



Verena Spielmann (Autor)

# **Einfluss der elektrischen und thermischen Speicherkapazität auf die Netzbelastung bei Einfamilienhäusern mit regenerativer Eigenerzeugung, Elektrowärmepumpenheizung und hohem Autarkiegrad**

Schriftenreihe des Energie-Forschungszentrums Niedersachsen

**efzn**  
Energie-Forschungszentrum  
Niedersachsen




**Einfluss der elektrischen und thermischen Speicherkapazität auf die Netzbelastung bei Einfamilienhäusern mit regenerativer Eigenerzeugung, Elektrowärmepumpenheizung und hohem Autarkiegrad**

Verena Spielmann

Promotion an der Technischen Universität Clausthal

Band 78

 Cuvillier Verlag Göttingen

<https://cuvillier.de/de/shop/publications/8906>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentzsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation und Stand der Forschung . . . . .	1
1.2	Forschungslücke . . . . .	3
1.3	Forschungsfragen und Struktur der Arbeit . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Modellierung der Systemkomponenten</b>	<b>7</b>
2.1	Niedrigenergiehausstandard mit heute üblicher Systemauslegung als Referenzgebäude . . . . .	7
2.2	Meteorologische Eingangsdaten . . . . .	9
2.3	Modellierung der Photovoltaikeinspeisung . . . . .	12
2.4	Modellierung der Windenergieeinspeisung . . . . .	12
2.5	Modellierung der elektrischen Last . . . . .	14
2.6	Modellierung der thermischen Last . . . . .	14
2.6.1	Thermisches Gebäudeverhalten . . . . .	14
2.6.2	Heizlast- und Trinkwarmwasserprofil . . . . .	19
2.6.3	Annahmen zum Heizsystem . . . . .	20
2.7	Modellierung des Heizungsspeichers . . . . .	21
2.8	Modellierung der Wärmepumpe . . . . .	21
2.9	Modellierung des elektrischen Speichers . . . . .	23
<b>3</b>	<b>Modellierung des thermisch- elektrischen Gesamtsystems</b>	<b>25</b>
3.1	Modellierung . . . . .	26
3.1.1	Managementstrategien als lineare Zielfunktion . . . . .	26
3.1.2	Grundlagen der gemischt-ganzzahligen linearen Optimierung . . . . .	27
3.1.3	Normierung der Eingangsgrößen und Modellparameter . . . . .	28
3.1.4	Problemformulierung . . . . .	28
3.1.5	Abgeleitete Bewertungsgrößen . . . . .	36
3.2	Modellvalidierung anhand des Referenzgebäudes . . . . .	37
3.2.1	Simulationsergebnisse für das Wetterjahr 2015J . . . . .	39
3.2.2	Simulationsergebnisse für die Extremwetterjahre 2015W und 2015S . . . . .	42
3.2.3	Fazit zur typischen Auslegung im Einfamilienhaus . . . . .	44
3.2.4	Schlussfolgerungen hinsichtlich der Nutzbarkeit des Modells . . . . .	45
<b>4</b>	<b>Simulationsergebnisse für das thermisch-elektrische Gesamtsystem</b>	<b>47</b>
4.1	Varianten . . . . .	47
4.1.1	Referenzvariante . . . . .	49

4.1.2	Variation der Wetterjahre: Varianten 2015W und 2015S . . .	49
4.1.3	Variation der installierten EE-Leistung: Variante 2045J . . .	52
4.1.4	Variation des Gebäudestandards: Variante SFH60 . . . . .	53
4.1.5	Zusammenfassung . . . . .	54
4.2	Minimierung der maximalen Austauschleistung . . . . .	57
4.2.1	Referenzvariante in den Szenarien 1, 6 und 11 . . . . .	57
4.2.2	Varianten 2015W und 2015S . . . . .	63
4.2.3	Varianten 2045J und SFH60 . . . . .	69
4.2.4	Zwischenfazit . . . . .	75
4.2.5	Übertragung der Ergebnisse auf das Referenzgebäude . . . .	77
4.3	Maximierung Vorortverbrauch und Minimierung Wärmepumpenenergie	80
4.3.1	Szenario 1 . . . . .	80
4.3.2	Szenario 6 . . . . .	86
4.3.3	Szenario 11 . . . . .	93
4.3.4	Zwischenfazit . . . . .	99
4.4	Zusammenfassung . . . . .	100
<b>5</b>	<b>Thermisch-elektrisches Metamodell</b>	<b>105</b>
5.1	Grundsätze der Metamodellierung . . . . .	105
5.2	Modellierungsansatz . . . . .	107
5.3	Abhängigkeit von der elektrischen Speicherkapazität . . . . .	109
5.4	Abhängigkeit von der Kapazität des Heizungsspeichers . . . . .	120
5.4.1	Schritt 2a . . . . .	120
5.4.2	Schritt 2b . . . . .	130
5.5	Abhängigkeit vom Erzeugungsmix . . . . .	135
5.6	Zusammenfassung . . . . .	139
<b>6</b>	<b>Auslegung aus energiesystemischer Sicht</b>	<b>141</b>
6.1	Kosten der Systemkomponenten . . . . .	141
6.2	Problemformulierung . . . . .	144
6.2.1	Auslegung der maximalen Netzbelastung . . . . .	144
6.2.2	Auslegung des Erzeugungsmixes bei gegebener Netzbelastung	145
6.2.3	Auslegung für gegebenen Erzeugungsmix und gegebene Netz- belastung . . . . .	145
6.3	Ergebnisse . . . . .	146
6.3.1	Auslegung der maximalen Netzbelastung und des Erzeugungsmixes . . . . .	146
6.3.2	Auslegung des Erzeugungsmixes bei gegebener Netzbelastung	149
6.3.3	Auslegung für gegebene Netzbelastung und gegebenen Erzeugungsmix . . . . .	153
6.4	Zusammenfassung . . . . .	158

---

<b>7 Einfluss der Speicherkapazitäten auf Netzbelastung und Autarkiegrad</b>	<b>161</b>
7.1 Einfluss im Bereich der Auslegung des Referenzgebäudes . . . . .	161
7.1.1 Elektrische und thermische Speicher ähnlicher Kapazität . . .	161
7.1.2 Elektrische und thermische Speicher ähnlicher Kosten . . . .	164
7.2 Einfluss der Speicherkapazität im Bereich hoher Autarkiegrade . . .	166
7.3 Zusammenfassung . . . . .	170
<b>8 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>173</b>
<b>A Modellierung der PV-Einspeisung</b>	<b>181</b>
<b>B Metamodell – Schritt 2a</b>	<b>185</b>
<b>C Einfluss der Speicherkapazität auf die Netzbelastung</b>	<b>191</b>
<b>D Kosten der Systemkomponenten</b>	<b>195</b>
D.1 Elektrische Speicher . . . . .	195
D.2 Thermische Speicher . . . . .	196
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>197</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>201</b>
<b>Abkürzungs- und Symbolverzeichnisse</b>	<b>203</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>211</b>