



Erfassung und Bewertung des Einflusses der Ressource Raum im Rahmen der Förderung von Erneuerbaren Energien sowie Ableitung eines ganzheitlichen Ansatz- zes zur optimalen Integration von regenerativen Tech- nologien in den ländlichen Raum



Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades

vorgelegt von

Stephan Bosch

1. Gutachter: Prof. Dr. Gerd Peyke
2. Gutachter: Prof. Dr. Armin Reller

Tag der mündlichen Prüfung: 28.06.2012

Danksagung

Nach mehrjähriger Auseinandersetzung mit dem bedeutenden und auch spannenden Thema »Erneuerbare Energien und Raum« neigt sich die Doktorandenzeit nun dem Ende zu. Dies möchte ich zum Anlass nehmen, um mich bei allen zu bedanken, die mir stets in vielfältiger Weise beigestanden sind.

Insbesondere gilt der Dank meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Gerd Peyke, der von Beginn unserer Bekanntschaft an sehr großes Vertrauen in mich gesetzt hat und früh die große Raumrelevanz des Ausbaus von Erneuerbaren Energien erkannte. Er gab mir den Freiraum, der notwendig ist, um sich wissenschaftlich entfalten zu können und offenbarte stets eine große Geduld, wenn Irrwege meinerseits beschritten wurden.

Des Weiteren richtet sich mein herzlicher Dank an mein soziales Netz von Familienmitgliedern und Freunden, die mir nicht nur den Rücken freigehalten haben, sondern auch gezeigt haben, dass es neben der Wissenschaft auch noch weitere interessante Beschäftigungsmöglichkeiten gibt. Ganz besonders möchte ich mich bei meiner Lebensgefährtin Lydia sowie bei meinen Eltern Anne und Werner bedanken, die mir mit Rat und Tat zur Seite standen.

Schließlich möchte ich mich noch bei meinen lieben Kollegen und Hiwis am Lehrstuhl für Humangeographie und Geoinformatik bedanken, die das Arbeiten an der Universität Augsburg sehr angenehm gemacht haben.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	II
Inhaltsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	X
1 Problemstellung, Zielsetzung, Methodik und Aufbau der Arbeit	1
1.1 Ausgangslage	1
1.2 Thematische Eingrenzung	1
1.2.1 Zentrale Bedeutung von Erneuerbaren Energien.....	1
1.2.2 Zentrale Bedeutung der Standortplanung.....	4
1.3 Problemstellung und Zielsetzung	5
1.4 Vorgehensweise	6
1.5 Aufbau	8
2 Erwartungen an den Ausbau von Erneuerbaren Energien	9
2.1 CO₂-arme Energieproduktion	9
2.2 Steigerung der Wertschöpfung in ländlichen Gebieten	12
2.3 Importabhängigkeit, Versorgungssicherheit und Preisstabilität	13
2.4 Investitionssicherheit	17
2.5 Wissensgestützte Gesellschaft	18
2.6 Weltweite Spitzenpositionen und Arbeitsmarkt	19
2.7 Nachhaltige Entwicklung	21
3 Stand der Forschung	35
3.1 Historische Energiekonzepte und Energievisionen	35
3.1.1 Atlantropa.....	35
3.1.2 Vision Aufwindkraftwerke.....	39
3.1.3 Solar Grand Plan.....	40
3.1.4 Desertec Industrial Initiative.....	41
3.1.5 European Supergrid.....	46
3.1.6 Strom aus dem Weltraum.....	46
3.2 Konzept des Energiedorfes	47
3.2.1 Allgemein.....	47

