

Diplomarbeit

# Netzurückwirkungen auf Niederspannungsnetze infolge hohem Anteil regenerativer Einspeisung

Bernd Brennauer



Hochschule Kempten  
University of Applied Sciences



# Zusammenfassung

## Ziele der Diplomarbeit

Die Ziele dieser Diplomarbeit sind die Auswertung von Smart Meter Messungen, die Bewertung des Potentials regenerativer Energieträger, die Beurteilung von Netzzrückwirkungen, ein Vergleich verschiedener Netzberechnungsmethoden und die Simulation von Zukunftsszenarien des Ausbauzustandes regenerativer Energien.

## Ergebnisse der Diplomarbeit

Im Allgäu besteht ein großes Potential für die Nutzung regenerativer Energiequellen. Eine Bewertung dieser Potentiale und deren Einflussfaktoren erfolgt in den Kapiteln 3 und 4. Für das Gebiet der Allgäuer Überlandwerk GmbH ergibt sich ein installierbares Potential von 706 MW. Den größten Anteil dieses Potentials hat mit 508 MWp die Photovoltaik.

Die Auswertung von Smart Meter Messwerten bringt keine Möglichkeit das Verbrauchsverhalten zu klassifizieren. Diese Auswertung zeigt, dass die Wirkfaktoren der Privathaushalte in 58,13% der Fälle zwischen 0,99 kapazitiv und 0,99 induktiv liegen und somit deutlich näher an 1 sind als bisher angenommen.

Für eine realitätsnahe Netzberechnung wurden Smart Meter Profile gewählt, skaliert und in der Netzberechnungssoftware verteilt.

Bei einem Vergleich der Netzberechnungsmethoden ergibt das bisherige Beurteilungsverfahren, die Lastflussrechnung der Variante „Einspeisung + gesicherte Last“, immer höhere relative Spannungswerte als die Lastganganalysen der Varianten „Standardlastprofil Sommer und Einspeisung“ und „Smart Meter Profil Sommer und Einspeisung“. Jedoch sind Unterschiede der Siedlungskategorien zu erkennen.

Im Ortsnetz von Wildpoldsried sorgt die Vielzahl der Verbraucher für deutlich niedrigere Spannungswerte der Lastganganalyse im Vergleich zur Variante

„Einspeisung + gesicherte Last“. Bei ländlichen Siedlungskategorien werden diese Differenzen geringer, da hier normalerweise die Spannung durch die hohe Einspeiseleistung angehoben wird und die wenigen Verbraucher dieser Spannungsanhebung nicht so stark entgegenwirken.

Gleiches spiegeln die Zukunftsszenarien beider Ortsnetze wider. Im Ortsnetz Eufnach ergeben sich bei der Simulation der maximal möglichen PV-Leistung (618 kWp) sehr hohe Spannungswerte. Obwohl im Ortsnetz Wildpoldsried eine höhere PV-Leistung (700 kWp) angenommen wird, sind hier die Spannungswerte in der Regel niedriger. Dies ist auf die Vielzahl der Verbraucher zurückzuführen. Dennoch ist keine allgemeingültige Aussage möglich, da auch in Wildpoldsried an ungünstigen Netzausläufern Spannungserhöhungen von über 10 % simuliert werden.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Sperrvermerk</b>	
<b>Zusammenfassung</b>	<b>I</b>
<b>Danksagung</b>	<b>III</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>IV</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>VIII</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>XI</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>XII</b>
<b>Symbolverzeichnis</b>	<b>XV</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Auswertung von Smart Meter Daten</b>	<b>3</b>
2.1 Grundlagen Smart Meter . . . . .	3
2.2 Gebiete für Smart Meter Messungen . . . . .	5
2.3 Auswertung von Smart Meter Daten . . . . .	6
2.3.1 Gruppierung von Smart Meter Daten . . . . .	7
2.3.2 Blindleistungsverhalten . . . . .	10
2.3.3 Wirkfaktor . . . . .	11
2.3.4 Überschreitung von Spannungsgrenzen . . . . .	12
2.3.5 Ergebnisse für die weitere Betrachtung . . . . .	13
2.3.5.1 Verbrauchsprofile . . . . .	13
2.3.5.2 Erzeugungsprofile . . . . .	16
<b>3 Nutzung regenerativer Energieträger</b>	<b>18</b>
3.1 Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien . . . . .	18
3.2 Entwicklung der erneuerbaren Energieerzeugung . . . . .	20

