Hilmar Gerdes

Energiegewinnung aus Biomasse im Küstenbereich

Eine ökonomische und multikriterielle Bewertung verschiedener Prozessketten

Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag

Energiegewinnung aus Biomasse im Küstenbereich

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Energiegewinnung aus Biomasse im Küstenbereich

Eine ökonomische und multikriterielle Bewertung verschiedener Prozessketten

Von der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg –

Fakultät II – Informatik, Wirtschafts- und Rechtswissenschaften –

zur Erlangung des

Grades eines Doktors der Wirtschaftswissenschaften (Dr. rer. pol.)

genehmigte Dissertation

von Herrn Hilmar Gerdes

geboren am 21.12.1979 in Aurich

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.
1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2013
Zugl.: Oldenburg, Univ., Diss., 2013

978-3-95404-536-5

Referent: Prof. Dr. Bernd Siebenhüner

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. habil. Jorge Marx Gómez

Tag der Disputation: 07.10.2013

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2013
Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen
Telefon: 0551-54724-0
Telefax: 0551-54724-21
www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.
1. Auflage, 2013
Gedruckt auf umweltfreundlichem, säurefreiem Papier aus nachhaltiger Forstwirtschaft.

978-3-95404-536-5

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis V

Tabellenverzeichnis VIII

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen XIII

1 Einleitung 1

1.1 Problemstellung 1

1.2 Stand der Forschung 3

1.3 Zielsetzung und Vorgehensweise 3

2 Grundlagen und Anwendung moderner Bewertungssysteme 5

2.1 Entscheidungstheoretische Grundlagen 5

2.2 Grundlagen der Investitionsrechnung 8

2.2.1 Die Kapitalwertmethode 10

2.2.2 Die Methode des internen Zinsfußes 11

2.2.3 Vergleich zwischen Kapitalwertmethode und der Methode des internen Zinsfußes 13

2.2.4 Zinssätze 14

2.3 Die multikriterielle Entscheidungsunterstützung 16

2.3.1 Definition der Kriterien 19

2.3.2 Ermittlung der Gewichte 20

2.3.3 Messung der Kriterien 23

2.3.4 Gruppenentscheidungen und Stakeholdermanagement 24

2.3.5 Multikriterielle Entscheidungsverfahren 29

2.3.5.1 Kosten-Nutzen-Analyse und Grenzen der monetären Bewertung 30

2.3.5.2 Nutzwertanalytisches Verfahren 32

2.3.5.3 Das PROMETHEE-Verfahren als Outranking-Methode 34

2.3.6 Eingrenzung von Entscheidungsmodellen 42

3 Entwicklung der erneuerbaren Energien 45

3.1 Entwicklung des Energieverbrauches 45

3.1.1 Preisentwicklung für Primärenergien 49

3.1.2 Nachteile bei der Nutzung fossiler Energieträger 50

3.2 Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland unter besonderer Berücksichtigung des Landes Niedersachsen 51

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

3.3 Rechtliche Rahmenbedingungen 61
3.3.1 Erneuerbare-Energien-Richtlinie 61
3.3.2 Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) 62
3.3.3 Das Biokraftstoffquoten- und das Energiesteuergesetz 70
3.3.4 Das Marktanreizprogramm 71
3.3.5 Förderungen auf Landesebene (Niedersachsen) 72

4 Biomasse als Energieträger 75
4.1 Typische Wertschöpfungsketten für Biomasseenergie 75
4.2 Grundlagen der Biogaserzeugung 79
4.2.1 Eigenschaften von Biogas 80
4.2.2 Konzeptionierung einer Biogasanlage 81
4.2.3 Verwertungswege von Biogas 83
4.3 Einsatz von Biomasse für die Energiegewinnung 86
4.3.1 Entwicklung des Maisanbaus in Niedersachsen 88
4.3.1.1 Vorteile des Einsatzes von Mais als Energiekultur 90
4.3.1.2 Nachteile und kritische Würdigung des zunehmenden Maisanbaus 91
4.3.2 Weitere eingesetzte Energiepflanzen 97
4.3.3 Genutzte Nebenprodukte, Rest- und Abfallstoffe 102
4.3.4 Synergieeffekte zwischen Naturschutz, Landschaftsschutz und Bioenergie 107
4.4 Bioenergieressourcen und Nachhaltigkeit 107
4.4.1 Nachhaltigkeitskriterien flüssiger Biomasse 110
4.4.2 Nachhaltigkeit importierter Biomasse 111
4.4.3 Nutzungskonkurrenz durch Energiepflanzenanbau 111

5 Untersuchungsgegenstand 117
5.1 Das Projekt „enercoast“ 118
5.1.1 Forschungsgegenstand im nationalen Teilprojekt 118
5.1.2 Tätigkeiten der internationalen Partner 119
5.2 Alternative Substrate für die Bioenergieerzeugung 121
5.2.1 Rechtliche Fragestellungen zu den alternativen Substraten 125
5.2.2 Anforderungen an die Biogastechnik 130
5.3 Potentialstudie für die Gemeinde Dornum 131
5.3.1 Geographische und klimatische Angaben 132
5.3.2 Wirtschaftsstruktur in der Gemeinde 133

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

5.3.3 Entwicklung der Landwirtschaft und der daraus anfallenden Biomasse 135
5.3.4 Fischerei 139
5.3.5 Kommunale Potentiale 140
5.3.6 Übersicht über die ermittelten Potentiale und Ableitung der Verfügbarkeit 146
5.3.7 Energieverbrauch und Energieerzeugung 151
5.3.7.1 Energieverbrauch in der Gemeinde 154
5.3.7.2 Gegenüberstellung von Erzeugung und Verbrauch 155

6 Ein- und mehrdimensionale Bewertungen von Bioenergiekonzepten 157
6.1 Vorstellung der verschiedenen Bioenergiekonzepte 157
6.2 Ökonomische Bewertung der Bioenergiekonzepte 163
6.2.1 Erläuterungen zu den grundsätzlichen Annahmen 163
6.2.2 Wirtschaftlichkeitsberechnung Var. 1 168
6.2.3 Wirtschaftlichkeitsberechnung Var. 2 175
6.2.4 Wirtschaftlichkeitsberechnung Var. 3 182
6.2.5 Wirtschaftlichkeitsberechnung Var. 4 190
6.2.6 Wirtschaftlichkeitsberechnung Var. 5 197
6.2.7 Wirtschaftlichkeitsberechnung Var. 6 200
6.2.8 Sensitivitätsanalyse: Vergütung gemäß EEG 2012 207
6.2.9 Zusammenfassung und Diskussion der ökonomischen Bewertung 208
6.3 Multikriterielle Bewertung von Bioenergie 211
6.3.1 Ableitung von Kriterien und Indikatoren 212
6.3.2 Identifizierte Stakeholdergruppen und befragte Vertreter 221
6.3.3 Ermittlung der Präferenzstruktur 225
6.3.4 Interpretation der ermittelten Präferenzstruktur 230
6.3.5 Ermittlung der Kriterienausprägungen 233
6.3.5.1 Herleitung der Kriterienausprägung für Var. 1 234
6.3.5.2 Herleitung der Kriterienausprägung für Var. 2 245
6.3.5.3 Herleitung der Kriterienausprägung für Var. 3 255
6.3.5.4 Herleitung der Kriterienausprägung für Var. 4 266
6.3.5.5 Herleitung der Kriterienausprägung für Var. 5 277
6.3.5.6 Herleitung der Kriterienausprägung für Var. 6 286
6.3.5.7 Übersicht über die ermittelten Kriterienausprägungen 298

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

6.3.6 Ermittlung und Diskussion der Rangfolge der Bioenergiekonzepte 299
6.4 Vergleich zwischen ökonomischer und multikriterieller Bewertung sowie Diskussion der Ergebnisse 301
6.5 Expertengespräch mit einer Entscheidergruppe 302
6.6 Kritische Würdigung der eingesetzten Methodik und der erzielten Ergebnisse 305

