

Diplomarbeit

Rückwirkungen hoher Photovoltaik- Einspeisungen auf Mittel- und Niederspannungsnetze

Mark Seybold



Hochschule Kempten
University of Applied Sciences

Zusammenfassung

Das Ziel dieser Diplomarbeit ist die Berechnung der Rückwirkungen eines stetig steigenden Photovoltaikausbaus im Nieder- und Mittelspannungsnetz im Untersuchungsgebiet um Wildpoldsried.

Dieses Thema für die Diplomarbeit entstand aus dem Projekt IRENE (Integration Regenerative Energien) welches von der Hochschule Kempten, dem Allgäuer Überlandwerk GmbH, der RWTH Aachen und von der Firma Siemens durchgeführt wird. Ein Teilgebiet des Projektes ist die Untersuchung der Auswirkungen von regelbaren Ortsnetztransformatoren und der PV-Blindleistungsregelung auf das vorhandene Netz im Untersuchungsgebiet.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurden verschiedene Tageslastgangkurven mit unterschiedlichen Ausrichtungen und Neigungen von PV-Anlagen mit dem Programm Insel 8 erstellt und ausgewertet. Als Ergebnis konnte festgestellt werden, dass durch die Überlagerung verschiedener Tageslastgangkurven die Auswirkungen auf eine gleichmäßigere Lastverteilung über den Tag gering sind, jedoch die erzeugte Energie über einen ganzen Tag deutlich sinkt.

Zurzeit sind im gesamten Untersuchungsgebiet 6234 kW_p und in Wildpoldsried Mitte 115 kW_p PV-Spitzenleistung (stand Januar 2012) installiert. Im ersten Schritt wurde für das Gebiet Wildpoldsried Mitte die maximal installierbare PV-Einspeiseleistung ermittelt, die sich auf 675 kW_p beläuft und somit fast um den Faktor 6 größer ist als die derzeitig installierte PV-Spitzenleistung.

Diese PV-Spitzenleistung wurde mit dem von der Firma RIWA zur Verfügung gestellten Daten für die nutzbaren Dachflächen und des Solarenergiepotentials für alle Dächer im Untersuchungsgebiet Wildpoldsried Mitte ermittelt.

Mit Hilfe des angegebenen Solarenergiepotentials konnte im Anschluss eine Wirtschaftlichkeitsberechnung unter den aktuellen Rahmenbedingungen durchgeführt werden, sodass für die jeweiligen Dachflächen eine Aussage über die Wahrscheinlichkeit der Installation einer PV-Anlage getroffen werden konnte. Als Ergebnis stellte sich heraus, dass bei derzeitigen Stand die Investition in eine PV-Anlage mit einem Solarenergiepotential kleiner 1100 kWh/a sehr unwahrscheinlich ist.

Nach der Ermittlung der maximal installierbaren PV-Einspeiseleistung wurde eine Berechnung über die maximale Belastbarkeit und der maximalen Spannungsänderung unter Einhaltung der vorgeschriebenen Kriterien mit dem Programm PSS SINCAL durchgeführt. Als Ergebnis wurde festgestellt, dass für die Beurteilung des Netzes stets auf die maximale Belastbarkeit und den maximalen Spannungsfall gleichzeitig geachtet werden muss.

Für die Beurteilung des vorhandenen Leitungsnetzes im Untersuchungsgebiet Wildpoldsried Mitte wurde festgestellt, dass es für die maximal installierbare PV-Einspeiseleistung von 675 kW nicht ausreichend ausgebaut ist.

Für einen bestimmten Ausbaugrad der Photovoltaik wäre somit eine Umstrukturierung des vorhandenen Netzes notwendig. Zur Umstrukturierung zählen unter anderem der Netzausbau, die Transformatorregelung und die PV-Blindleistungsregelung. Welche Alternative sinnvoll ist muss für die einzelnen Fälle speziell analysiert und auf deren notwendigen Kosten untersucht werden.