3.2.1 Anteil regenerativer Energien an der Bruttostromerzeugung Deutschlands . . . . .	20
3.2.2 Anteil regenerativer Energien bei der AÜW GmbH . . . . .	20
3.2.3 Entwicklung der regenerativen Energieerzeugung im AÜW-Gebiet . . . . .	21
3.3 Einflüsse auf Ausbau und Potential erneuerbarer Energien . . . . .	24
3.4 Nutzung regenerativer Energiequellen . . . . .	25
3.4.1 Nutzung der Sonnenenergie . . . . .	26
3.4.1.1 Solarthermische Kraftwerke . . . . .	26
3.4.1.2 Photovoltaikanlagen . . . . .	28
3.4.1.3 Weitere Arten zur Nutzung der Sonnenenergie . . . . .	31
3.4.2 Nutzung der Wasserkraft . . . . .	31
3.4.3 Nutzung der Windenergie . . . . .	33
3.4.4 Nutzung der Geothermie . . . . .	34
3.4.5 Nutzung von Biomasse und Biogas . . . . .	36
<b>4 Potentiale erneuerbarer Energieträger</b>	<b>38</b>
4.1 Potential der Photovoltaik . . . . .	38
4.1.1 Einflussfaktoren auf das Potential der Photovoltaik . . . . .	38
4.1.1.1 Entwicklung der Modulpreise . . . . .	39
4.1.1.2 Modulwirkungsgrad . . . . .	41
4.1.2 Potential der Photovoltaik im AÜW-Gebiet . . . . .	43
4.1.2.1 Potentialabschätzung basierend auf den Gemeindeflächen . . . . .	43
4.1.2.2 Potentialabschätzung basierend auf den Gebäudeflächen . . . . .	44
4.1.2.3 Potentialabschätzung der Ortsnetze . . . . .	46
4.1.2.4 Rückrechnung über das PV-Potential Bayerns . . . . .	50
4.1.2.5 Vergleich der ermittelten Potentiale . . . . .	51
4.1.2.6 Potentialabschätzung durch Kombination der Kapitel 4.1.2.2 und 4.1.2.3 . . . . .	52
4.1.3 Potential der Photovoltaik im Modellgebiet . . . . .	54
4.1.4 Gegenüberstellung der PV-Potentiale mit der PEESA-Studie . . . . .	55
4.2 Potential der Wasserkraft . . . . .	56
4.2.1 Einflussfaktoren auf das Potential der Wasserkraft . . . . .	56
4.2.2 Potential der Wasserkraft im Modellgebiet . . . . .	56
4.2.3 Potential der Wasserkraft im AÜW-Gebiet . . . . .	57
4.3 Potential der Windkraft . . . . .	57

