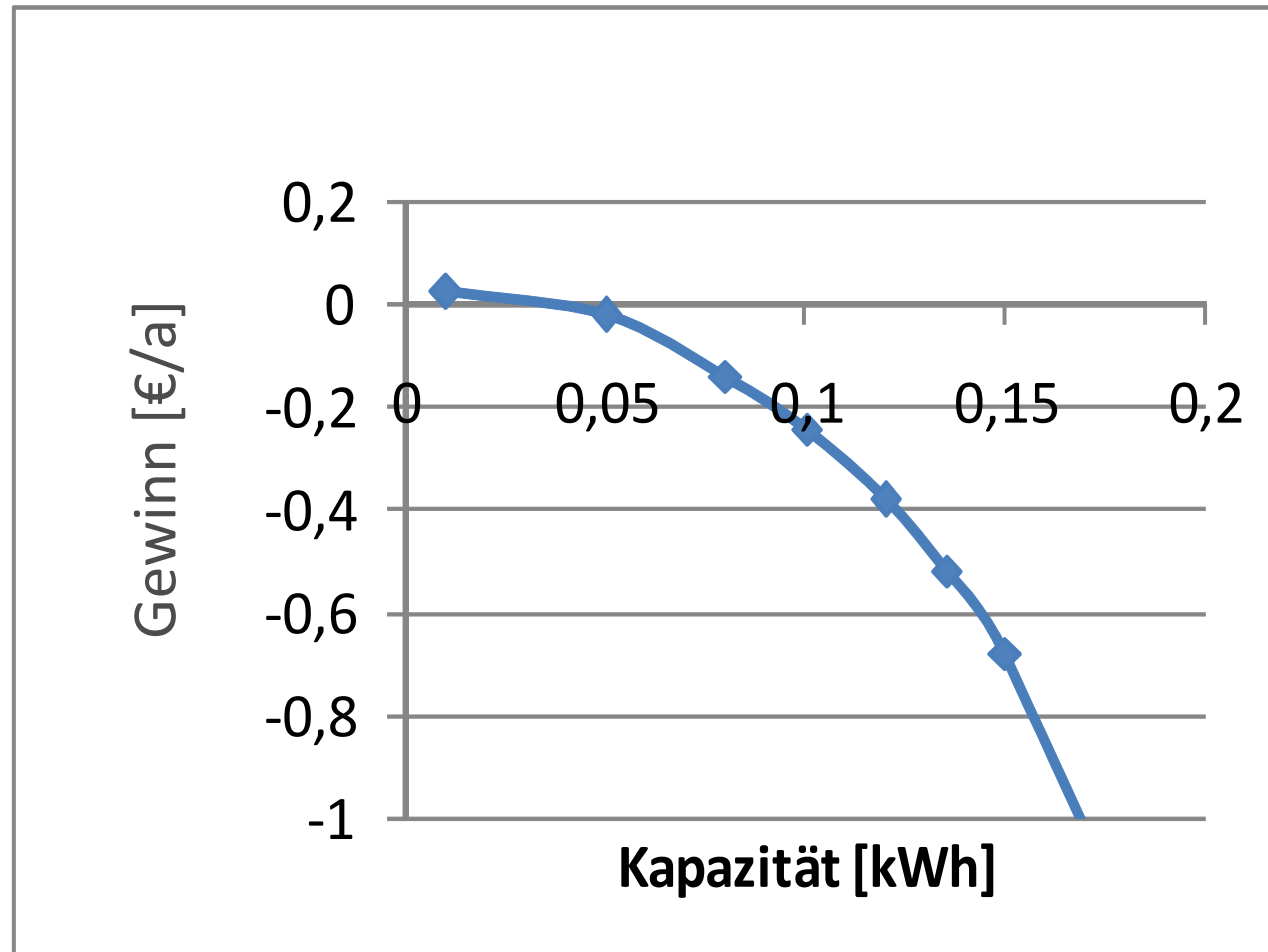
Prognose der Verlustleistung durch 70%-Regelung für Deutschland

- Verlustanteil ca. 1%
- Prognose Neuinstallationen 2012 PV (Gebäude) ca. 3695 MW [11, S.92]
- Betriebsstundenfaktor 850 h
- 31,44 GWh/a Verluste durch 70%-Regelung
- Wenn diese Leistung nutzbar wäre, könnten damit 7227 3-Personen-Haushalte versorgt werden

