
Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen, Variablen und Abkürzungen	V
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung und Motivation.....	1
1.2 Zielsetzung.....	4
1.3 Vorgehensweise	6
2 Grundlagen zur Beurteilung einer klimaneutralen Energiebereitstellung	9
2.1 Einführung	9
2.2 Klimaneutrale Energiegewinnung	10
2.2.1 Definition des Begriffs Klimaneutralität.....	10
2.2.2 Erneuerbare Energieträger.....	12
2.2.3 Messgrößen zur Beurteilung der Klimaneutralität von Energiebereitstellungsprozessen	13
2.3 Energiebedarf von Gebäuden.....	16
2.3.1 Kategorisierung des Energiebedarfs von Gebäuden	16
2.3.2 Energiebedarf von Büro- und Verwaltungsgebäuden	17
2.3.3 Energiebilanzanteile der Heizwärmebereitstellung.....	21
2.4 Definition einer klimaneutralen Heizwärmebereitstellung	22
2.4.1 Bilanzierung solarthermischer, geothermischer und photovoltaischer Erzeugersysteme zur klimaneutralen Heizwärmebereitstellung	22
2.4.2 Berücksichtigung von Klimaeinflüssen bei der Bilanzierung erneuerbarer Energien	25
2.4.3 Anrechnung von Strom aus erneuerbaren Energien.....	27
2.5 Zusammenfassung.....	28

3	Analyse und Simulation der Wirkungsweise von Anlagen zur Gewinnung erneuerbarer Energien.....	31
3.1	Überblick.....	31
3.2	Simulation der Energieerzeugung aus Solarthermie.....	33
3.2.1	Prinzipieller Aufbau solarthermischer Systeme.....	33
3.2.2	Berechnungsmodell.....	36
3.2.2.1	Objektspezifische Randbedingungen und anlagenspezifische Einflussparameter.....	36
3.2.2.2	Berechnungsverfahren zur Modellierung des Ertrags von Sonnenkollektoren.....	40
3.2.2.3	Berechnungsverfahren zur Modellierung des Verhaltens thermischer Speicher.....	48
3.3	Simulation der Energieerzeugung aus Geothermie.....	53
3.3.1	Prinzipieller Aufbau geothermischer Anlagensysteme.....	53
3.3.2	Berechnungsmodell.....	56
3.3.2.1	Objektspezifische Randbedingungen und anlagenspezifische Einflussparameter.....	56
3.3.2.2	Berechnungsverfahren zur Modellierung von Erdwärmesonden.....	58
3.3.2.3	Modell zur Beschreibung des energetischen Verhaltens von Wärmepumpen.....	68
3.4	Simulation der Energieerzeugung mithilfe von Photovoltaik.....	71
3.4.1	Prinzipieller Aufbau photovoltaischer Anlagensysteme.....	71
3.4.2	Berechnungsmodell.....	74
3.4.2.1	Objektspezifische Randbedingungen und anlagenspezifische Einflussparameter.....	74
3.4.2.2	Berechnungsverfahren zur Modellierung der Energieerzeugung mit Photovoltaikmodulen.....	76
3.4.2.3	Berechnungsverfahren zur Modellierung des Wirkungsgrads von Wechselrichtern.....	87
3.5	Übersicht der Simulation solarthermischer, geothermischer und photovoltaischer Anlagensysteme mit dem Simulationstool SIMEE.....	90
3.6	Zusammenfassung.....	94

4	Analytische Ansätze zur Ertragsbestimmung bei Verwendung erneuerbarer Energien.....	95
4.1	Einführung	95
4.2	Analytische Beschreibung des Ertrags solarthermischer Anlagensysteme	97
4.3	Analytische Beschreibung des Ertrags geothermischer Anlagensysteme	119
4.4	Analytische Beschreibung des Ertrags photovoltaischer Anlagensysteme	139
4.5	Zusammenfassung.....	151
5	Lebenszykluskostenoptimierung der klimaneutralen Heizwärmebereitstellung	153
5.1	Einführung	153
5.2	Lebenszykluskosten solarthermischer, geothermischer und photovoltaischer Anlagensysteme	153
5.2.1	Überblick.....	153
5.2.2	Methoden zur Zeitbereinigung von Kosten und zur Bestimmung von Diskontierungssummenfaktoren.....	154
5.2.3	Herleitung lebenszyklusbezogener Kostenkennwerte.....	158
5.2.4	Bestimmungsgleichungen für die Lebenszykluskosten solarthermischer, geothermischer und photovoltaischer Anlagensysteme	159
5.3	Konzeption des Bewertungsmodells KOPT EE zur Kostenoptimierung der klimaneutralen Heizwärmebereitstellung.....	161
5.4	Zusammenfassung.....	165
6	Exemplarische Anwendung des entwickelten Bewertungsmodells in ausgewählten Szenarien.....	167
6.1	Einführung	167
6.2	Eingangsgrößen zur Bestimmung der spezifischen Lebenszykluskosten.....	167
6.3	Spezifikation und Bewertung des Basisszenarios.....	169
6.3.1	Spezifikation der objektspezifischen Randbedingungen und anlagenspezifischen Einflussparameter.....	169
6.3.2	Auswertung der Lebenszykluskosten.....	171
6.4	Spezifikation und Bewertung von Varianten des Basisszenarios	173
6.5	Empfehlungen für die klimaneutrale Heizwärmebereitstellung	180

6.6	Lebenszykluskosten der klimaneutralen Heizwärmebereitstellung unter zusätzlicher Berücksichtigung der Umwandlung von elektrischer Energie in Heizwärme	183
6.7	Einordnung der Lebenszykluskosten der klimaneutralen Heizwärmebereitstellung gegenüber der Energieversorgung mit konventionellen Energieträgern.....	185
6.8	Zusammenfassung.....	194
7	Resümee und Ausblick.....	195
7.1	Resümee	195
7.2	Ausblick	197
8	Literaturverzeichnis	199
Anhang	207