7 Zusammenfassung und Ausblick 309

8 Literaturverzeichnis 315

9 Anhang 329
9.1 Übersichten zu Untersuchungsparametern bei Gärresten 329
9.2 Tabellen der Grünanlagen und Seitenstreifen der Gemeinde Dornum 331
9.3 Anschreiben Stakeholderbefragung 336

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Typische Rollen verschiedener Stakeholder 27

Abbildung 2: Übersicht über mögliche Stakeholder eines Unternehmens 28

Abbildung 3: Hierarchisch aufgebautes Zielsystem 32

Abbildung 4: Beispiel für eine Zielhierarchie für Biomasseenergie 33

Abbildung 5: Exemplarische Modellierung von Präferenzen in PROMETHEE 35

Abbildung 6: Verallgemeinerte Kriterien mit den zugehörigen Präferenzfunktionen in PROMETHEE 36

Abbildung 7: Unvollständige Rangordnung als Ergebnis von PROMETHEE I 38

Abbildung 8: Eingangs-, Ausgangs- und Nettofluss in PROMETHEE 38

Abbildung 9: Entwicklung der Erdölförderung und zukünftige Prognose 46

Abbildung 10: Entwicklung des weltweiten Verbrauchs an fossilen Energieträgern sowie der Wasserkraft nach geographischen Großregionen 47

Abbildung 11: Verbrauch an fossilen Primärenergieträgern und Wasserkraft nach Regionen und Energieträgern (2009) 48

Abbildung 12: Historische Ölpreisentwicklung in US-$/Barrel (Spotmarktnotierung) 49

Abbildung 13: Übersicht über den Anteil der erneuerbaren Energien an der Energiebereitstellung 52

Abbildung 14: Struktur der Energiebereitstellung erneuerbarer Energien in Deutschland 2011 53

Abbildung 15: Gesamtumsatz aus dem Betrieb erneuerbarer Energien in Deutschland 2011 54

Abbildung 16: Anzahl der Biogasanlagen und installierte elektrische Leistung in den niedersächsischen Landkreisen (Stand 31.12.2009) 59

Abbildung 17: Vergütungssätze in ct/kWh für elektrische Energie aus Biomasse nach dem EEG 2012 66

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Abbildung 18: Schematischer Aufbau typischer Bereitstellungsketten von Energie aus Biomasse 76

Abbildung 19: Inhaltsstoffe von Biogas (Durchschnittswerte) 80

Abbildung 20: Verfahrensschema einer Biogasanlage 81

Abbildung 21: Verwertungswege von Biogas 83

Abbildung 22: The Clean Fuel Concept 86

Abbildung 23: Energiepflanzenanbau in Niedersachsen 87

Abbildung 24: Entwicklung des Maisanbaus in Niedersachsen 88

Abbildung 25: Durchschnittliche Nmin-Gehalte/ha verschiedener Energiepflanzenfruchtfolgen nach der Ernte (2008-2010) 94

Abbildung 26: Übersicht über das Pilotgebiet 133

Abbildung 27: Branchenstruktur in der Gemeinde Dornum 134

Abbildung 28: Flächennutzungsanteile in der Gemeinde 135

Abbildung 29: Übersicht über die angebauten Kulturen 2009 136

Abbildung 30: Verfahrensschema Var. 1 158

Abbildung 31: Verfahrensschema Var. 2 158

Abbildung 32: Verfahrensschema Var. 3 159

Abbildung 33: Verfahrensschema Var. 4 160

Abbildung 34: Verfahrensschema Var. 6 162

Abbildung 35: Kriterien und Indikatoren von Stage 1 214

Abbildung 36: Kriterien und Indikatoren von Stage 2 216

Abbildung 37: Kriterien und Indikatoren von Stage 3 217

Abbildung 38: Kriterien und Indikatoren von Stage 4 219

Abbildung 39: Kriterien und Indikatoren von Stage 5 220

Abbildung 40: Identifizierte Stakeholdergruppen 223

Abbildung 41: Identifizierte Stakeholdergruppen und ausgewählte Vertreter 224

Abbildung 42: Fragebogen für die Stakeholderbefragung – Seite 1 226

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Abbildung 43: Fragebogen für die Stakeholderbefragung – Seite 2 227

Abbildung 44: Ermittlung der Rangfolge nach PROMETHEE II 300

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Typische Darstellung eines MADM-Problems 19

Tabelle 2: Übersicht über die Vergütungssätze gemäß dem EEG 2009 für Strom aus Biomasse (Cent/kWh) 65

Tabelle 3: Maisanteil an der Ackerfläche in Niedersachsen 2010 89

Tabelle 4: Übersicht über die Rechtsvorschriften entlang der verschiedenen Prozessschritte der Biogaserzeugung 126

Tabelle 5: Durchschnittliche Tierzahlen in der Gemeinde 2009 137

Tabelle 6: Anfall tierischer Wirtschaftsdünger in der Gemeinde 138

Tabelle 7: Jahresanfall der Futterreste aus der Rinderhaltung in der Gemeinde Dornum 139

Tabelle 8: Grünflächen der Gemeinde Dornum 141

Tabelle 9: Kompensationsflächen der Gemeinde Dornum 143

Tabelle 10: Deichflächen der Gemeinde Dornum 145

Tabelle 11: Übersicht über die verfügbaren Biomassepotentiale 147

Tabelle 12: Windkraftnutzung in der Gemeinde Dornum 152

Tabelle 13: Stromverbrauch der Haushalte 154

Tabelle 14: Stromverbrauch der Ferienhäuser und -wohnungen 155

Tabelle 15: Gesamter Stromverbrauch in der Gemeinde Dornum 155

Tabelle 16: Übersicht über Stromerzeugung und -verbrauch in der Gemeinde Dornum 156

Tabelle 17: Kostenermittlung für Aufwuchs von Bracheflächen 164

Tabelle 18: Kostenermittlung für Aufwuchs von Deichflächen und Gewässerrandstreifen 165

Tabelle 19: Kostenermittlung für Treibsel und Grünschnitt 165

Tabelle 20: Substratübersicht Var. 1 168

Tabelle 21: Technische Daten Var. 1 169

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Tabelle 22: Investitionskosten Var. 1 170
Tabelle 23: Jährliche Kosten Var. 1 171
Tabelle 24: Finanzierungsübersicht Var. 1 172
Tabelle 25: Abbildung der Zahlungsströme Jahr 1-10 Var. 1 173
Tabelle 26: Abbildung der Zahlungsströme Jahr 11-20 Var. 1 173
Tabelle 27: Rentabilitätskennzahlen Var. 1 174
Tabelle 28: Substratübersicht Var. 2 175
Tabelle 29: Technische Daten Var. 2 176
Tabelle 30: Investitionskosten Var. 2 177
Tabelle 31: Jährliche Kosten Var. 2 178
Tabelle 32: Finanzierungsübersicht Var. 2 179
Tabelle 33: Abbildung der Zahlungsströme Jahr 1-10 Var. 2 180
Tabelle 34: Abbildung der Zahlungsströme Jahr 11-20 Var. 2 180
Tabelle 35: Rentabilitätskennzahlen Var. 2 181
Tabelle 36: Substratübersicht Var. 3 182
Tabelle 37: Technische Daten Var. 3 183
Tabelle 38: Investitionskosten Var. 3 184
Tabelle 39: Jährliche Kosten Var. 3 185
Tabelle 40: Finanzierungsübersicht Var. 3 186
Tabelle 41: Abbildung der Zahlungsströme Jahr 1-10 Var. 3 187
Tabelle 42: Abbildung der Zahlungsströme Jahr 11-20 Var. 3 187
Tabelle 43: Rentabilitätskennzahlen Var. 3 188
Tabelle 44: Substratübersicht Var. 4 190
Tabelle 45: Technische Daten Var. 4 191
Tabelle 46: Investitionskosten Var. 4 192
Tabelle 47: Jährliche Kosten Var. 4 193
Tabelle 48: Finanzierungsübersicht Var. 4 194