1. Alternative – Energiespeicher

- Batterie speichert „Verlustleistung“
- Einspeisen ins Netz
 - Einmal am Tag wenn Speicherfüllstand größer 0
 - Zu definierter Zeit, wenig PV-Leistung und rel. Hoher Bedarf; Abschätzung nach Haushaltslastgängen in VDI 4655 (z.B. Sommer 19Uhr)
- Batteriekapazität nach Gewinn optimiert
 - Gewinn = (gespeicherte Energie * Vergütung) - Kosten_{Kosten}
 - Netzeinspeisevergütung
 - Batterie: Zyklenzahl, Lebensdauer, Kosten und Wirkungsgrad

Auslegung des Speichers



2. Alternative – Ausrichtung

Abweichung von Süd-Ausrichtung

- Minderung der Einstrahlleistung im Peak mit Abweichung von Süd-Ausrichtung
- Peakverschiebung der Einstrahlleistung
 - Nach Westen Verschiebung des Peaks Richtung Nachmittag
 - Nach Osten Verschiebung des Peaks Richtung Vormittag
- Längere Einstrahldauer
- Berechnung der Ausrichtung, dass 70% der Peakleistung nicht überschritten werden

Berechnung

$$P_{el} = \eta_{PV} \eta_{WR} E \cdot A \cdot \cos \Theta$$

P_{el}	elektrische Leistung der PV-Anlage
η_{PV}	Wirkungsgrad des PV-Moduls
η_{WR}	Wirkungsgrad Wechselrichter
E	Einstrahlleistung [W/m ²]
A	Fläche des PV-Moduls
Θ	Einstrahlwinkel der Sonnenstrahlen auf geneigte Fläche

- $\cos \theta = f(\text{Breitengrad, Jahreszeit, Tageszeit, Neigung, Ausrichtung})$ [15]
- Zeitpunkt mit hoher Einstrahlung 21.06., 12:00 Uhr
- Bei Ausrichtung 143° (37° SO) Einhaltung 70%-Regel
- Jahresverluste von 3,5% gegenüber Beispielanlage

