

Inhaltsverzeichnis I  
Tabellenverzeichnis V  
Abbildungsverzeichnis VII  
Nomenklatur XI

Einführung 1

2 Grundlagen 5

2.1 Brennstoffzellen für die stationäre Energieversorgung 5

2.1.1 Prinzip der Energieumwandlung 5

2.1.2 Funktionsweise von SOFC und PEMFC 6

2.1.3 Theoretischer Wirkungsgrad der Stromerzeugung 9

2.1.4 Entwicklungsstand von SOFC-Systemen 9

2.1.5 Entwicklungsstand von PEMFC-Systemen 12

2.2 Potenzielle Einsatzgebiete für Brennstoffzellen 14

2.2.1 Auswahlkriterien für die Einsatzgebiete 14

2.2.2 Haushalts- und Kleinverbrauchssektor 15

2.2.3 Energieversorgungskonzept mit integrierter Brennstoffzelle 16

2.2.4 Ergebnisse bisheriger Untersuchungen zu dezentralen Brennstoffzellenanlagen 17

3 Systematischer Ansatz 19

3.1 Analyse der Energiebedarfsstrukturen 21

3.1.1 Determinanten des Endenergiebedarfs 22

3.1.2 Objektdefinition nach spezifischen Bedarfsgrößen 22

3.2 Lastganganalyse , 23

3.3 Auslegung des Brennstoffzellensystems 25

3.3.1 Auslegungspraxis für KWK-Anlagen 25

3.3.2 Auswirkung der Teillastbeschränkung auf den energetischen Deckungsbeitrag 26

3.3.3 Auslegungsansatz für die Brennstoffzellenanlagen 27

3.4 Bilanzierungsgrößen 28

3.4.1 Energetischer Deckungsbeitrag 29

3.4.2 Jahresnutzungsgrad 29

3.4.3 Primärenergie- und Emissionsminderung 29

3.5 Bewertung von Überschussstrom 30

3.6 Berechnung von anlegbaren Investitionskosten 32

## 4 Analyse des Endenergiebedarfs 35

### 4.1 Endenergiebedarf in Haushalten 35

#### 4.1.1 Monatliche Verteilung des Strom- und Wärmebedarfs 37

#### 4.1.2 Lastprofile der Typhaushalte 39

#### 4.1.3 Einfluss der Durchmischung auf den Lastgang von Haushalten 42

### 4.2 Endenergiebedarf von Hotelbetrieben 44

#### 4.2.1 Datenauswertung zum Endenergiebedarf 44

#### 4.2.2 Analyse der Auslastung 46

#### 4.2.3 Analyse der Energiebezugsfläche 46

#### 4.2.4 Ermittlung des Energiebedarfs in Abhängigkeit spezifischer Größen 47

#### 4.2.5 Monatliche Verteilung des Endenergiebedarfs 47

#### 4.2.6 Lastprofile der Hotelobjekte 50

## 5 Szenario für einen Brennstoffzelleneinsatz (Basisfall) 55

### 5.1 Definition der Referenzobjekte 55

#### 5.1.1 Definitionskriterien 55

#### 5.1.2 Energiebedarfsstruktur 57

#### 5.1.3 Lastgangcharakteristik 5.1.4 Gleichzeitigkeit 59

#### 5.1.5 Leistungsbedarf in den Objekten 60

### 5.2 Technische Parameter der Energieversorgung : 61

#### 5.2.1 Teillastkennlinien und Wirkungsgrad der KWK-Systeme 61

#### 5.2.2 An- und Abfahrverluste 64

#### 5.2.3 Bereitstellungs- und Emissionsfaktoren 64

### 5.3 Kostenparameter der Energieversorgung 67

#### 5.3.1 Abgrenzung der Kostenkomponenten 67

#### 5.3.2 Investitions- und Wartungskosten 67

#### 5.3.3 Kosten für Nahwärmenetze 69

#### 5.3.4 Konditionen für Gas- und Strombezug 71

#### 5.3.5 Einspeisevergütung 72

### 5.4 Auswertung der Energiebilanz 74

#### 5.4.1 Thermischer Deckungsbeitrag 74

#### 5.4.2 Elektrischer Deckungsbeitrag und Stromeinspeisung 78

#### 5.4.3 Jahresnutzungsgrad 82

#### 5.4.4 Primärenergieeinsatz 85

#### 5.4.5 CO<sub>2</sub>-äquivalente Emissionen 89

### 5.5 Anlegbare Investitionskosten für SOFC und PEMFC 93

#### 5.5.1 Referenzsysteme für die Berechnung der anlegbaren Kosten 93

#### 5.5.2 Anlegbare Kosten für die Brennstoffzellensysteme für den Auslegungsfall mit maximaler Emissionsminderung 96

### 5.6 Zusammenfassung der Szenarioergebnisse 99

#### 5.6.1 Energiebilanzen 99

#### 5.6.2 Anlegbare Investitionskosten 101

6 Szenario mit erhöhtem Wärmedämmstandard	103
6.1 Gegenüberstellung der veränderten Parameter	103
6.2 Auswertung der Ergebnisse	105
6.2.1 Emissionsminderung	105
6.2.2 Anlegbare Investitionskosten	108
6.3 Variantenrechnung mit einheitlichen Größenklassen	110
6.3.1 Emissionsminderung	110
6.3.2 Anlegbare Investitionskosten	114
7 Sensitivitätsanalyse wirtschaftlicher und technischer Parameter	119
7.1 Auswertung der Energiekostenparameter	120
7.1.1 Strompreis	121
7.1.2 Einspeisevergütung	123
7.1.3 Gaspreis	124
7.2 Auswertung des Emissionsparameters ,	126
8 Zusammenfassung und Ausblick	129
Literaturverzeichnis	133
Anhang 1 Energiebedarfsstrukturen der Versorgungsobjekte	141
Anhang 2 Datenblätter der Referenzsysteme	155
Anhang 3 Ergebnisse des Basisfalls	171
Anhang 4 Ergebnisse der Variantenrechnung	189