3.2.2	Beispiel Bioenergiedorf.....	47
3.2.3	Kritik	49
3.3	Energiesystemoptimierungsmodelle	50
3.3.1	Agentenbasierter Ansatz	50
3.3.2	Räumlich und zeitlich hoch aufgelöste Modelle	51
3.3.3	Intertemporale Modelle	53
3.3.4	Energieträgerorientierte Modelle	55
3.4	GIS-gestützte Energiekonzepte	58
3.4.1	Allgemein	58
3.4.2	Biomasse	58
3.4.3	Windenergie	61
3.4.4	Solarenergie.....	62
3.5	Fazit zum Forschungsstand	64
4	Einfluss der Ressource Raum auf die Förderstruktur	65
4.1	Räumliche Dimensionen europäischer Energiepolitik.....	65
4.1.1	Richtlinie als Instrument	65
4.1.2	Verknüpfung von Energie- und Klimapolitik	66
4.1.3	Abstufung nach dem BIP	71
4.1.4	Länderübergreifende Zusammenarbeit	75
4.1.5	Integration Erneuerbarer Energien in Baupläne.....	77
4.1.6	Versorgungssicherheit.....	79
4.1.7	Dynamische Betrachtungsweise.....	80
4.1.8	Sonderstellung von Biokraftstoffen	82
4.2	Räumliche Dimensionen deutscher Energiepolitik	87
4.2.1	Ambitionierte Ziele	87
4.2.2	Energiekonzept der Bundesregierung	89
4.2.3	Erneuerbare-Energien-Gesetz	92
4.2.4	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz	105

4.3	Fazit zur Energiepolitik	105
5	Ganzheitlicher Ansatz zur räumlichen Integration von EE	108
5.1	Begriffsdefinitionen	108
5.1.1	Standortfaktor und Standort	108
5.1.2	Potenzial	109
5.1.3	Kulturlandschaft, Ländlicher Raum, Heimat und Raumverträglichkeit	111
5.2	Signale eines deutlichen Akzeptanzverlustes	113
5.3	Problem einer nicht-integrierenden Standortplanung	122
5.4	Erneuerbare Energien in einer »vollen Welt«	127
5.5	Ursachen des suboptimalen Ausbaus von Erneuerbaren Energien	142
5.6	Neues Verhältnis zwischen Raum und Technologie	146
5.7	Energetische Landnutzungslehre – Methodik	150
5.7.1	Klassifizierung von Räumen	152
5.7.2	Restriktive Annahmen.....	158
5.7.3	Allgemeine Raumanforderungen	160
5.7.4	Erste Gegenüberstellung von Raumanforderungen und Technologien.....	163
5.7.4.1	<i>Windkraftanlage</i>	163
5.7.4.2	<i>PV-Freiflächenanlage</i>	167
5.7.4.3	<i>Biogasanlage</i>	169
5.7.4.4	<i>Erdwärmekraftwerk</i>	170
5.7.5	Primäre Zuordnung von Raum und Technologie.....	171
5.7.5.1	<i>Vorbelasteter Raum und Technologie</i>	172
5.7.5.2	<i>Forstwirtschaftlicher Raum und Technologie</i>	172
5.7.5.3	<i>Landwirtschaftlicher Raum und Technologie</i>	173
5.7.5.4	<i>Dienstleistungsraum und Technologie</i>	174
5.7.5.5	<i>Verletzlicher Raum und Technologie</i>	174
5.7.6	Zweite Gegenüberstellung von Raumanforderungen und Technologien.....	175
5.7.6.1	<i>Windkraftanlage</i>	175
5.7.6.2	<i>PV-Freiflächenanlagen</i>	179
5.7.6.3	<i>Biogasanlage</i>	183
5.7.6.4	<i>Erdwärmekraftwerk</i>	187
5.7.7	Sekundäre Zuordnung von Raum und Technologie.....	188

5.7.7.1	<i>Vorbelasteter Raum und Technologie</i>	189
5.7.7.2	<i>Forstwirtschaftlicher Raum und Technologie</i>	190
5.7.7.3	<i>Landwirtschaftlicher Raum und Technologie</i>	191
5.7.7.4	<i>Dienstleistungs- sowie verletzlicher Raum und Technologie</i>	191
5.7.8	Szenarien	192
5.7.8.1	<i>Reststoffverwertung bei Biogasanlagen – Szenario I</i>	193
5.7.8.2	<i>Kostensenkung und bessere Ökobilanz bei PV-Anlagen – Szenario II</i>	196
5.7.8.3	<i>Steigende Rohstoffpreise bei Windkraftanlagen – Szenario III</i>	198
5.7.9	Schwerpunktsetzung Ökologie, Ökonomie oder Soziales	201
6	Entwicklung einer integrierenden Standortplanungssoftware	205
	Literatur	213

Titelfoto: PV-Freiflächenanlage Eggghausen (Quelle: LEIDORF – www.leidorf.de).