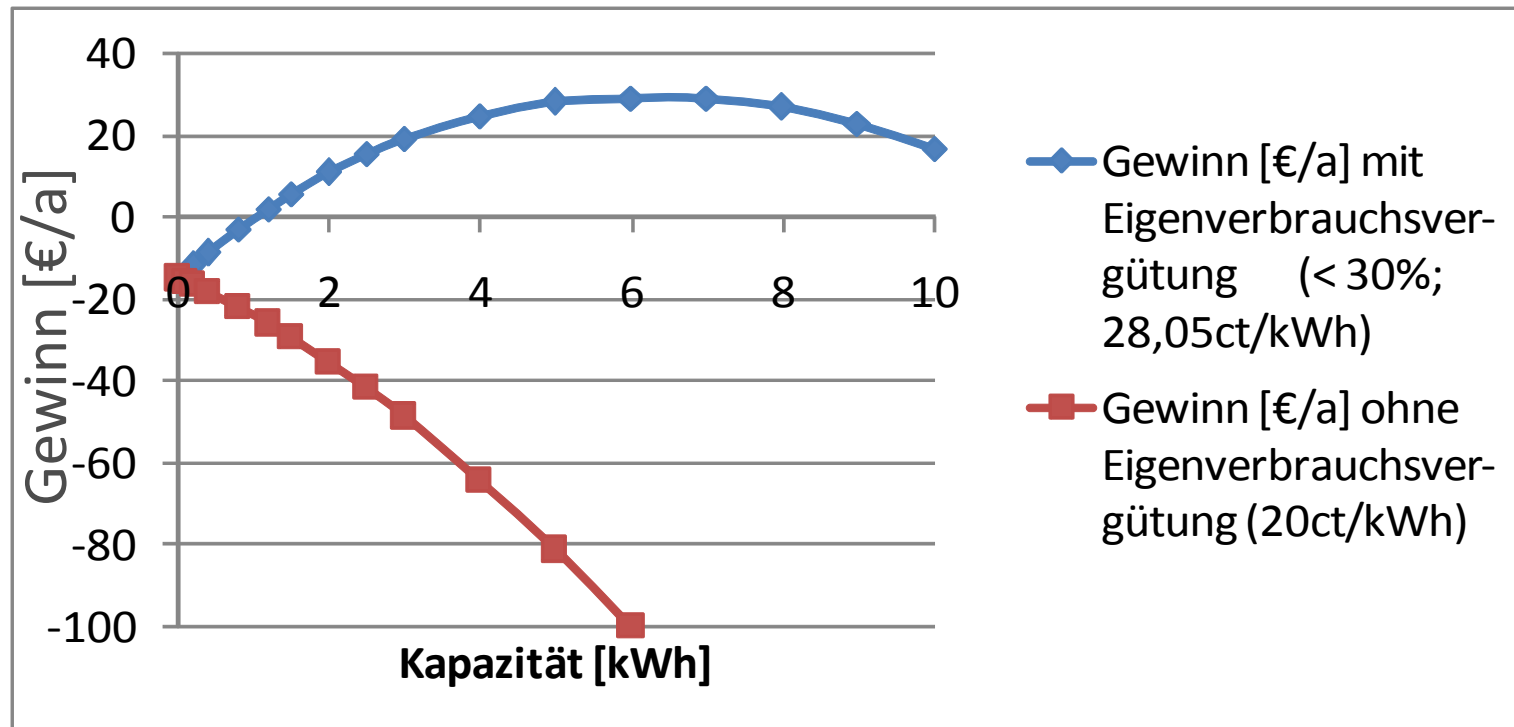
3. Alternative – Eigenverbrauch

- Batterie speichert unabhängig von 70%-Regelung
- Nutzung zum Eigenverbrauch
- Batteriekapazität nach Gewinn optimiert
- Betrachtung der Netzeinspeisung bei Optimierung vernachlässigt
- Gewinn inkl. Netzeinspeisung ist totaler Gewinn

$$\text{Gewinn}_{\text{tot}} = \left(W_{\text{Speicher}} \cdot \eta_{\text{Speicher}} \cdot 0,2805 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right) + \left(W - (W_{\text{Speicher}}) \cdot 0,2443 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right) - \text{Kosten}$$

Gewinn _{tot}	totaler Gewinn
W _{Speicher}	gespeicherte Energie
η _{Speicher}	Wirkungsgrad der Batterie

Auslegung des Speichers



-
- 1 Einleitung
 - 2 Netzeinspeisung
 - 3 Entwicklung § 6 EEG
 - i EEG 2009
 - ii EEG 2012
 - 4 Auswirkungen der Vorgaben**
 - i Überblick
 - ii 70%-Regelung
 - iii Ferngesteuerte Leistungsregulierung**
 - 5 Zusammenfassung und Ausblick

Umsetzung der ferngesteuerten Leistungsregulierung

- Netzbetreiber gibt Signal zur Reduzierung
- Leistungsreduzierung in 10%-Stufen
- Realisierung
 - Netzbetreiber sendet Rundsignal mit Informationen über Begrenzung
 - Wechselrichter muss diese innerhalb von 60s ausführen
- Kosten
 - Wechselrichter für Reduktion ~900€ [19]
 - Funkrundsteuerempfänger 23,3€/a [18]

Gründe zur Anwendung der Leistungsreduzierung

- Flexiblere Reaktion auf IST-Situation im Netz
- Signalgebung wenn Netzstabilität in Gefahr ist
 - Kurzfristige Überlastung der übergeordneten Netze
 - Extremer Frequenzanstieg

Auswirkungen

- Erhöhtes Potential für Netzstabilität
- Jährliche Ertragsverluste $\sim 0,5\%$ [19]
- Mehrkosten für Anlagenbetreiber
 - Mindert Attraktivität
 - Reduzierung Leistungszubau

Gegenüberstellung der Möglichkeiten

Variante	Zusätzliche Kosten/a bei einer Laufzeit von 20a	Energieverlustranteil [%]	Gewinn [€/a] für Beispielanlage
Ohne Vorgaben	0	0	1961,10
70%-Regelung	5	1	1938,16
70%-Regelung + Eigenverbrauch	419,4	2,2	1559,85
70%-Regelung + Ausrichtung	0	3,5	1892,46
Ferngesteuerte Leistungsregulierung	28,30	0,5	1931,29

-
- 1 Einleitung
 - 2 Netzeinspeisung
 - 3 Lösungsansätze durch technische Vorgaben im EEG
 - i EEG 2009
 - ii EEG 2012
 - 4 Auswirkungen der Vorgaben
 - i Überblick
 - ii 70%- Regelung
 - iii Ferngesteuerte Leistungsregulierung