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Tabelle 49: Abbildung der Zahlungsströme Jahr 1-10 Var. 4 195
Tabelle 50: Abbildung der Zahlungsströme Jahr 11-20 Var. 4 195
Tabelle 51: Rentabilitätskennzahlen Var. 4 196
Tabelle 52: Finanzierungsübersicht Var. 5 197
Tabelle 53: Abbildung der Zahlungsströme Jahr 1-10 Var. 5 198
Tabelle 54: Abbildung der Zahlungsströme Jahr 11-20 Var. 5 198
Tabelle 55: Rentabilitätskennzahlen Var. 5 199
Tabelle 56: Substratübersicht Var. 6 200
Tabelle 57: Technische Daten Var. 6 201
Tabelle 58: Investitionskosten Var. 6 202
Tabelle 59: Jährliche Kosten Var. 6 203
Tabelle 60: Finanzierungsübersicht Var. 6 204
Tabelle 61: Abbildung der Zahlungsströme Jahr 1-10 Var. 6 205
Tabelle 62: Abbildung der Zahlungsströme Jahr 11-20 Var. 6 205
Tabelle 63: Rentabilitätskennzahlen Var. 6 206
Tabelle 64: Rentabilitätskennzahlen unter dem EEG 2012 207
Tabelle 65: Übersicht Rentabilitätskennzahlen der betrachteten Varianten 208
Tabelle 66: Ermittelte Präferenzstruktur 229
Tabelle 67: Dieselverbrauch Substratgewinnung Var. 1 235
Tabelle 68: Berechnung Veränderung Humusvorrat Var. 1 235
Tabelle 69: Transportkosten Energiesubstrate Var. 1 237
Tabelle 70: CO_2-Emissionen Transport Var. 1 238
Tabelle 71: Transportfahrten pro Jahr Var. 1 238
Tabelle 72: Berechnung der Lagerkosten für Substrate Var. 1 239
Tabelle 73: Berechnung der Arbeitsstunden Logistik Var. 1 240
Tabelle 74: Dieselverbrauch Substratgewinnung Var. 2 246
Tabelle 75: Berechnung Veränderung Humusvorrat Var. 2 247

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Tabelle 76: Transportkosten Energiesubstrate Var. 2 248

Tabelle 77: CO_2-Emissionen Transport Var. 2 249

Tabelle 78: Transportfahrten pro Jahr Var. 2 250

Tabelle 79: Berechnung der Arbeitsstunden Logistik Var. 2 251

Tabelle 80: Dieselverbrauch Substratgewinnung Var. 3 256

Tabelle 81: Berechnung Veränderung Humusvorrat Var. 3 257

Tabelle 82: Transportkosten Energiesubstrate Var. 3 259

Tabelle 83: CO_2-Emissionen Transporte Var. 3 260

Tabelle 84: Transportfahrten pro Jahr Var. 3 261

Tabelle 85: Berechnung der Arbeitsstunden Logistik Var. 3 262

Tabelle 86: Dieselverbrauch Substratgewinnung Var. 4 267

Tabelle 87: Berechnung Veränderung Humusvorrat Var. 4 268

Tabelle 88: Transportkosten Energiesubstrate Var. 4 270

Tabelle 89: CO_2-Emissionen Transport Var. 4 271

Tabelle 90: Transportfahrten pro Jahr Var. 4 272

Tabelle 91: Berechnung der Arbeitsstunden Logistik Var. 4 273

Tabelle 92: Transportkosten Energiesubstrate Var. 5 280

Tabelle 93: CO_2-Emissionen Transport Var. 5 281

Tabelle 94: Berechnung der Arbeitsstunden Logistik Var. 5 282

Tabelle 95: Dieselverbrauch Substratgewinnung Var. 6 287

Tabelle 96: Berechnung Veränderung Humusvorrat Var. 6 288

Tabelle 97: Transportkosten Energiesubstrate Var. 6 290

Tabelle 98: CO_2-Emissionen Transport Var. 6 291

Tabelle 99: Transportfahrten pro Jahr Var. 6 291

Tabelle 100: Berechnung der Arbeitsstunden Logistik Var. 6 292

Tabelle 101: Übersicht über die Kriterienausprägungen der untersuchten Bioenergiekonzepte 298

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Tabelle 102: Übersicht der Eingangs-, Ausgangs- und Nettoflüsse in PROMETHEE 299

Tabelle 103: Höchstgehalte von Schwermetallen im Gärrest 329

Tabelle 104: Untersuchungsanforderungen für Gärreste gemäß Düngemittelverordnung 330

Tabelle 105: Kommunale Grünflächen und Straßenrandstreifen der Gemeinde Dornum innerorts 331

Tabelle 106: Straßenrandstreifen der Gemeinde Dornum außerorts 333

Tabelle 107: Unbebaute Bau- und Gewerbegebiete 335

Tabelle 108: Grünflächen der Tourismus GmbH in der Gemeinde Dornum 335

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

a.	anno
Abs.	Absatz
AfA	Absetzung für Abnutzung
Anm.	Anmerkung
Akh.	Arbeitskraftstunden
bzw.	beziehungsweise
BHKW	Blockheizkraftwerk
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BImSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung
BioKraft-NachV	Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung
BioKraftQuG	Biokraftstoffquotengesetz
BiomasseV	Biomasseverordnung
BioSt-NachV	Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung
d.	des
d. h.	das heißt
dt	Dezitonne
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
etc.	et cetera
EU	Europäische Union
e. V.	eingetragener Verein
evtl.	eventuell
EWC	European Waste Catalogue
gem.	gemäß
GPS	Ganzpflanzensilage
GV	Großvieheinheit

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

ha	Hektar
HTC	hydrothermale Carbonisierung
lat.	lateinisch
Kap.	Kapitel
KfW	Bankengruppe Kreditanstalt für Wiederaufbau
kW	Kilowatt
MADM	Multi Attribute Decision Making
max.	maximal
Mio.	Million
MJ	Megajoule
MODM	Multi Objective Decision Making
Mt	Millionen Tonnen
Mtoe	Million Tonnes of Oil Equivalent
MW	Megawatt
Nr.	Nummer
oTs	organische Trockensubstanz
p. a.	per anno
PKW	Personenkraftwagen
ppm	parts per million
RL	Richtlinie
sog.	sogenannte (-s, -n)
SCM	Supply Chain Management
SSCM	Sustainable Supply Chain Management
SRU	Sachverständigenrat für Umweltfragen
t	Tonne
TM	Trockenmasse
u. a.	und andere

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Var.	Variante
vgl.	vergleiche
Vol.	Volumen
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie
z. B.	zum Beispiel

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Flankiert durch verbesserte politische Rahmenbedingungen hat der Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland in den letzten Jahren massiv zugenommen. Während der Anteil regenerativer Energien in 2001 noch bei 4,1 % lag, betrug der Anteil im Jahr 2011 bereits über 12 % am gesamten Endenergieverbrauch (BMU 2012, S. 15).

In der „EU Richtlinie Erneuerbare Energien“, die Bestandteil des Europäischen Klima- und Energiepaktes ist, sind verbindliche Ziele für den Anteil regenerativ erzeugten Stroms in den einzelnen Mitgliedstaaten verankert. Gemeinsames Ziel ist es, 20 % des Endenergieverbrauches in der Europäischen Union (EU) im Jahr 2020 aus erneuerbaren Energiequellen zu beziehen. Die verbindliche Zielmarke des abgeleiteten nationalen Aktionsplans für Deutschland in 2020, 18 % des Endenergieverbrauches aus regenerativen Energiequellen zu erzeugen, wurde in Sektorziele aufgeteilt. So sollen im Zieljahr 2020 30 % des Stromverbrauches, 14 % des Wärmeverbrauches und 12 % der Kraftstoffe aus erneuerbaren Energien stammen (BMU 2010a). Der Biomasse wird hierbei eine Schlüsselrolle bezüglich der Erreichung dieser Zielwerte zugesprochen (HODSON 2009). Wichtigstes Instrument zur Umsetzung des nationalen Aktionsplans stellt das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) dar, in dem die Erzeugung und der Ausbau von erneuerbaren Energien gesetzlich geregelt sind. Das EEG bildet damit als politisches Instrument den demokratisch legitimierten gesellschaftlichen Wunsch nach einem Ausbau der erneuerbaren Energien ab und gibt konkrete betriebswirtschaftliche Anreize für die Etablierung konkreter Bioenergieanlagenkonfigurationen durch gestaffelte Vergütungshöhen und durch spezifische Boni im Bioenergiebereich, z. B. für den Einsatz bestimmter Substratgrundlagen.