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vermeidung von CO ₂ -Emissionen in Deutschland durch EE 2010 in Mio. t....	10
Abbildung 2: CO ₂ -Emissionen von dt. Kraftwerken 2010 in g CO ₂ / kWh.....	11
Abbildung 3: Importabhängigkeit Deutschlands bei Energieträgern 2010 (allgemein)	14
Abbildung 4: Importabhängigkeit Deutschlands bei Energieträgern 2010 (differenziert)	15
Abbildung 5: Methanhydratvorkommen weltweit (Stand 2011)	17
Abbildung 6: Bedeutung der Kernenergie in Europa.....	30
Abbildung 7: Jahresvolllaststunden deutscher Kraftwerke 2009.....	31
Abbildung 8: Externe Kosten verschiedener Energiequellen in ct/ kWh.....	34
Abbildung 9: Gibraltardamm - Kernstück der Energievision von Atlantropa.....	36
Abbildung 10: Parabolrinnenkraftwerk - Plataforma Solar de Almeria (Spanien).....	42
Abbildung 11: GIS-gestützte Standortanalyse für BGA in Deutschland (Stand 2006).....	60
Abbildung 12: Reichweite von Biokraftstoffen in km/ ha	83
Abbildung 13: Anteil von EE am PEV in Deutschland 2010	88
Abbildung 14: Zusammensetzung des Anteils von EE am PEV in Deutschland 2010	89
Abbildung 15: Zusammensetzung des Anteils von EE am dt. Stromverbrauch 2010	90
Abbildung 16: Anteil von EE am EEV in Deutschland 2010.....	91
Abbildung 17: Ziele des Ausbaus von EE in Deutschland bis 2020.....	92
Abbildung 18: Einspeisetarife für EE in Deutschland	93
Abbildung 19: Zusammensetzung der Stromkosten für dt. Privathaushalte 2011	94
Abbildung 20: Entwicklung der monatlichen Stromkosten eines dt. 3-Personen-Haushalts... ..	95
Abbildung 21: Überblick Bioenergie Deutschland	96
Abbildung 22: Überblick Photovoltaik Deutschland	100
Abbildung 23: Überblick Solarthermie Deutschland.....	101
Abbildung 24: EEG-Umlage in ct/ kWh und vergütete Strommenge in GWh.....	102
Abbildung 25: Investitionen in die Errichtung von EE in Deutschland 2010 in Mio. €.....	103
Abbildung 26: Entwicklung der installierten Leistung von EE in Deutschland in MW.....	104
Abbildung 27: Bewertung des Ausbaus von EE aus Sicht der dt. Bevölkerung 2009.....	114
Abbildung 28: Standortpotenzial der Tiefengeothermie in Deutschland (Stand 2011).....	121
Abbildung 29: Elemente des Systems dt. Windenergiebranche	122
Abbildung 30: Elemente des Systems dt. Solarbranche.....	123
Abbildung 31: Elemente des Systems dt. Bioenergiebranche.....	125
Abbildung 32: Elemente des Systems dt. Geothermiebranche	126
Abbildung 33: Elemente des Systems dt. Wasserkraftbranche.....	126