5 Zusammenfassung und Ausblick

Erreichen der Zielstellung

- Die Problemstellung der Netzintegration von PV wird durch den § 6 (2) EEG 2012 berücksichtigt
- Führen zu Verlusten, Kosten und zusätzliche Unsicherheiten
 - Minderung der Nachfrage
 - Gegenläufig zum Hauptziel des EEG

Bewertung der Alternativen

- Für bessere Beurteilung der Alternativen
 - Mehr Anlagen prüfen
 - Modellierung vertiefen z.B. Optimale Ausrichtung ermitteln
- Alternativen (Speicher und Ausrichtung) haben hier kaum positive Wirkung
- Kleinanlagenbetreiber (kleiner 10 kWp) werden die Verluste durch 70%-Regelung hin nehmen

- Eigenverbrauch
 - Vorgaben und weiter bestehende Zusatzvergütung kann Bestrebungen hin zum Eigenverbrauch verstärken
 - Forschung und Entwicklung im Bereich Speichertechnologien ist unabdingbar
- Spezifiziertere Regelungen um Verluste zu Minimieren
 - Netzverhalten ist abhängig von Ort
 - Stadtnetze: wenig Fläche → wenig PV; hoher Leistungsbedarf
 - Auf dem Land: viel Fläche → viel PV; wenig Bedarf

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Fragen oder Anregungen?

Quellen 1/3

-
- [1] Photovoltaik- Strom aus Sonnenlicht für Verbundnetze und Inselanlagen; Heinrich Häberlin; 2. Auflage 2010; VDE Verlag
 - [2] Empfehlung zur Richtlinie zum Anschluss von Erzeugungsanlagen an das Niederspannungsnetz; Rolf Witzmann; TU München; Verband der bayrischen Wasser- und Energiewirtschaft e.V.; 15.05.2009
 - [3] Auswirkungen eines hohen Anteils dezentraler Erzeugungsanlagen auf die Netzstabilität bei Überfrequenz & Entwicklung von Lösungsvorschlägen zu deren Überwindung; Ecofys, IFK; 09.2011
 - [4] PV-Netzintegration; Technikkompodium 3.3
 - [5] Solarer Förderverein Deutschland e.V.; http://www.sfv.de/artikel/technische_und_betriebliche_vorgaben_auch_bei_pv.htm; letzter Abruf: 01.10.2011

Quellen 2/3

-
- [6] www.Sonnenertrag.eu, letzter Abruf 25.09.2011
 - [7] www.Klett.de, letzter Abruf 25.09.2011
 - [8] www.libra-energy.eu, letzter Abruf: 25.09.2011
 - [9] www.fronius.com, letzter Abruf: 25.09.2011
 - [10] <http://www.solarlog-home5.de/hornbruch/>, letzter Abruf 26.09.2011
 - [11] Mittelfristprognose zur deutschlandweiten Stromerzeugung aus regenerativen Kraftwerken für die Kalenderjahre 2011-2015; IE; 29.10.2010
 - [12] http://dgsberlin.de/fileadmin/PDF/110512_DGS_Stellungnahme_EEG_Handlungsempfehlung.pdf; letzter Abruf 03.10.2011
 - [13] <http://www.oeko-energie.de/solarbatterien.htm>; letzter Abruf 01.10.2011
 - [14] Erstellung eines Modells zur Simulation der Solarstrahlung auf beliebig orientierte Flächen und deren Trennung in Diffus- und Direktanteil; Peter Ritzenhoff; Forschungszentrum Jülich; 1992

Quellen 3/3

-
- [15] Photovoltaik Engineering; Andreas Wagner; Springer 2010
 - [16] ww.energie-zaehler.com/; letzter Abruf 06.10.2011
 - [17] Erneuerbare Energien Gesetz 2012
 - [18] <http://www.efr-funk.com/de/press/funktionen/index.htm>; letzter Abruf 6.10.2011
 - [19] <http://www.bva-solar.de/sww/content/solarstrom/details.php?id=930>; letzter Abruf 03.10.2011
 - [20] Aufnahmefähigkeit der Verteilnetze für Strom aus Photovoltaik; Rolf Witzmann, Georg Kerber; TU München; ew Fachthema Erneuerbare Energien; 2007
 - [21] http://www.epaz-solar.de/attachments/Image/Strom_aus_PV_bis_2020.jpg, letzter Abruf 03.10.2011

Anhang

Frequenzabhängige Leistungsregulierung

„Jojo-Effekt“

- Wechselrichter sperren Anlagen automatisch, wenn Netzfrequenz außerhalb des Bereichs 49,8 und 50,2 Hz liegt
- Alle umliegend Anlagen werden gleichzeitig gesperrt → Frequenz wieder normalisiert → alle Anlagen schalten wieder zu → ...