In Deutschland sind Ende 2009 ca. 5.000 Biogasanlagen mit einer Leistung von insgesamt 1.893 MW_{el} (FACHVERBAND BIOGAS 2010a) betrieben worden, davon allein in Niedersachsen ca. 880 Anlagen mit einer Leistung von 460 MW_{el}, was 24 % der installierten Leistung in Deutschland entspricht (NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT, VERBRAUCHERSCHUTZ UND LANDESENTWICKLUNG / NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT UND KLIMASCHUTZ 2010, S. 4). Parallel zum Zubau der Biogasanlagen ist auch der für deren Betrieb verwendete Energiepflan-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

zenanbau ausgeweitet worden. So wurden 2010 in Niedersachsen 220.000 ha für die Substratbereitstellung von Biogasanlagen genutzt, was einer Verdreifachung gegenüber 2006 entspricht. Ca. 180.000 ha und damit 80 % der Substratanbaufläche entfallen auf den Silomaisanbau (HÖHER 2010).

Die intensiv geführten Debatten zur zukünftigen Bioenergieerzeugung zeigen deutlich, dass insbesondere in Regionen mit einer hohen Dichte von Bioenergieanlagen der weitere Ausbau durch konventionelle Bioenergieanlagen an seine ökologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Grenzen stößt (AGRAR+ERNÄHRUNGSFORUM OLDENBURGER MÜNSTERLAND 2008, S. 1). Den unterstellten Vorteilen des Klimaschutzes – Unabhängigkeit von ausländischen Energielieferungen und Förderung der wirtschaftlichen Entwicklung des ländlichen Raumes – werden zunehmend negative Begleiterscheinungen gegenübergestellt, die insbesondere auf dem forcierten Energiepflanzenanbau beruhen, insofern er zu einer gesteigerten Nutzungskonkurrenz gegenüber der Erzeugung von Lebensmitteln führt sowie negative Auswirkungen auf Natur und Umwelt hat (FNR 2011, S. 10; WBGU 2009, S. 60ff.).

„Die Förderung der Biogas-Produktion wächst den Bundesländern über den Kopf: Fast 6000 Anlagen verarbeiten Unmengen Mais, dessen Anbau andere Lebensmittel verdrängt und die Umwelt belastet“ (SPIEGEL ONLINE 2010a).

Wie das oben angeführte Zitat verdeutlicht, wird das Themenfeld Bioenergie mittlerweile auch medial kritisch kommentiert. Während nach Umfrageergebnissen große Anteile der Bevölkerung einen weiteren Ausbau der Bioenergie begrüßen (FORSA 2010), regt sich regional deutlicher Widerstand gegen Bioenergievorhaben und den damit verbundenen Energiepflanzenanbau. Auch aus pflanzenbaulicher Sicht stößt der Anteil des Maisanbaus in einigen Regionen mit inzwischen deutlich über 50 % des Ackerflächenanteils an seine natürlichen Grenzen bezüglich Fruchtfolge und Anbaudiversifizierung.

Als Konsequenz der aufgezeigten Entwicklungen kann konstatiert werden, dass ein weiterer Bioenergieausbau durch die etablierten Verfahren nur sehr eingeschränkt durchgeführt werden kann. Vielmehr müssen für die Erreichung der EU-Klima-Schutzziele regional angepasste, nachhaltige Bioenergiekonzepte erarbeitet und umgesetzt werden.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

1.2 Stand der Forschung

Die Bioenergieerzeugung auf der Basis des Energiepflanzenanbaus wird erst seit der Novellierung des EEG 2004 mengenmäßig bedeutsam betrieben. Mit weiterer zeitlicher Verzögerung traten die mit der Ausweitung des Energiepflanzenanbaus verbundenen Nachteile auf, so dass es sich um ein relativ junges Forschungsfeld handelt. Aktuell wird in der Pflanzenzüchtung hinsichtlich der bisher verwendeten Energiepflanzen intensiv an weiteren Energieertragssteigerungen, aber auch an der Etablierung von Anbaukulturen gearbeitet, insbesondere um hier zukünftig Alternativen zum bisher dominierenden Maisanbau zu schaffen (EVA 2010; LWK NIEDERSACHSEN/3N 2010). Im Bereich der Anlagentechnik wird ebenfalls intensive Verfahrensforschung betrieben, um die Effizienz in der Konversion von Biomasse zu verfügbarer Endenergie zu verbessern (HÄRING ET AL. 2010).

Bisher handelt es sich bei diesen Forschungsaktivitäten schwerpunktmäßig um Effizienzforschung mit dem Ziel, die Bioenergieerzeugung auszuweiten und gleichzeitig betriebswirtschaftlich ertragreicher zu gestalten. Ökologische Zielsetzungen werden oftmals mit einer aus ökologischer Sicht per se gewünschten Bioenergieerzeugung begründet oder sie werden beispielsweise in einer isolierten Betrachtung der Treibhausgasemissionen untersucht (SCHMEHL ET AL. 2012, DRESSLER/LÖWEN 2011). Soziale Kriterien finden in der Bioenergieforschung im klassischen Sinne bisher eher wenig Beachtung.

Eine ganzheitliche, multikriterielle Betrachtung von Bioenergie, die neben ökonomischen auch ökologische und soziale Kriterien einschließt, erfolgte bisher im Kontext der Etablierung von Bioenergiedörfern (RUWISCH/KARPENSTEIN-MACHAN 2004). Eine bereits durchgeführte multikriterielle Betrachtung der Bioenergieerzeugung im Küstenraum konnte nicht in Erfahrung gebracht werden.

1.3 Zielsetzung und Vorgehensweise

Abgeleitet aus der Notwendigkeit für den Ausbau der Bioenergie zur Erreichung der EU-Klimaschutzziele bei gleichzeitig limitierter Anbaufläche der Energiepflanzenerzeugung sowie zunehmend gesellschaftlicher Kritik bei geplanten Bioenergievorhaben sollen die folgenden zentralen Leitfragen im Rahmen dieser Arbeit verfolgt und nach Möglichkeit abschließend beantwortet werden.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

1. Welches Potential alternativer Biomasse[1] für die Bioenergieerzeugung liegt in einer ausgewählten Küstengemeinde an der niedersächsischen Nordseeküste vor und mit welchem Verfahren lässt sich daraus nachhaltig Bioenergie erzeugen?
2. Welche Art der Bioenergieerzeugung wird gesellschaftlich in der Küstengemeinde gewünscht und korrespondiert diese auch mit der Vergütungsstruktur des EEG? Dazu werden verschiedene Bioenergieprojekte multikriteriell nach der gesellschaftlichen Präferenz und eindimensional betriebswirtschaftlich aus der Investorenperspektive bewertet.

Für die Potentialermittlung alternativer Substratgrundlagen wird in der Pilotgemeinde Dornum im Landkreis Aurich eine Erhebung durchgeführt. Die ermittelten Stoffmengen werden gemeinsam mit Bioenergie-Projektierern diskutiert, um daraus Bioenergiekonzepte mit einem möglichst hohen Anteil alternativer Materialien an der Substratversorgung zu konstruieren.