Abbildung 34: Verhältnis zwischen Raum und Technologie (ökonomische Ökonomik)	127
Abbildung 35: Alte Perspektive bei Standortplanungsprozessen für EE.....	129
Abbildung 36: Verhältnis zwischen Raum und Technologie (ökologische Ökonomik)	130
Abbildung 37: Verhältnis zwischen Raum und Technologie in einer leeren Welt.....	131
Abbildung 38: Verhältnis zwischen Raum und Technologie in einer vollen Welt.....	132
Abbildung 39: Windenergie in Bayern - Ausschlussgebiete (Restriktionsfläche I)	134
Abbildung 40: Windenergie in Bayern - Ausschlussgebiete (Restriktionsfläche II).....	135
Abbildung 41: Windenergie in Bayern - Standortpotenzial.....	137
Abbildung 42: Integration der Windenergie in die AWZ	138
Abbildung 43: Geplante und genehmigte Windparks in der AWZ.....	139
Abbildung 44: Potenzial und Flächenverbrauch von EE in Deutschland bis 2020	140
Abbildung 45: Akzeptanz von dt. Kraftwerken in unmittelbarer Nachbarschaft 2009	141
Abbildung 46: Neue Perspektive bei Standortplanungsprozessen für EE	147
Abbildung 47: Paradigmen bei Standortplanungsprozessen für EE	148
Abbildung 48: Eigenschaften der alten und neuen Standortplanung	149
Abbildung 49: Räumliche Verteilung von Raumtypen im Landkreis Landsberg a. Lech.....	154
Abbildung 50: Pumpspeicherkraftwerke (Deutschland, Luxemburg, Österreich, Schweiz). 161	
Abbildung 51: Maßstabsverluste durch WKA (Steinheim).....	164
Abbildung 52: Flächeneffizienz ausgewählter Technologierouten.....	165
Abbildung 53: Technologievoraussetzungen Windkraft I	167
Abbildung 54: Integration von PV-Anlagen in die Kulturlandschaft (Eggldhausen).....	168
Abbildung 55: Technologievoraussetzungen Photovoltaik I	169
Abbildung 56: Technologievoraussetzungen Biogas (Anbaubiomasse) I	170
Abbildung 57: Technologievoraussetzungen Geothermie I.....	171
Abbildung 58: Raumanforderungen in Abhängigkeit vom Raumtyp	171
Abbildung 59: Raumanforderungen vorbelasteter Raum.....	172
Abbildung 60: Raumanforderungen forstwirtschaftlicher Raum.....	173
Abbildung 61: Raumanforderungen landwirtschaftlicher Raum	173
Abbildung 62: Raumanforderungen Dienstleistungsraum.....	174
Abbildung 63: Raumanforderungen verletzlicher Raum	175
Abbildung 64: Technologiewahl: primäres Bewertungsverfahren	175
Abbildung 65: Technologievoraussetzungen Windkraft II.....	178
Abbildung 66: Gestehungskosten einzelner Technologierouten in ct.....	179
Abbildung 67: Technologievoraussetzungen Photovoltaik II.....	182
Abbildung 68: Räumliche Verteilung von Biomethananlagen in Deutschland 2011	183
Abbildung 69: Entwicklung der Anbaufläche von NawaRos in Deutschland in Mio. ha	185

Abbildung 70: Technologievoraussetzungen Biogas (Anbaubiomasse) II	186
Abbildung 71: Technologievoraussetzungen Geothermie II	188
Abbildung 72: Technologiewahl: sekundäres Bewertungsverfahren.....	189
Abbildung 73: Zuordnung Raum und Technologie - Anforderung Umweltfreundlichkeit ...	190
Abbildung 74: Technologievoraussetzungen Biogas (Reststoffe) I – Szenario I	194
Abbildung 75: Technologievoraussetzungen Biogas (Reststoffe) II – Szenario I.....	194
Abbildung 76: Technologiewahl: primäres Bewertungsverfahren - Szenario I.....	194
Abbildung 77: Technologiewahl: sekundäres Bewertungsverfahren - Szenario I.....	195
Abbildung 78: Zuordnung Raum und Technologie - Szenario I.....	195
Abbildung 79: Technologievoraussetzungen Photovoltaik III – Szenario II.....	197
Abbildung 80: Technologiewahl: sekundäres Bewertungsverfahren - Szenario II.....	197
Abbildung 81: Zuordnung Raum und Technologie - Szenario II	198
Abbildung 82: Technologievoraussetzungen Windkraft III – Szenario III.....	199
Abbildung 83: Technologiewahl: sekundäres Bewertungsverfahren - Szenario III	199
Abbildung 84: Zuordnung Raum und Technologie - Szenario III.....	200
Abbildung 85: Akzeptanzkompass für EE - Status Quo	202
Abbildung 86: Akzeptanzkompass für EE - Szenario I	203
Abbildung 87: Akzeptanzkompass für EE - Szenario II	203
Abbildung 88: Akzeptanzkompass für EE - Szenario III.....	204
Abbildung 89: Dynamik beim Ausbau von EE.....	207
Abbildung 90: Wesen einer integrierenden Standortplanung	210