4.3.1	Einflussfaktoren auf das Potential der Windkraft . . . . .	58
4.3.2	Potential der Windkraft im Modellgebiet . . . . .	59
4.3.3	Potential der Windkraft im AÜW-Gebiet . . . . .	60
4.4	Potential der Geothermie . . . . .	60
4.4.1	Einflussfaktoren auf das Potential der Geothermie . . . . .	60
4.4.2	Potential der Geothermie im Modellgebiet . . . . .	61
4.4.3	Potential der Geothermie im AÜW-Gebiet . . . . .	62
4.5	Potential der Biomasse und Biogas . . . . .	62
4.5.1	Einflussfaktoren auf das Potential der Biomasse . . . . .	62
4.5.2	Potential der Biomasse im Modellgebiet . . . . .	63
4.5.3	Potential der Biomasse im AÜW-Gebiet . . . . .	63
4.6	Zusammenfassung der ermittelten Potentiale . . . . .	64
<b>5</b>	<b>Netzurückwirkungen durch regenerative Einspeisung</b>	<b>65</b>
5.1	Grenzwerte der Spannung . . . . .	66
5.1.1	Spannungsgrenzen . . . . .	66
5.1.2	Zulässige Spannungsänderung . . . . .	67
5.1.3	Schnelle Spannungsänderungen . . . . .	68
5.2	Unsymmetrie . . . . .	69
5.3	Oberschwingungen . . . . .	69
<b>6</b>	<b>Vergleich der Netzberechnungsmethoden</b>	<b>71</b>
6.1	Bisherige Beurteilungsmethode . . . . .	71
6.2	Vorgehen der Netzberechnung mit Lastgangdaten . . . . .	73
6.3	Lastganganalyse eines Teilnetzes der Gemeinde Wildpoldsried . . . . .	75
6.3.1	Netzausläufer ohne regenerative Einspeisung . . . . .	76
6.3.2	Netzausläufer mit regenerativer Einspeisung . . . . .	77
6.3.3	Betrachtung des Ortsnetztransformators . . . . .	79
6.4	Lastganganalyse des Ortsnetzes Eufnach . . . . .	82
6.4.1	Netzausläufer ohne regenerative Einspeisung . . . . .	83
6.4.2	Netzausläufer mit regenerativer Einspeisung . . . . .	84
6.4.3	Betrachtung des Ortsnetztransformators . . . . .	86
6.5	Vergleich der Ergebnisse . . . . .	88
<b>7</b>	<b>Betrachtung von Zukunftsszenarien</b>	<b>89</b>
7.1	Zukunftsszenario Eufnach . . . . .	90
7.2	Zukunftsszenario Wildpoldsried . . . . .	93
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung der Ergebnisse</b>	<b>97</b>

8.1	Bewertung der Potentiale . . . . .	97
8.2	Auswertung von Smart Meter Daten . . . . .	97
8.3	Betrachtung der Netzberechnungsmethoden . . . . .	97
<b>A</b>	<b>Anhang - Ortsnetze der Modellregion</b>	<b>99</b>
<b>B</b>	<b>Anhang - Smart Meter Profile</b>	<b>101</b>
B.1	Privathaushalte Winter . . . . .	101
B.2	Privathaushalte Sommer . . . . .	104
B.3	Gewerbe Winter . . . . .	107
B.4	Gewerbe Sommer . . . . .	110
B.5	Landwirtschaften Winter . . . . .	113
B.6	Landwirtschaften Sommer . . . . .	116
<b>C</b>	<b>Anhang - Standardlastprofile</b>	<b>119</b>
C.1	Standardlastprofile Sommer . . . . .	119
C.2	Standardlastprofile Winter . . . . .	121
<b>D</b>	<b>Anhang - Tabellen Potentialanalyse</b>	<b>123</b>
D.1	Ermittlung der Faktoren . . . . .	123
D.2	Potentialanalyse basierend auf den Gemeindeflächen . . . . .	124
D.3	Potentialanalyse basierend auf den Gebäudeflächen . . . . .	125
D.4	Potentialanalyse Ortsnetze . . . . .	126
D.5	Resultierende Potentialanalyse . . . . .	127
<b>E</b>	<b>Anhang - Details der betrachteten Orts- und Teilnetze</b>	<b>128</b>
E.1	Details des Ortsnetzes Eufnach . . . . .	128
E.2	Details zum Teilnetze in Wildpoldsried . . . . .	129
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>130</b>
	<b>Erklärung</b>	<b>138</b>
	<b>Ermächtigung</b>	<b>139</b>