Als Grundlage für die gesellschaftliche Bewertung von Bioenergie erfolgt in den theoretischen Ausführungen dieser Arbeit zunächst eine Einführung in die modernen multikriteriellen Bewertungsverfahren. Darüber hinaus werden auch verschiedene eindimensional ökonomische Bewertungsmethoden von Investitionsentscheidungen aufgezeigt.

Für die Ermittlung der gesellschaftlichen Präferenz hinsichtlich der Bioenergie in der Pilotgemeinde wird durch die Gewichtung von ökologischen, sozialen und ökonomischen Kriterien von lokalen Stakeholdern eine Präferenzstruktur erstellt. Anschließend wird für sieben untersuchte Bioenergiekonzepte die Ausprägung der verwendeten Kriterien bestimmt. Nachfolgend werden diese gemeinsam mit der ermittelten Präferenzstruktur durch die Anwendung des PROMETHEE-Verfahrens in eine Rangfolge entsprechend der erarbeiteten lokalen Präferenz gebracht.

Des Weiteren werden die Bioenergiekonzepte betriebswirtschaftlich mit einer Investitionsrechnung kalkuliert und es wird abgeleitet, welche Varianten aus Investorenperspektive eine hohe Umsetzungswahrscheinlichkeit haben. In der abschließenden Diskussion wird verglichen, ob die Bioenergieprojekte, die am besten zur lokalen Präferenzstruktur passen, auch durch die EEG-Vergütungsstruktur attraktiv für renditeorientierte Investoren abgebildet werden.

[1] Als alternative Biomasse wird in dieser Arbeit sämtliche bisher nicht genutzte Biomasse definiert, die nicht primär zum Zwecke der Bioenergieerzeugung angebaut wird und damit keine Konkurrenz für die Nahrungs- und Futtermittelproduktion darstellt.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

2 Grundlagen und Anwendung moderner Bewertungssysteme

Dieses Kapitel (Kap.) dient einer grundlegenden Einführung in die verwendeten Bewertungssysteme dieser Arbeit. Begonnen wird im Anschluss an die Explikation der Grundlagen der Entscheidungstheorie mit einer Einführung in die Investitionsanalyse, danach folgen Ausführungen zu den multikriteriellen Bewertungssystemen.

2.1 Entscheidungstheoretische Grundlagen

In der Entscheidungstheorie wird der Begriff „Entscheidung“ als bewusste oder unbewusste Auswahl einer von mehreren Handlungsalternativen definiert (LAUX 1995, S. 1). Es kann unterschieden werden zwischen deskriptiven und präskriptiven Theorieansätzen. Die deskriptive Entscheidungstheorie bietet dem Entscheider Unterstützung, rational begründbare Entscheidungen zu treffen. Sie beschreibt und erklärt die Wirklichkeit und liefert dabei Informationsgrundlagen für Entscheidungen. Des Weiteren unterstützt sie bei der Entscheidungsfindung, indem sie Alternativen und deren Konsequenzen aufzeigt. Präskriptive Theorien dagegen bilden nicht die Wirklichkeit ab, sondern geben Verhaltensempfehlungen für alternative Entscheidungssituationen. Dabei unterstellen sie ein rationales Verhalten des Entscheiders[2] (BAMBERG ET AL 2008, S. 3ff.).

Ob eine Entscheidung stets unter rationalen Aspekten getroffen wird, ist kritisch zu hinterfragen. Auch wenn gern aufgrund eines späteren Erfolgs einer Entscheidung auf die Qualität der Entscheidung zurückgeschlossen wird, so kann doch eine Evaluierung evtl. Schwächen in der Entscheidungsfindung aufzeigen, weil z. B. einige Aspekte gar nicht oder zu wenig beachtet wurden. Der Verlauf nach einer Entscheidung ist nämlich immer von einer gewissen Unsicherheit, d. h. von der Einwirkung externer Effekte geprägt, somit kann nicht ex post vollständig auf die Rationalität einer Entscheidung geschlossen werden (EISENFÜHR/WEBER 2003, S. 4f.).

Da unter dem Begriff „Entscheidung“ nicht nur der eigentliche Entschluss, sondern auch die dazu gehörende Vorbereitung subsumiert wird, kann eine Entscheidung als ein Prozess definiert werden, der sich aus einer Vorentscheidungs- und anschlie-

[2] Aus Gründen der Vereinfachung wird in dieser Arbeit darauf verzichtet, jeweils die sprachlichen Formen für beide Geschlechter aufzuführen. In den nachfolgenden Ausführungen sind die Formulierungen so zu verstehen, dass jeweils Frauen und Männer gemeint sind.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

ßender Entscheidungsphase zusammensetzt. Der Entscheidungsprozess kann auch als Problemlösungsprozess bezeichnet werden, bei dem die möglichen Lösungen des Problems durch die erwogenen Alternativen und die tatsächliche Lösung durch die anschließend ausgewählte Alternative dargestellt werden (LAUX 1998, S. 8).

Der Entscheidungsprozess lässt sich in folgende Schritte gliedern (LAUX 1998, S. 8ff.):

1. Problemformulierung
2. Präzisierung des Zielsystems
3. Erforschung der möglichen Handlungsalternativen
4. Auswahl einer Alternative
5. Entscheidungen in der Realisationsphase.

Die Problemformulierung stellt den Beginn des Entscheidungsprozesses dar. Sie entsteht, indem der Entscheider aufgrund bestimmter Symptome erkennt, dass eine Situation verbessert werden muss oder kann. Eine solche Situation kann anlassbezogen oder regelmäßig auftreten.

Anschließend müssen Zielvorstellungen erarbeitet werden, anhand derer die Alternativen beurteilt werden können. Häufig wird ein anzustrebender Zustand zunächst nur sehr vage formuliert, der dann mit Hilfe von erarbeiteten Alternativen weiter präzisiert wird (LAUX 1998, S. 8ff.).

Die Alternativen können vom Entscheider direkt oder indirekt gewählt und beeinflusst werden. Die Anzahl der möglichen Alternativen ist zunächst einmal unbegrenzt, wird aber häufig durch Restriktionen wie z. B. den zur Verfügung stehenden finanziellen Rahmen, die Erfahrungen sowie die Kreativität des Entscheidenden begrenzt. Wenn die Anzahl der Alternativen unbegrenzt ist, muss aus einem stetigen Lösungsraum die optimale Lösung berechnet werden. Sind die Alternativen dagegen überschaubar, kann aus einem diskreten Lösungsraum die am besten geeignete Lösung ausgewählt werden (ZIMMERMANN/GUTSCHE 1991, S. 25).

Um die anschließende Auswahl der Alternativen treffen zu können, müssen die Konsequenzen der Alternativen abgeschätzt werden. Die Konsequenzen sind erfahrungsgemäß gerade bei einem niedrigen Informationsstand mit Unsicherheiten behaftet, weshalb kaum sichere Prognosen getroffen werden können. Diese Unsicher-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

heiten, die vom Entscheider nicht beeinflusst werden können, werden als Umweltzustände bezeichnet.

Diese Unsicherheiten bzw. Umweltzustände gliedern sich in drei Gruppen:

1. Entscheidungen bei Sicherheit: Der zukünftige Zustand steht mit Sicherheit fest.
2. Entscheidungen bei Ungewissheit (ZIMMERMANN/GUTSCHE 1991, S. 4):
   a) Entscheidungen bei Risiko: Hier ist die Eintrittswahrscheinlichkeit der jeweiligen Risiken bekannt, die so bewusst bewertet werden können.
   b) Entscheidungen bei Unsicherheit: Hier verfügt der Entscheidungsträger über keine Informationen über die Eintrittswahrscheinlichkeit.

Eine rational begründete Entscheidung kann nur getroffen werden, wenn eine konkrete Zielvorstellung besteht, an der die Alternativen und die daraus resultierenden Konsequenzen gemessen werden. Zielvorstellungen bilden Wünsche (Ziele) ab. Durch ein Ziel wird ein üblicherweise veränderter Zustand in der Zukunft angestrebt, welcher als Endzustand bezeichnet wird.