Vorgabe durch Nieder-spannungsrichtlinie VDE AR-N 4105

- Stufenweise Leistungsregulierung zwischen 50,2 und 51,5Hz
- angesteuerten Wechsel-richter reduziert Leistung um 40%/Hz [4]

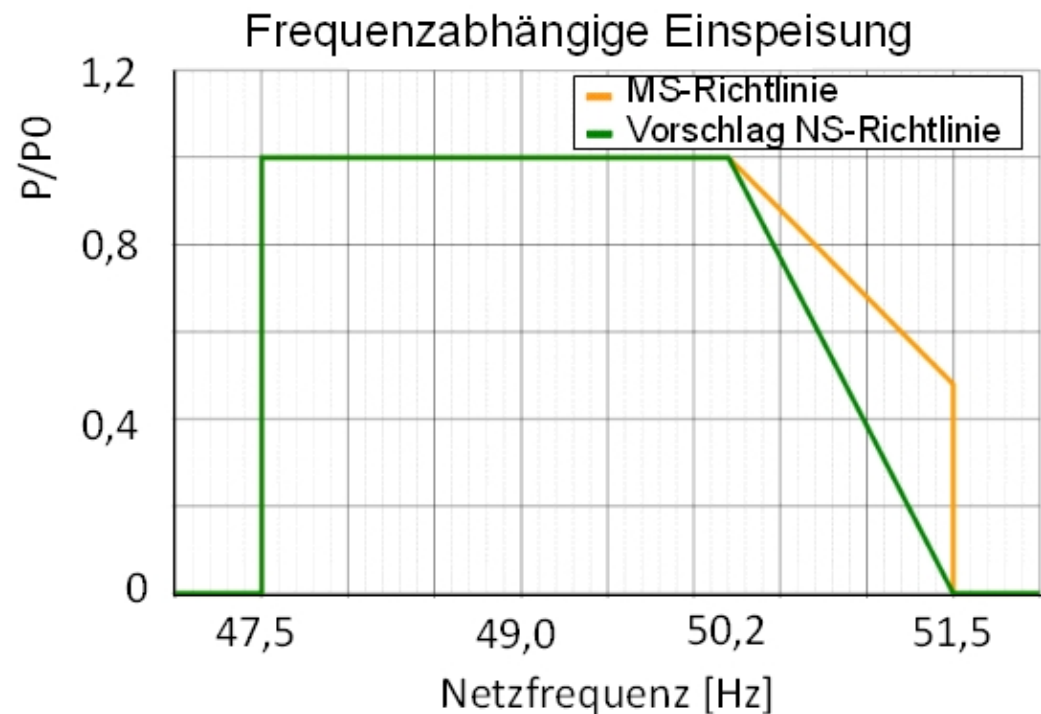


Abb. nach [2]

Technische Daten der Beispielanlage

Beschreibung der Beispielanlage (Datensatz vorhanden)

- PV-Anlage ZRE 203Wp GE-50M [8]
 - 1 Modul = 50 Monokristalline Zellen (156 mm)=1,217m²
 - 203 W_p/Modul
 - 45 Module → 9,14 kW_p installierte Leistung
 - Wirkungsgrad = $9,14\text{kWp}/(1\text{kW/m}^2 \cdot \text{A}) \cdot 100\% = 16,8\%$
- Wechselrichter Fronius IG 100 Plus [9]
 - $P_{\text{max,ein}} = 8,43 \text{ kW}$
 - $P_{\text{max,aus}} = 8,00 \text{ kW}$

Leistungsberechnung

- Einspeise-Reduzierung auf $0,7 * 9,14 \text{kW} = 6,983 \text{kW}$
 - Berechneter Jahresertrag $8027,42 \text{kWh}$
 - Einspeiseverluste im Jahr $75,42 \text{kWh}$
 - Verlustanteil ca. 1%
- } Ertrag für EVU = 7953kWh