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
Abb.	Abbildung
AGEB	Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen
AKW	Atomkraftwerk
Aufl.	Auflage
AWK-D	Arbeitsgemeinschaften Wasserkraftwerke Deutschland
AWZ	Ausschließliche Wirtschaftszone
BauGB	Baugesetzbuch
BauNVO	Baunutzungsverordnung
BBE	Bundesverband Bioenergie
BBergG	Bundesberggesetz
BBR	Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
Bd.	Band
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft
BDW	Bundesverband Deutscher Wasserkraftwerke
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
BGA	Biogasanlage
BGR	Bundesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BHKW	Blockheizkraftwerk
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BLB	Bundesverband der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften
BMJ	Bundesministerium für Justiz
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung

BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
BSP	Bruttosozialprodukt
bspw.	beispielsweise
BSV	Bayerische Futtersaatbau GmbH
BSW	Bundesverband Solarwirtschaft
BtL	Biomass-to-Liquid
BVP	Bundesverband Pflanzenöle
BWE	Bundesverband Windenergie
BWP	Bundesverband Wärmepumpe
bzw.	beziehungsweise
CCS	Carbon Dioxide Capture & Storage
Cd	Cadmium
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CSP	Concentrated Solar Power
DBFZ	Deutsches Biomasse-Forschungszentrum
DENA	Deutsche Energie-Agentur
DENET	Kompetenznetzwerk Dezentrale Energietechnologien
DEWI	Deutsches Windenergie-Institut
dgl.	dergleichen
DGM	Digitales Geländemodell
DGS	Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie
d. h.	das heisst
DII	Desertec Industrial Initiative
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DKM	Digitale Katastermappe

DMK	Deutsches Maiskomitee
DOM	Digitales Oberflächenmodell
Dy	Dysprosium
EADS	European Aeronautic Defense and Space Company
EC	European Commission
EDF	Électricité de France
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EEV	Endenergieverbrauch
EEWärmeG	Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz
EFOM	Energy Flow Optimization Model
EGEC	European Geothermal Energy Council
EHPN	European Heat Pump Network
EIKE	Europäisches Institut für Klima und Energie
EJ	Etajoule
EPAW	European Platform Against Windfarms
EPIA	European Photovoltaic Industry Association
ESHA	European Small Hydropower Association
et al.	et alia
EU	Europäische Union
EUMENA	Europe, Middle East & North Africa
EWEA	European Wind Energy Association
EWK	Erdwärmekraftwerk
FHH	Fauna-Flora-Habitat
FM	Frischmasse
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe
FOSG	Friends of the Supergrid
FuE	Forschung und Entwicklung