Zielvorstellungen können wie folgt typisiert werden (LAUX 1998, S. 23f.):

- Maximierung der Zielgröße
- Minimierung der Zielgröße
- Anstreben eines genau fixierten Wertes (Fixierung)
- Anstreben eines bestimmten Anspruchsniveaus (Satisfizierung).

Anschließend wird die im Hinblick auf die definierten Ziele am besten passende Alternative ausgewählt (LAUX 1998, S. 8f.). Am Ende des Entscheidungsprozesses steht der Entschluss, der die Umsetzung des Denkprozesses in eine Handlung einleitet (BRAUCHLIN/HEENE 1995, S. 76).

Das Modell der betriebswirtschaftlichen Entscheidung unterstellt dem Entscheider, dass er sich mit seinen Eigenschaften am „Homo oeconomicus“ orientiert, d. h. seine Handlungen unterliegen folgenden Annahmen:

- Er ist eigennützig und generell ungesättigt.
- Er möchte gleichzeitig verschiedene Bedürfnisse befriedigen und Güter besitzen.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

- Seine Präferenz unterliegt einem sinkenden Grenznutzen.
- Güter sind substituierbar.
- Er ist Nutzenmaximierer.

Dadurch kann er Alternativen unter Berücksichtigung der Umweltzustände bewerten und auch bei konkurrierenden Zielen eine Reihenfolge entsprechend seinen Präferenzen bilden (BRAUCHLIN/HEENE 1995, S. 35f.).

In der Verhaltensökonomie ist empirisch nachgewiesen worden, dass betriebswirtschaftliche Entscheidungen häufig nicht in Anlehnung an den „Homo oeconomicus“ rational begründet getroffen werden (THALER 1980). Nach der Prospekttheorie (KAHNEMANN ET AL. 1991, S. 193ff.) werden zukünftige mögliche Verluste als gravierender wahrgenommen als mögliche Gewinne (Verlustaversion). So wurde bei Aktionären beobachtet, dass sie Aktien mit Gewinn schnell wieder veräußerten, um keine Verluste zu erleiden, aber gleichzeitig auch die Chancen auf weiter steigende Kurse in den Hintergrund rückten, während Aktien mit Verlusten gehalten wurden in der Hoffnung auf steigende Kurse mit dem Risiko weiterer Verluste. Menschliche Entscheidungen sind zudem kognitiven Verzerrungen unterworfen, so wird häufig der eigene Wissensstand überschätzt und kurzfristige Auswirkungen von Entscheidungen bedeutsamer als deren langfristige Konsequenzen bewertet (Myopie) (KAHNEMANN 2011).

2.2 Grundlagen der Investitionsrechnung

Dieses Kapitel gibt eine Einführung in die Grundlagen der Investitionsrechnung als ein eindimensionales Bewertungssystem. Hierbei werden Wege aufgezeigt, wie Investoren potentielle Investitionsalternativen ex ante bewerten und sich dann üblicherweise anhand von Renditegesichtspunkten für eine Alternative entscheiden.

Die Verfahren der Investitionsrechnung unterscheiden sich nach dem Bewertungsumfang, also dahingehend, ob eine einzelne Investition oder ein komplettes Investitionsprogramm bewertet wird. Bei der Betrachtung einzelner Investitionen kann zwischen ein- und mehrdimensionalen Verfahren unterschieden werden. In die Gruppe der mehrdimensionalen Verfahren würde z. B. die Nutzwertanalyse (siehe Kap. 2.3.5.1) fallen, in deren Bewertung nicht nur die direkten finanziellen Auswirkungen, sondern auch andere nicht monetäre Folgen einfließen. Die eindimensionalen Ver-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

fahren, auch als klassische Verfahren der Investitionsrechnung bezeichnet, bewerten ausschließlich die finanziellen Auswirkungen der betrachteten Investitionsalternativen. Diese Verfahren lassen sich wiederum in statische und dynamische Verfahren unterteilen. Während bei den statischen Verfahren (z. B. Gewinnvergleichsrechnung oder Rentabilitätsrechnung) der Zeitpunkt der Zahlungsströme keine Berücksichtigung findet, bewerten die dynamischen Verfahren die unterschiedlichen Zahlungszeitpunkte durch Auf- bzw. Abzinsen zu einem spezifischen Bewertungsstichtag (DÄUMLER/GRABE 2007, S. 29ff.).

Das Ziel dieser Arbeit ist es, verschiedene Wertschöpfungsketten projektorientiert zu bewerten und zu vergleichen. Daher werden im weiteren Verlauf nur dynamische Investitionsrechnungen behandelt.

BRAUN (2009) definiert Investitionen als Auszahlungen, die in der Erwartung getätigt werden, zukünftig (überwiegend) Einzahlungen zu erzielen. Die Entscheidung, eine solche Investition zu tätigen, ist davon abhängig, ob die zu erwartenden zukünftigen Einzahlungen die zunächst zu leistende Auszahlung rechtfertigen (BRAUN 2009, S. 7). Nach DÄUMLER und GRABE (2007) steht der Begriff der Investition für das Anlegen von finanziellen Mitteln in Anlagegüter (investire, lat. = einkleiden) (DÄUMLER/GRABE 2007, S. 16).

Die im Vorfeld getätigte Investitionsrechnung beruht sowohl auf volkswirtschaftlichen als auch auf betriebswirtschaftlichen Beweggründen. Für eine wettbewerbsfähige Volkswirtschaft ist ein kontinuierliches Investieren notwendig. Die entscheidende Kennzahl ist die Brutto-Anlageinvestition in Prozent des Bruttoinlandsproduktes. Neben der Höhe der Investitionen ist die Allokation[3] ein entscheidender Faktor. Die Investitionsrechnung dient als Instrument für die Ermittlung der vorteilhaftesten Investitionen. Eine ähnliche Rolle übernimmt die Investitionsrechnung auch als betriebswirtschaftliches Instrumentarium auf unternehmerischer Ebene. Nur ein sinnvoller und im Idealfall optimaler Einsatz der Geldmittel sichert das Fortbestehen eines Unternehmens.

[3] Unter Allokation ist hier die effiziente Verteilung der Ressource „Kapital“ auf die verschiedenen Investitionsalternativen gemeint.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Aus Sicht eines Investors kommt eine Investitionsrechnung bei drei Fragestellungen zur Anwendung (DÄUMLER/GRABE 2007, S. 15f.):

- Tätigung einer Einzelinvestition: Eine Entscheidung über die Investition in ein Einzelobjekt wird mit der Frage nach der Vorteilhaftigkeit der Investition im Sinne einer Ja-nein-Fragestellung getroffen.
- Vergleich von Investitionsalternativen: Bei dieser Fragestellung muss der Investor zwischen konkurrierenden Investitionsalternativen entscheiden. Wenn nach einer Vorprüfung mehrere Investitionen als vorteilhaft eingeschätzt werden (siehe oben), muss in einem weiteren Schritt über die relative Vorteilhaftigkeit entschieden werden, um die vorzüglichste Alternative auswählen zu können.
- Entscheidung über die Nutzungsdauer: Im Anlagebestand eines Unternehmens sind üblicherweise Anlagegüter mit einer unterschiedlichen Altersstruktur. Hier stellt sich die Frage nach dem optimalen Zeitpunkt für die Ersatzinvestition. Die Kosten, die durch eine solche Investition entstehen, werden grundsätzlich durch geringere Reparaturaufwendungen und die Nutzung des technischen Fortschrittes aufgefangen. Bei Neuinvestitionen ist die voraussichtlich optimale Nutzungsdauer zu kalkulieren.

Die Investitionsrechnung ist also ein Instrument, um die absolute und relative Vorteilhaftigkeit von Investitionen zu bewerten und um darüber hinaus die optimale Nutzungsdauer bzw. den optimalen Zeitpunkt für eine Ersatzinvestition zu bestimmen (DÄUMLER/GRABE 2007, S. 15f.).