Prognose Verlustleistung 2012 für Deutschland durch 70%-Regelung

- Zubau Dachanlagen <1MW 2012~3695MW
- Gesamte installierte Leistung PVDach 2012 ~ 27024MW
- Damit Anteil Neuinstallationen = 13,673%
- Gesamter Ertrag PV(Dach) 2012 ~22991GWh
- Damit Ertrag Neuinstallationen = 3143,6GWh/a
- 1% Verlustanteil durch 70%-Regelung = 31,44GWh/a
- Stromverbrauch 3 Personenhaushalt~ 4350kWh/a [Destatis]
- Damit Verlustleistung könnte 7227 3-Personenhaushalte voll versorgen

Auslegung zu Alternative 1

Batterie

- Maximale Entladetiefe 50%
- Kosten pro 1kWh ca. 200€ [13]
- Zyklenzahl (50% Entladetiefe) ~ 1000 → 167 Zyklen/Jahr → Lebensdauer ca. 6a
- Wirkungsgrad Batterie ~ 10%
- Einspeisevergütung 24,43ct/kWh
- Kein Gewinn (max. 2ct)

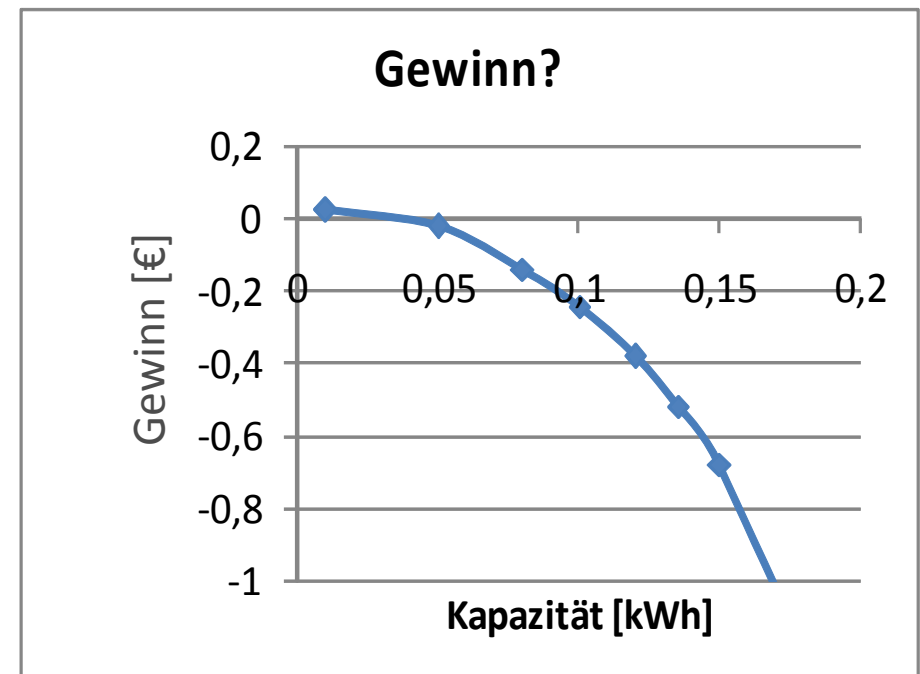


Abb. 11: Optimierung der Batteriekapazität

2. Alternative – Ausrichtung

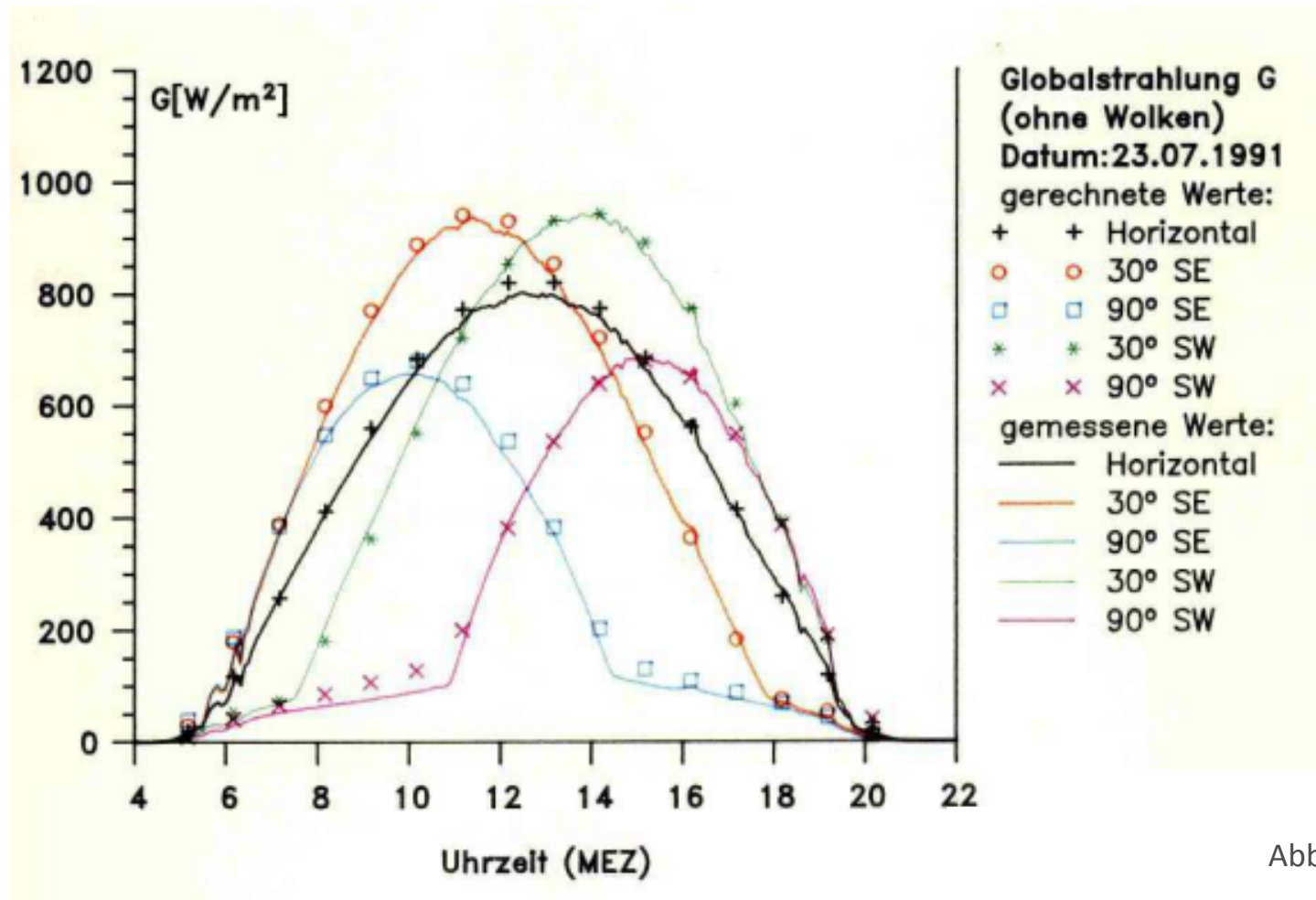


Abb. aus [14]

Flächenfaktor für Alternative 2

