

Einfluss von Mikro-Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen für Wohngebäude auf Stromerzeugungsstrukturen der Zukunft

Von der Fakultät für Architektur und Landschaft
der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover
zur Erlangung des Grades

eines Doktors der
Ingenieurwissenschaften

Dr.-Ing.

genehmigte Dissertation von

Dipl.-Ing. (TU) Ingo Hubertus Günther Seliger
geboren am 13.02.1968, in Frankenberg (Eder)

2015

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und allgemeine Randbedingungen	1
2. Stand der Forschung.....	3
2.1 Einteilung der Kraft-Wärme-Kopplungen	3
2.2 Forschungslage der Mikro-Kraft-Wärme-Kopplung.....	3
2.3 Forschungslage zu Versorgungsnetzstrukturen	5
2.3.1 Forschungsstand zum Energiebedarf in Deutschland	5
2.3.2 Forschungen zum Strombedarf und der strombedingten CO ₂ -Emissionen	5
2.3.3 Forschungen zu Erzeugungsstrukturen für Strom und Erdgas	6
2.3.4 Forschungsstand der Lastprofile zum Strom- und Wärmebedarf.....	7
2.3.5 Forschungsstand zu Kraftwerks- und Netzplanung.....	7
2.3.6 Forschungsstand zur Einbindung dezentraler Strom- und Wärmeerzeugung in vorhandene Netze	12
2.3.7 Forschungsstand zu Erdgasnetzen und Gasbeschaffenheiten	15
2.4 Resümee für die Zielsetzung	16
2.5 Vorgehensweise	18
3. Modellbildung und Simulation von Mikro-KWK-Systemen.....	20
3.1 Mathematische Modelle	21
3.2 Auswahl eines Simulationsprogrammes	21
3.2.1 Gängige Simulationsprogramme	21
3.2.2 Kriterien für die Auswahl eines Simulationsprogrammes	22
3.3 Thermische Energiebilanzierung im Wohngebäude.....	23
3.3.1 Modellkonzept mit Bedarfsprofilen	24
3.4 Bedarfsganglinien zur Simulation einer Betriebsperiode im EFH.....	25
3.4.1 Referenzlastprofile	25
3.4.2 Erstellung von angepassten Tageslastgängen	26
3.5. Referenz-Wohngebäudeanlage	28
3.5.1 Betriebsweise	29
3.6 Modellbildung.....	30
3.6.1 Modellbildung System.....	30
3.6.2 Modellbildung Mikro-KWK-Einheit.....	30
3.6.3 Modellbildung des Schichtladespeichers	33
3.6.4 Modellbildung der Wärmesenke Warmwasserbereitung.....	38
3.6.5 Modellbildung der Wärmesenke Raumheizung	40
3.6.6 Modellbildung der Wärmesenke Raumlüftung	43
3.7 Simulationen von Mikro-KWK-Systemen	47
3.7.1 Bewertungskriterien für die theoretische Untersuchung.....	47
3.7.2 Wirkungsgrade von Mikro-KWK-Geräten.....	48
3.7.3 Systemwirkungsgrade von Mikro-KWK-Anlagen.....	48
3.7.4 Stromkennzahl.....	51
3.7.5 Verfügbarkeit	52
3.7.6 Modulationsgrad und Modulationsdynamik.....	52
3.7.7 Anfahrverhalten.....	54
3.7.8 Lebensdauer	54

3.8 Gewichtung der Einzelbewertungen	55
3.9 Ergebnisse der energetischen Analysen.....	56
3.9.1 Ergebnisse der Jahressimulationen	58
3.10 Ergebnisse der ökonomischen Analysen	64
3.10.1 Wirtschaftlichkeit von Mikro-KWK-Anlagen	64
3.10.2 Grenzinvestitionen der Mikro-KWK-Anlagen.....	68
3.10.3 Kosten und Marktakzeptanz	71
4. Entwicklungspotential der Mikro-KWK-Technologien	72
4.1 Dezentralisierung der Energieerzeugung.....	72
4.1.1 Dezentralisierung durch Mikro-KWK-Anlagen.....	73
4.2 Demographischer Wandel und zukünftige Strom- und Wärmebedarfe	73
4.2.1 Demografischer Wandel	73
4.2.2 Strombedarfe bis 2030.....	74
4.3 Trendrechnungen für Mikro-KWK-Gerätezahlen.....	78
4.3.1 Potentialanalyse der Mikro-KWK-Konzepte 2030	78
4.3.2 Aktuelle und zukünftige Verteilung der Wohngebäude-Energiesysteme.	79
4.3.3 Ergebnisse Struktur der Stromerzeugung bis 2030	83
4.3.4 Ergebnisse Wärmebedarfe bis 2030.....	111
5. Diskussion und Bewertung der Ergebnisse.....	112
5.1 Ergebniszusammenfassung der Trendrechnungen	112
5.2 Bewertung der Ergebnisse zur Struktur der Stromerzeugung bis 2030.....	113
5.2.1 Bewertung des Mikro-KWK-Konzepts ICE (A)	114
5.2.2 Bewertung des Mikro-KWK-Konzepts Stirling (B)	115
5.2.3 Bewertung des Mikro-KWK-Konzepts PEM-BZ (C)	117
6. Schlussfolgerungen.....	119
6.1 Schlussfolgerungen zur Struktur der Stromerzeugung bis 2030.....	119
6.2 Schlussfolgerungen zu Mikro-KWK-Anlagen und intelligenten Stromnetzstrukturen.....	121
6.3 Schlussfolgerungen zu Mikro-KWK-Anlagen und Stromspeichern	123
6.4 Schlussfolgerungen zu Mikro-KWK-Anlagen und Kraftwerksstrukturen... ..	124
6.4.1 Schlussfolgerungen zu Mikro-KWK-Anlagen u. Virtuellen Kraftwerken.	124
6.4.2 Schlussfolgerungen zu Mikro-KWK-Anlagen und Hybridkraftwerken....	124
6.4.3 Schlussfolgerungen zu Mikro-KWK-Anlagen und Regelenergie	126
6.5 Abschätzungen zur Substitution von Großkraftwerken	126
6.6 Einfluss der Dezentralisierung durch Mikro-KWK auf die Stromerzeugung.....	126
6.6.1 Einbindung dezentraler Strom- und Wärmeerzeugung in vorh. Netze ..	127
6.6.2 Einführungshemmnisse für Mikro-KWK-Geräte	127
6.7 Zukünftige Stabilisierung und Überwachung des Stromnetzes	129
6.7.1 Sicherheitstechnische u. regulatorische Einrichtungen für Mikro-KWK.	129
6.7.2 Einfluss der Netzstabilisierung durch Blindleistungsbereitstellung.....	129
7. Zusammenfassung.....	130
8. Literaturverzeichnis	132
Anhang	