Am Ende dieser Diplomarbeit wurde noch der Unterschied der statischen zur dynamischen Betrachtung untersucht. Als Ergebnis wurde festgestellt, dass es sinnvoll ist stets beide Betrachtungen zu untersuchen.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	I
Danksagung	III
Inhaltsverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis.....	XI
Symbolverzeichnis	XII
1. Einleitung	1
2. Grundlagen.....	4
2.1 Grundlagen der Energieversorgungsnetze	4
2.2 Spannungshaltung in elektrischen Netzen	5
2.3 Belastbarkeit in elektrischen Netzen	6
2.4 Möglichkeiten der Spannungsstabilisierung.....	8
2.4.1 Regelbarer Transformator	8
2.4.2 PV-Blindleistungsregelung	11
2.5 Grundlagen für die Berechnung von Photovoltaikanlagen	12
2.5.1 Potential der Photovoltaik	12
2.5.2 Wirkungsweise einer Photovoltaik-Zelle	13
2.5.3 Berechnungsgrundlagen für die Standortauswahl von Photovoltaikanlagen	14
2.5.4 Berechnung des Solarenergiepotentials.....	15
2.5.5 Eigenschaften von Photovoltaikanlagen.....	23
2.5.6 Bestimmung der maximalen Leistung von Photovoltaikanlagen	24
2.5.7 Wirtschaftlichkeitsberechnung von PV-Anlagen	25
2.5.7.1 Allgemeines zur Wirtschaftlichkeitsberechnung.....	25
2.5.7.2 Berechnung der Wirtschaftlichkeit von PV-Anlagen	26

2.6	Das EEG 2012 (Erneuerbare Energien Gesetz)	29
2.6.1	Zweck des Gesetzes	29
2.6.2	EEG Vergütungssätze für PV-Anlagen	29
2.7	Technische Vorgaben für den Anschluss von PV-Anlagen.....	30
3.	Berechnung von PV-Tageslastgangkurven mit Insel 8	32
4.	Beschreibung des Untersuchungsgebietes.....	35
5.	Berechnung der installierbaren PV-Leistung im Untersuchungsgebiet.....	38
5.1	RIWA Daten.....	38
5.2	Berechnung der für einen Quadratmeter installierbaren PV-Leistung	39
5.3	Bestimmung des Ausnutzungsgrades der nutzbaren Dachfläche	42
5.4	Berechnung der installierbaren PV-Leistung in dem Untersuchungsgebiet Wildpoldsried Mitte mit den von RIWA angegebenen Dachflächeneigenschaften.....	44
5.4.1	Anzahl der Dachflächen im Untersuchungsgebiet Wildpoldsried Mitte	45
5.4.2	Höhe der nutzbaren Dachfläche im Untersuchungsgebiet Wildpoldsried Mitte	47
5.4.3	Höhe der maximal installierbaren PV-Leistung im Untersuchungsgebiet Wildpoldsried Mitte laut RIWA.....	48
5.5	Bestimmung der maximal installierbaren PV-Leistung im Untersuchungsgebiet Wildpoldsried Mitte mit der Betrachtung von Luftbildern.....	49
6.	Bestimmung der Belastbarkeit und der kritischen Trassenabschnitte im 20-kV- Mittelspannungsring und dem Niederspannungsnetz Wildpoldsried Mitte	52
6.1	Bestimmung der verschiedenen Belastbarkeiten im 20-kV-Mittelspannungsring	53
6.2	Bestimmung der verschiedenen Belastbarkeiten im Niederspannungsnetz Wildpoldsried Mitte	55
7.	Beschreibung der Regelparameter für die Berechnungen in SINCAL.....	56