- Flächenfaktor FA(Ausrichtung Neigung) gibt Änderung der aufs Jahr aufsummierten täglichen Globalstrahlung durch geneigte Fläche an
$$GA_T = FA \cdot GA$$
- Da Rest unabhängig von Ausrichtung → Ertrag durch geneigte Fläche ist Ertrag mal FA
- FA bei 143° Süd-Ost-Ausrichtung und 48° Neigung ist 112 [15]
- Für die Herkömmliche Ausrichtung der Beispielanlage (190°, 48°) → FA = 115,5
- Verluste durch angepasste Ausrichtung von 3,5%, aber 1% Verluste durch 70%-Regelung ausgeglichen → 2,5% Verluste

Auslegung Alternative 3

Tatsächlicher Gewinn

$$\text{Gewinn} = \left(W_{\text{Speicher}} \cdot \eta_{\text{Speicher}} \cdot 0,2805 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right) + \left(W - (W_{\text{Speicher}}) \cdot 0,2443 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right) - \text{Kosten}$$

- Kosten
 - Zähler ~ 300€ [16]
 - Speicher ~ 200€/kWh → 1200€
- Vergütung
 - Eigenverbrauch < 30% → Vergütung – 16,38ct/kWh + Strompreis (~20ct/kWh) → 28,38ct/kWh [17]
 - Netzeinspeisung → 24,43ct/kWh [17]