FVEE	ForschungsVerbund Erneuerbare Energien
FVS	Forschungsverbund Sonnenenergie
FZJ	Forschungszentrum Jülich
FZK	Forschungszentrum Karlsruhe
g	Gramm
GBR	Großbritannien
GEA	Geothermal Energy Association
GFZ	Helmholtz-Zentrum Potsdam Deutsches Geoforschungszentrum
GGA	Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben
ggf.	gegebenenfalls
GIS	Geographisches Informationssystem
GPS	Ganzpflanzensilage
GtV-BV	Bundesverband Geothermie
GuD	Gas und Dampf
GW	Gigawatt
ha	Hektar
HDR	Hot Dry Rock
HEKTOR	Hektar Kalkulator
HGÜ	Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung
H ₂	Wasserstoff
H ₂ Se	Selenwasserstoff
i. d. R.	in der Regel
IEA	International Energy Agency
IFNE	Ingenieurbüro für Neue Energien
IGA	International Geothermal Association
IPP	Max-Planck-Institut für Plasmaphysik
ISE	Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme
ISEW	Index of Sustainable Economic Welfare

ISET	Institut für Solare Energieversorgungstechnik
ISFH	Institut für Solarenergieforschung
ITT	Institut für technische Thermodynamik
IWR	Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien
IZNE	Interdisziplinäres Zentrum für Nachhaltige Entwicklung
Jh.	Jahrhundert
KIKK	Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken
km ²	Quadratkilometer
km ³	Kubikkilometer
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
kWp	Kilowatt-Peak
L	Liter
Ldk.	Landkreis
m	Meter
m ²	Quadratmeter
MARKAL	Market Allocation Model
MENA	Middle East & North Africa
MESSAGE	Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental impact
Mio.	Million
Mrd.	Milliarde
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunde
NABU	Naturschutzbund Deutschland
NawaRos	Nachwachsende Rohstoffe
Nd	Neodym

NO _x	Stickstoffoxid
NRW	Nordrhein-Westfalen
o. J.	ohne Jahr
p	Peak
PEV	Primärenergieverbrauch
PJ	Petajoule
PV	Photovoltaik
RME	Rapsmethylester
ROPLAMO	Raumordnungsplan-Monitor
s	Sekunde
S.	Seite
SFV	Solarenergie-Förderverein Deutschland
SNG	Synthetic Natural Gas
SO ₂	Schwefeldioxid
SRU	Sachverständigenrat für Umweltfragen
StMI	Bayerisches Staatsministerium des Innern
StMUG	Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit
StrEG	Stromeinspeisegesetz
SWE	Stiftungslehrstuhl Windenergie
t	Tonne
Te	Tellur
TIMES	The Integrated MARKAL EFOM System
TJ	Terajoule
TM	Trockenmasse
TOP	Toolkit for Optimization of Industrial Energy System
TW	Terawatt
TWh	Terawattstunde
u. a.	unter anderem

UBA	Umweltbundesamt
UN	United Nations
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
u. U.	unter Umständen
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
VDB	Verband der Deutschen Biokraftstoffindustrie
VR	Volksrepublik
W	Watt
WAB	Windenergie-Agentur Bremerhaven/ Bremen
WBGU	Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen
WCED	World Commission on Environment and Development
WKA	Windkraftanlage
z. B.	zum Beispiel
ZSW	Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung

1 Problemstellung, Zielsetzung, Methodik und Aufbau der Arbeit

1.1 Ausgangslage

MEADOWS et al. (2006, S. 141f.) zeigen prinzipielle Möglichkeiten auf, wie eine wachsende Gesellschaft der ökologischen Tragfähigkeit der Erde entsprechen kann. Sie betonen jedoch, dass eine logistische Annäherung an die Wachstumsgrenzen nicht mehr möglich ist, da der ökologische Fußabdruck der Menschheit bereits seit Ende der 1970'er Jahre die ökologische Tragfähigkeit der Erde übersteigt (vgl. WACKERNAGEL et al. 1999). Dies äußert sich in einer schwindenden Ressourcenbasis und in einer Erschöpfung der Aufnahmekapazität von Senken für Umweltgifte. Angesichts der außerordentlichen wirtschaftlichen Dynamik in Schwellenländern wie China, Indien und Brasilien sowie eines damit einhergehenden enormen Wachstums an materiellem Durchsatz, könnte die Stabilisierung des ökologischen Fußabdruckes bereits als ein Erfolg angesehen werden. Die beste Option, die der Menschheit noch bleibt, besteht jedoch darin, ihren ökologischen Fußabdruck drastisch zu verringern. Gelingt dies nicht, drohen eine massive Grenzüberschreitung sowie ein gesellschaftlicher Zusammenbruch. Bevölkerungszahl und Wirtschaftsleistung würden schließlich so stark zurückgehen, bis sich – auf niedrigerem Wohlstandsniveau – ein neues Gleichgewicht zwischen ökologischem Fußabdruck und ökologischer Tragfähigkeit einstellt (MEADOWS et al. 2006, S. 141ff.).