7.1	Transformatorregelung.....	56
7.2	PV-Blindleistungsregelung	57
7.3	Eingestellte Regelparameter der Transformatorregelungen für die Berechnungen in SINCAL	58
7.3.1	Eingestellte Regelparameter am 110/20-kV-Transformator in der Trafostation Ursulasried	58
7.3.2	Eingestellte Regelparameter für die Ortsnetztransformatoren mit zwei Regelstufen von je 3,5 %.....	58
7.3.3	Eingestellte Regelparameter für die Ortsnetztransformatoren mit 20 Regelstufen von je 1 %.....	59
7.4	Eingestellte Parameter der PV-Blindleistungsregelung für die Berechnungen in SINCAL	60
8.	Ermittlung der Grenzen für die maximalen Spannungsänderung und der maximalen Belastbarkeit infolge steigender PV-Einspeisung bei statischer Betrachtung in Abhängigkeit der Verbraucherleistung und der Regelungsart.....	61
8.1	Ermittlung der Grenzen für die maximale Spannungsänderung infolge steigender PV-Einspeiseleistung in Abhängigkeit der Verbraucherleistung und der Regelungsart im gesamten Untersuchungsgebiet.....	63
8.1.1	Maximale Spannungsänderung im gesamten Untersuchungsgebiet ohne Regelung im Normalbetrieb	63
8.1.2	Maximale Spannungsänderung im gesamten Untersuchungsgebiet ohne Regelung im gestörten Betrieb.....	64
8.1.3	Maximale Spannungsänderung im gesamten Untersuchungsgebiet mit PV- Blindleistungsregelung im gestörten Betrieb	65
8.1.4	Maximale Spannungsänderung im gesamten Untersuchungsgebiet mit der Transformatorregelung 1 (Regelbereich $\pm 3,5\%$) im gestörten Betrieb	65

8.1.5	Maximale Spannungsänderung im gesamten Untersuchungsgebiet mit der Transformatorregelung 2 (Regelbereich $\pm 10\%$) im gestörten Betrieb	66
8.1.6	Maximale Spannungsänderung im gesamten Untersuchungsgebiet mit der Transformatorregelung 1 (Regelbereich $\pm 3,5\%$) und der PV-Blindleistungsregelung im gestörten Betrieb	66
8.1.7	Maximale Spannungsänderung im gesamten Untersuchungsgebiet mit der Transformatorregelung 2 (Regelbereich $\pm 10\%$) und der PV-Blindleistungsregelung im gestörten Betrieb	67
8.1.8	Auswertung für die maximale Spannungsänderung im gesamten Untersuchungsgebiet.....	67
8.2	Ermittlung der Grenzen für die maximale Spannungsänderung infolge steigender PV-Einspeiseleistung in Abhängigkeit der Verbraucherleistung und der Regelungsart im Niederspannungsnetz Wildpoldsried Mitte	71
8.2.1	Maximale Spannungsänderung im Niederspannungsnetz Wildpoldsried Mitte ohne Regelung im gestörten Betrieb.....	71
8.2.2	Maximale Spannungsänderung im Niederspannungsnetz Wildpoldsried Mitte mit PV-Blindleistungsregelung im gestörten Betrieb	72
8.2.3	Maximale Spannungsänderung im Niederspannungsnetz Wildpoldsried Mitte mit der Transformatorregelung 1 (Regelbereich $\pm 3,5\%$) im gestörten Betrieb	72
8.2.4	Maximale Spannungsänderung im Niederspannungsnetz Wildpoldsried Mitte mit der Transformatorregelung 2 (Regelbereich $\pm 10\%$) im gestörten Betrieb	73
8.2.5	Maximale Spannungsänderung im Niederspannungsnetz Wildpoldsried Mitte mit der Transformatorregelung 1 (Regelbereich $\pm 3,5\%$) und der PV-Blindleistungsregelung im gestörten Betrieb	73

