

# **Multikriterielle Bewertung von Technologien zur Bereitstellung von Strom und Wärme**

- Dissertation

zur Erlangung des wirtschaftswissenschaftlichen Doktorgrades  
der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Universität Göttingen

vorgelegt von

Julia Oberschmidt

aus Bruchsal

Göttingen, 2010

# Inhalt

<b>Tabellen</b> .....	<b>v</b>
<b>Abbildungen</b> .....	<b>viii</b>
<b>Abkürzungen</b> .....	<b>xv</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Rahmenbedingungen für Entscheidungen im Energiebereich</b> .....	<b>4</b>
2.1 Historische Entwicklung der Energieversorgung .....	4
2.2 Energiebedarf und Nachfrage nach Energieträgern .....	7
2.3 Politische und gesetzliche Rahmenbedingungen.....	11
2.3.1 Liberalisierung der Energiemärkte .....	12
2.3.2 Klimapolitik und Handel mit Emissions-Zertifikaten.....	13
2.3.3 Erneuerbare Energien und Kraft-Wärme-Kopplung .....	16
2.3.4 Die Rolle der Kernenergie.....	19
2.4 Notwendigkeit eines wissenschaftlichen Analyse-Rahmens für Energietechnologien .....	20
<b>3 Technologien zur Bereitstellung von Strom und Wärme</b> .....	<b>24</b>
3.1 Bereitstellung von Elektrizität und Kraft-Wärme-Kopplung .....	24
3.1.1 Thermische Kraftwerke .....	24
3.1.2 Erneuerbare Energien zur Stromerzeugung .....	29
3.1.3 Alternative Dampfkraftprozesse .....	37
3.1.4 Brennstoffzellen .....	38
3.1.5 Weitere Technologien und Trends in der Stromerzeugung.....	39
3.1.6 Speicherung von Elektrizität.....	41
3.1.7 Übertragung von Elektrizität.....	45

3.2	Bereitstellung von Nutzwärme .....	46
3.2.1	Wärmebereitstellung auf Basis fossiler Primärenergien.....	46
3.2.2	Ersatzbrennstoffe .....	47
3.2.3	Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien.....	47
3.2.4	Speicherung von Wärme.....	51
3.2.5	Transport von Wärme .....	52
3.3	Auswahl von Energietechnologien .....	53
<b>4</b>	<b>Multikriterielle Entscheidungsunterstützung im Energiebereich.....</b>	<b>55</b>
4.1	Grundlagen von Multi-Attribut-Methoden .....	58
4.2	Anwendung von MADM-Methoden im Energiebereich .....	61
4.2.1	Definition der Problemstellung .....	62
4.2.2	Festlegung der Alternativen .....	65
4.2.3	Auswahl der Kriterien .....	67
4.2.4	Bestimmung der Kriterien-Ausprägungen .....	69
4.2.5	Gewichtung der Kriterien.....	69
4.2.6	Aggregation zur Gesamtbewertung .....	73
4.2.7	Sensitivitätsanalysen und weitere Methoden zur Berücksichtigung von Unsicherheiten .....	77
4.2.8	Einbeziehung von Stakeholdern und Entscheidungsfindung in Gruppen .....	81
4.2.9	Implementierung .....	85
4.3	Schlussfolgerungen aus der Literaturanalyse .....	86
<b>5</b>	<b>Abbildung des technologischen Wandels .....</b>	<b>89</b>
5.1	Das Konzept des Technologiezyklus .....	90
5.2	Entwicklung von Energietechnologien im Zeitverlauf .....	96
5.2.1	Installierte Kraftwerksleistung in Europa .....	96
5.2.2	Technologiezyklen von Optionen zur Wärmebereitstellung .....	110
5.2.3	Indikatoren-basierte Zuordnung .....	115
5.3	Zusammenfassung der Technologiezyklus-Analyse.....	121

<b>6</b>	<b>Konzeption eines multikriteriellen Entscheidungsunterstützungssystems.....</b>	<b>122</b>
6.1	Definition der Problemstellung .....	122
6.2	Vorauswahl der Alternativen .....	122
6.3	Auswahl der Kriterien .....	124
6.4	Bestimmung der Kriterien-Ausprägungen .....	126
6.5	Methoden zur Kriterien-Gewichtung.....	127
6.6	Wahl der Aggregationsmethode.....	129
6.7	Berücksichtigung von Unsicherheiten .....	135
6.8	Einbindung von Stakeholdern .....	138
6.9	Software-Implementierung .....	138
6.9.1	Datenbank Multidimensionale Technikbewertung.....	139
6.9.2	Excel-Tool MAESTRO .....	143
<b>7</b>	<b>Bewertung von Energietechnologien .....</b>	<b>146</b>
7.1	Bewertung alternativer Energieversorgungskonzepte für Bioenergie-dörfer.....	146
7.1.1	Definition der Problemstellung .....	146
7.1.2	Vorauswahl der Alternativen .....	148
7.1.3	Auswahl der Kriterien und Bestimmung der Ausprägungen.....	149
7.1.4	Gewichtungen je Technologiezyklus-Phase .....	173
7.1.5	Ergebnisse .....	181
7.1.6	Diskussion.....	209
7.2	Vergleich von Stromspeichertechnologien.....	210
7.2.1	Vorbereitung der Entscheidungsmatrix .....	212
7.2.2	Ergebnisse .....	217
7.2.3	Diskussion.....	221
7.3	Fazit .....	222
<b>8</b>	<b>Schlussfolgerungen und Ausblick.....</b>	<b>224</b>

---

<b>9 Zusammenfassung .....</b>	<b>231</b>
<b>10 Anhang .....</b>	<b>233</b>
10.1    Datensätze in der Kraftwerksdatenbank .....	233
10.2    Darstellung der Entwicklung der Verwendung unterschiedlicher Energieträgertypen in Europa .....	236
10.3    Wirtschaftlichkeitsbewertung .....	239
10.3.1   Generelle Vorgehensweise .....	239
10.3.2   Anwendung im Fallbeispiel Bioenergiedörfer .....	245
10.4    Stabilitätsintervalle der Kriterien-Gewichtungen .....	265
<b>Literatur .....</b>	<b>281</b>