2.2.1 Die Kapitalwertmethode

Die Kapitalwertmethode gilt als das vorrangige Entscheidungskriterium bei der Investitionsrechnung (BRAUN 2009, S. 7).

Unter dem Kapitalwert K_0 wird der auf den Zeitpunkt t = 0 errechnete Barwert aller Zahlungen des Projektes verstanden. In der Literatur wird der Kapitalwert auch als Barwert, Gegenwartswert und – eher verallgemeinernd – als discounted Cashflow bezeichnet (ALTROGGE 1996, S. 353).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Der Kapitalwert zum Zeitpunkt t = 0 wird wie folgt berechnet:

$$K_0 = D_0 + \frac{D_1}{(1+i)} + \frac{D_2}{(1+i)^2} + ... + \frac{D_n}{(1+i)^n}$$

$$K_0 = \sum_{t=0}^{n} \frac{D_t}{(1+i)^t}$$

K_0 = Kapitalwert des betrachteten Projektes

D_t = der dem Zeitpunkt t zugeordnete Einzahlungsüberschuss

i = der Kalkulationszinsfuß

n = Zeitpunkt der letzten (Ein-)Zahlung, gleichzeitig auch unterstellte Nutzungsdauer der Investition

Die Berechnung des Kapitalwertes erfolgt durch die Abzinsung der zukünftigen Zahlungen. Spätere Zahlungen werden aufgrund dieses Zinseffektes also geringer geschätzt als frühere Zahlungen aus der Investition, da diese wieder gewinnbringend durch eine Verzinsung mit *i* genutzt werden könnten (SWODOBA 1996, S. 21f.).

Die Durchführung einer Investition ist dann vorteilhaft, wenn der auf den Zeitpunkt t = 0 bezogene Kapitalwert nicht negativ ist. Bei dem Grenzfall, dass der Kapitalwert genau 0 ist, entspricht die Verzinsung des in die Investition eingebrachten Kapitals genau dem unterstellten Alternativzinssatz. Der Zinssatz der Kalkulation entspricht zumeist dem Zinssatz einer alternativen Investition, z. B. bei einer Anlage auf einem Festgeldkonto. In diesem Fall wäre der Investor, bezogen auf den Kapitalwert als Entscheidungsgrundlage, indifferent, welche Investition vorzüglicher erscheint (DÄUMLER/GRABE 2007, S. 64).

Um den Kapitalwert nachvollziehbarer zu errechnen, kann der berechnete Endwert auf den Zeitpunkt 0 und der am Anfang zu tätigende Investitionsbetrag zunächst getrennt ausgewiesen werden (ALTROGGE 1996, S. 357).

2.2.2 Die Methode des internen Zinsfußes

In der Praxis kommt bei Investitionsentscheidungen neben der Kapitalwertmethode häufig die Methode des internen Zinsfußes zur Anwendung. In der Literatur wird diese auch als Methode des internen Ertragssatzes, Barwertrentabilitätsmethode oder verallgemeinernd wie auch die Kapitalwertmethode als discounted Cashflow bezeichnet (DÄUMLER/GRABE 2007, S. 86).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Der interne Zinssatz i* errechnet sich wie folgt:

$$K_0 = 0 = \sum_{t=1}^{n} \frac{D_t}{(1+i^*)^t}$$

K_0 = Kapitalwert des betrachteten Projektes

D_t = der dem Zeitpunkt t zugeordnete Einzahlungsüberschuss

*i** = der interne Zinssatz

n = Zeitpunkt der letzten (Ein-)Zahlung, gleichzeitig auch unterstellte Nutzungsdauer der Investition

Der interne Zinsfuß i* einer Investition ist der Zinsfuß, bei dem der Kapitalwert zum Zeitpunkt t = 0 genau 0 ist. Der interne Zinsfuß kann als Rendite des in einem Investitionsprojekt durchschnittlich gebundenen Kapitals gesehen werden.

Nur in einigen Fällen kann der interne Zinsfuß direkt berechnet werden (z. B. bei nur einer Auszahlung und einer Einzahlung, Rente). In den anderen Fällen kommen Näherungsverfahren, z. B. durch EDV-Anwendungen in Microsoft Excel, zum Einsatz. (SWODOBA 1996, S. 24f.).

Im Gegensatz zur Kapitalwertmethode werden bei der Berechnung des internen Zinsfußes keine externen Größen berücksichtigt. Das isolierte Ergebnis liefert deshalb keinen interpretierbaren Wert. Erst bei einem Vergleich mit externen Größen wie z. B. dem Kapitalmarktzinssatz kann eine Abwägung erfolgen.

Die Methode liefert nur dann ein eindeutiges Ergebnis, wenn nur einmal ein Vorzeichenwechsel in der Zahlungsreihe stattfindet. Bei einer Normalinvestition ist dies der Fall, da zu Beginn Auszahlungsüberschüsse (negatives Vorzeichen) aus der Tätigung der Investition und später Einzahlungsüberschüsse (positives Vorzeichen) aus den Rückflüssen anfallen. Wenn jedoch ein weiterer Vorzeichenwechsel stattfindet, beispielsweise bei größeren Reparaturen an der Bioenergieanlage in der Mitte der geplanten Laufzeit, können als Ergebnis mehrere Lösungen errechnet werden, oder aber es ist keine Lösung ermittelbar (DÄUMLER/GRABE 2007, S. 119).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

2.2.3 Vergleich zwischen Kapitalwertmethode und der Methode des internen Zinsfußes

Die Vor- und Nachteile der Kapitalwertmethode sowie der Methode des internen Zinsfußes werden in der Literatur auf breiter Basis diskutiert (BRAUCHLIN/HEENE 1995, S. 166ff.; SWODOBA 1996, S. 45ff.).

Beide Verfahren benötigen folgende Rahmenbedingungen:

- Valide Angaben über die berücksichtigten Zahlenwerte
- Einen vollkommenen Kapitalmarkt
- Vollständigkeit der Alternativen

Bei der Beurteilung der Berechnungen dürfen nicht nur die durch die Investition gebundenen Mittel betrachtet werden, sondern es sind auch die durch die Investition freigewordenen Mittel, differenziert gemäß ihrem Zeitpunkt, einzubeziehen (Differenzinvestition).

Gerade im letzten Punkt unterscheiden sich häufig die Ergebnisse der beiden Methoden. Die Kapitalwertmethode unterstellt den Kalkulationszinssatz, während die Methode des internen Zinsfußes auch den intern errechneten Zinssatz berücksichtigt und damit davon ausgeht, dass während der Investitionsdauer frei werdende Mittel zu dem gleichen Zinssatz weiter verzinst werden wie die in der Investition gebundenen Mittel (Wiederanlageprämisse) (BRAUCHLIN/HEENE 1995, S. 167).

Bei der Berechnung des Kapitalwertes wird ein Kalkulationszinssatz benötigt mit dem die zukünftigen Rückflüsse auf den Zeitpunkt t = 0 abgezinst werden. Ein solcher Zinssatz ist bei der Berechnung des internen Zinsfußes zunächst nicht erforderlich. Die Berechnung kann also ohne externe Referenz durchgeführt werden. Allerdings kann die Vorzüglichkeit einer Investition dann erst aufgrund eines Vergleichs mit einer anderen Investition oder einer Mindestrenditeforderung bewertet werden. Eine reine Beschränkung der Investitionsentscheidung auf Basis der Methode des internen Zinsfußes sollte nicht vorgenommen werden. So würde ihr zufolge eine Investition mit einer hohen Rendite und einem geringen Kapitaleinsatz einer Investition mit einer etwas geringeren Rendite aber dafür einem weitaus höheren Kapitaleinsatz vorgezogen. Die Kapitalwertmethode würde hier die zweitgenannte Investition bevorzugen, wenn die zusätzliche Menge an Kapital den entgangenen Zinsertrag überkompensiert. In praktischen Anwendungen würde die Kapitalwertmethode die realis-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

tischere Empfehlung aussprechen, da ein Investor eher einen höheren Betrag zu einer geringeren Rendite anlegen würde als einen geringen Betrag mit einer höheren Rendite, wobei er nach dem Prinzip der Unternehmenswertmaximierung handelt. Bei der konsequenten Anwendung einer Methode würde dies bedeuten, dass die Unternehmensgröße eines den internen Zinsfuß maximierenden Unternehmens geringer wäre als die Größe des Unternehmens, das den Kapitalwert maximiert. Nach der Methode des internen Zinsfußes würde stets die Alternative mit dem höchsten Zinsfuß bevorzugt werden. Bei der Berechnung der Kapitalwertmethode kann die Rangordnung je nach Kalkulationszinsfuß schwanken, da die Bedeutung des Zeitpunktes der Zahlungen mit sinkendem Kalkulationszinssatz abnimmt (SWODOBA 1996, S. 45ff.).