8.2.6	Maximale Spannungsänderung im Niederspannungsnetz Wildpoldsried Mitte mit der Transformatorregelung 2 (Regelbereich $\pm 10\%$) und der PV- Blindleistungsregelung im gestörten Betrieb	74
8.2.7	Auswertung für die maximale Spannungsänderung im Niederspannungsnetz Wildpoldsried Mitte	74
8.3	Ermittlung der Grenzen für die maximale Belastbarkeit im 20-kV- Mittelspannungsring infolge steigender PV-Einspeiseleistung in Abhängigkeit der Verbraucherleistung und der Regelungsart.....	78
8.3.1	Maximale Belastbarkeit im 20-kV-Mittelspannungsring ohne Regelung im Normalbetrieb	78
8.3.2	Maximale Belastbarkeit im 20-kV-Mittelspannungsring ohne Regelung im gestörten Betrieb	79
8.3.3	Ertüchtigung des 20-kV-Mittelspannungsringes auf eine Belastbarkeit von 300 A im gestörten Betrieb.....	79
8.3.4	Maximale Belastbarkeit im 20-kV-Mittelspannungsring mit der PV- Blindleistungsregelung im gestörten Betrieb	80
8.3.5	Maximale Belastbarkeit im 20-kV-Mittelspannungsring mit der Transformatorregelung 1 (Regelbereich $\pm 3,5\%$) im gestörten Betrieb	80
8.3.6	Maximale Belastbarkeit im 20-kV-Mittelspannungsring mit der Transformatorregelung 2 (Regelbereich $\pm 10\%$) im gestörten Betrieb	81
8.3.7	Maximale Belastbarkeit im 20-kV-Mittelspannungsring mit der Transformatorregelung 1 (Regelbereich $\pm 3,5\%$) und der PV- Blindleistungsregelung im gestörten Betrieb	81
8.3.8	Maximale Belastbarkeit im 20-kV-Mittelspannungsring mit der Transformatorregelung 2 (Regelbereich $\pm 10\%$) und der PV- Blindleistungsregelung im gestörten Betrieb	82
8.3.9	Auswertung für die maximale Belastbarkeit im 20-kV-Mittelspannungsring	82

8.4	Ermittlung der Grenzen für die maximale Belastbarkeit im Niederspannungsnetz Wildpoldsried Mitte infolge steigender PV-Einspeiseleistung in Abhängigkeit der Verbraucherleistung und der Regelungsart.....	86
8.4.1	Maximale Belastbarkeit des Niederspannungsnetzes Wildpoldsried Mitte ohne Regelung im gestörten Betrieb.....	86
8.4.2	Ertüchtigung des Niederspannungsnetzes Wildpoldsried Mitte auf eine Belastbarkeit von 300 A im gestörten Betrieb	87
8.4.3	Maximale Belastbarkeit des Niederspannungsnetzes Wildpoldsried Mitte mit der PV-Blindleistungsregelung im gestörten Betrieb.....	88
8.4.4	Maximale Belastbarkeit des Niederspannungsnetzes Wildpoldsried Mitte mit der Transformatorregelung 1 (Regelbereich $\pm 3,5\%$) im gestörten Betrieb	88
8.4.5	Maximale Belastbarkeit des Niederspannungsnetzes Wildpoldsried Mitte mit der Transformatorregelung 2 (Regelbereich $\pm 10\%$) im gestörten Betrieb	89
8.4.6	Maximale Belastbarkeit des Niederspannungsnetzes Wildpoldsried Mitte mit der Transformatorregelung 1 (Regelbereich $\pm 3,5\%$) und der PV-Blindleistungsregelung im gestörten Betrieb	89
8.4.7	Maximale Belastbarkeit des Niederspannungsnetzes Wildpoldsried Mitte mit der Transformatorregelung 2 (Regelbereich $\pm 10\%$) und der PV-Blindleistungsregelung im gestörten Betrieb	90
8.4.8	Auswertung für die maximale Belastbarkeit im Niederspannungsnetz Wildpoldsried Mitte.....	90
8.5	Fazit für die maximale PV-Einspeiseleistung unter Berücksichtigung der Spannungsänderung und der Belastung.....	93
9.	Vergleich der statischen mit der dynamischen Betrachtung.....	94
9.1	Statische Betrachtung.....	95

9.2 Dynamische Betrachtung.....	96
9.3 Fazit der Unterscheidung zwischen statischer und dynamischer Betrachtung.....	97
10. Quellenverzeichnis	98
Anhang	VI
Erklärung	IX
Ermächtigung.....	X