Bei Berechnungen im Bioenergiesektor finden beide Methoden Berücksichtigung. Einzelinvestoren, gerade auch im landwirtschaftlichen Bereich, bewerten ihre Investitionsentscheidungen auf Grundlage von Betriebszweigauswertungen und damit häufig mit Hilfe von Differenzbetrachtungen bezüglich des Marktfruchtanbaus und des Bioenergiepflanzenanbaus mit anschließender Biogasnutzung. Daneben kommt die Kapitalwertmethode zur Anwendung. Andererseits werden bei Bioenergieanlagen z. B. in Emissionsprospekten für Beteiligungen an geschlossenen Fonds häufig die internen Zinssätze ausgewiesen. Der Grund hierfür besteht unter anderem darin, dass für den Kapitalanleger eine Vergleichbarkeit der erzielbaren Verzinsungsraten der alternativen Anlagemöglichkeiten erreicht wird.

2.2.4 Zinssätze

Kernelement der dynamischen Investitionsanalyse ist die Berücksichtigung eines Zinssatzes, mit dem die unterschiedlichen Zeitpunkte der Ein- und Auszahlungsflüsse berücksichtigt werden.

Der Zinssatz ist der Preis für die Überlassung einer Geldeinheit für eine bestimmte Dauer, in der Regel jährlich (per annum) (ALTROGGE 1996, S. 357). Der für Investitionsanalysen festzulegende Zinssatz richtet sich dann nach der subjektiven Mindestverzinsungsanforderung des Investors an sein Investitionsobjekt. In der Regel richtet sich dieser Kalkulationszinssatz bei einer Eigenfinanzierung nach den alternativen Anlagemöglichkeiten der Mittel. Als Referenz wird hier üblicherweise der Zinssatz am Kapitalmarkt angeführt. Der Kalkulationszinssatz wird aber in der Regel höher ausfallen als der Kapitalmarktzinssatz, da der Investor je nach Risiken noch einen Risiko-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

aufschlag auf seine Verzinsungsanforderung des Kapitals addieren wird. Bei einer Fremdfinanzierung wird sich die Verzinsungsanforderung an den Sollzinsen des Kapitalmarktes orientieren. Je nach Risikoeinschätzung wird ein entsprechender Aufschlag eingerechnet (DÄUMLER/GRABE 2007, S. 34ff.).

In den theoretischen Einführungen zu den Investitionsrechnungen wurde bisher nur ein Zinssatz unterstellt. Tatsächlich sind aber auf dem Kapitalmarkt für unterschiedliche Laufzeiten unterschiedliche Zinssätze vorzufinden, die des Weiteren jeweils unterschiedlich für Einlagen und Kredite ausgestaltet sind (KRUSCHWITZ 2010, S. 57ff.). Diese unterschiedlichen Zinssätze müssen deshalb bei der Wahl des Kalkulationszinssatzes berücksichtigt werden. Somit können sich je nach Anteil von Eigen- und Fremdfinanzierungsmitteln unterschiedliche Kalkulationszinssätze ergeben. Idealerweise haben die verglichenen Investitionsalternativen einen gleich hohen Kapitalbedarf und die gleiche Laufzeit bzw. Kapitalbindung. In vielen praktischen Anwendungsfällen wird sich aber genau diese Situation einstellen: Der Entscheider hat eine Wahl zu treffen zwischen einem teuren – dafür aber langlebigen – und einem günstigen Objekt mit entsprechend kürzerer Nutzungsdauer. Auch wenn hier z. B. die Kapitalwertmethode ein eindeutiges Ergebnis liefert, wird sich der Entscheider mit den erwarteten Konditionen der Anschlussinvestition der Investition mit der geringeren Laufzeit befassen (SWODOBA 1996, S. 41f.). Bioenergieprojekte werden in der Regel mit einer Laufzeit von 20 Jahren kalkuliert, da einerseits die garantierte Vergütung nach dem EEG über diese Laufzeit gewährt wird, andererseits aber auch Bestandteile der Investition (z. B. Gebäudehülle, Fermenter, Siloplatte, Befestigung etc.) über diesen Zeitraum abgeschrieben werden. Dennoch kann bei einigen Positionen die oben beschriebene Problemstellung auftreten, z. B. bei der Wahl von Blockheizkraftwerken (BHKW), Eintragsystemen, Maschinentechnik etc..

Neben den Zinssätzen der Kapitalmärkte können als Referenz für einen Kalkulationszinssatz auch die möglichen Verzinsungen aus alternativen Investitionen herangezogen werden. Der Kalkulationszinssatz orientiert sich damit an den Opportunitätskosten des Kapitals. Die Opportunitätskosten einer Investition ergeben sich aus dem gesamten entgangenen Nutzen der besten nicht ausgewählten Alternative, ausgedrückt als Rendite oder Effektivverzinsung. Da der Investor durch die Kapitalbindung in einer Investition eine andere Investition nicht tätigen kann und somit auch auf die daraus zu erwartende Rendite verzichtet, wird er mindestens die gleiche Renditeanforderung an die getätigte Investition haben, damit er wirtschaftlich nicht benach-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

teiligt ist. Dabei ist die Kapitalzusammensetzung aus Eigen- und Fremdkapitalanteilen unerheblich. Bei der Festlegung des Kalkulationszinssatzes sollte nicht ein willkürlicher Alternativzinssatz unterstellt werden, denn wird aufgrund eines möglicherweise zu hoch gewählten Alternativzinssatzes eine Investition abgelehnt, hat der Investor tatsächlich gar keine Investitionsalternative mit einer entsprechenden Renditeaussicht. Der Kalkulationszinssatz sollte daher eine Alternativanlagemöglichkeit repräsentieren, die idealerweise vergleichbar hinsichtlich der Risikoeinschätzung ist. Da Investoren verschiedene Opportunitätskosten haben können, ist es möglich, dass die gleiche Investition von einem Investor abgelehnt wird, während ein anderer diese durchführen würde (DÄUMLER/GRABE 2007, S. 34ff.).

2.3 Die multikriterielle Entscheidungsunterstützung

Multikriterielle Entscheidungen sind im Fall mehrerer Zielsetzungen notwendig, die häufig auch in Konkurrenz zueinander stehen. Als Beispiel kann hier ein Autokauf genannt werden. Das gesuchte Fahrzeug soll möglichst preisgünstig und sehr modern in Gestaltung und Farbgebung sein, eine hohe Leistung haben, aber möglichst wenig verbrauchen, eine hohe technische Ausstattung, geringe Reparatur- und Wartungskosten aufweisen, groß genug für Urlaubsfahrten und möglichst klein und wendig für Parklücken sein. Üblicherweise unterliegen die meisten Entscheidungen Mehrfachzielsetzungen (ZIMMERMANN/GUTSCHE 1991, S. 21). In der Realität sind deshalb multikriterielle Entscheidungsmodelle besser geeignet als die Bewertung von Alternativen anhand nur eines Kriteriums wie z. B. der Kapitalwertmethode mit dem Ziel der Gewinnmaximierung (BAMBERG ET AL. 2008, S. 45).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.