1.2 Thematische Eingrenzung

1.2.1 Zentrale Bedeutung von Erneuerbaren Energien

Um den Übergang zu einem nachhaltigen Gesellschaftssystem zu ermöglichen, sind verschiedene Maßnahmen wie die Steigerung der Energieeffizienz und -suffizienz, die Etablierung von Niedrigenergie- und Passivhäusern, die Reduzierung des motorisierten Individualverkehrs, die Verbreitung von Hybrid- bzw. reinen Elektroantrieben, die Umsetzung der Stadt der kurzen Wege, die Einhaltung von Fangquoten in der Fischerei, der Schutz von Regenwaldgebieten, das Rezyklieren von Flächen und Stoffen sowie der Ausbau von EE notwendig. Bei der vorliegenden Arbeit wird der Fokus ausschließlich auf den **Ausbau von EE** gerichtet. Zu den EE zählen Solarenergie, Wasserkraft, Windenergie, Geothermie, Biomasse sowie Müll (ZAHORANSKY 2010, S. 23).

Diese Schwerpunktsetzung ist der Annahme geschuldet, dass mit dem Aufbau eines regenerativen Energiesystems das Fundament für eine nachhaltige Entwicklung gelegt

wird bzw. ohne eine Energiewende der ökologische Fußabdruck der Menschheit nicht nennenswert verringert werden kann. Auf dem Weg zu einem nachhaltigen Gesellschaftssystem bildet die Erarbeitung eines Konzeptes zum Ausbau von EE daher einen wesentlichen Faktor. Dies lässt sich dadurch begründen, dass wirtschaftliches Wachstum und damit auch Wohlstand bisher meist mit einer Zunahme des Energieverbrauches einhergehen. MEADOWS et al. (2006, S. 86) verdeutlichen dies, indem sie den Energieverbrauch von Industrieländern jenem von Entwicklungs- und Schwellenländern gegenüberstellen. Demnach verbraucht ein Bürger aus Westeuropa im Schnitt die 5,5-fache Energiemenge eines afrikanischen Bürgers. Der Energiebedarf eines US-Bürgers übersteigt den eines Inders sogar um das 9-fache. Wirtschaft und Energie müssen zumindest bis dato als Synonyme begriffen werden. Gelingt es, die Energieversorgung auf eine regenerative Basis zu stellen, werden auch die Wirtschaft und damit ein Großteil der Wirkbereiche des Menschen von dieser ökologischen Transformation erfasst. MCKIBBEN (2009, S. 30) betont die Kongruenz der Begriffe und stellt die Energie sogar als den Motor des Fortschritts dar:

„Energie ist nicht einfach ein Teil unserer Wirtschaft. Energie ist unsere Wirtschaft. Unser Umgang damit wird entscheiden, ob das 21. Jahrhundert den Fortschritt des Menschen fortsetzt, oder ob es zum Wendepunkt wird, der unseren Niedergang einleitet. Es geht um nichts weniger als um die Rettung unseres Zuhauses. Unseres Planeten.“

Aufgrund von Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum nahm allein zwischen 1950 und 2000 der globale Energieverbrauch jährlich um 3,5 % zu. Bis zum Jahr 2030 ist angesichts eines weiteren globalen wirtschaftlichen Wachstums – v. a. innerhalb der Schwellenländer China und Indien – mit einem zusätzlichen Anstieg des PEV um ca. 50 % zu rechnen (vgl. IEA 2008). Speziell im starken Anstieg des PEV sehen MEADOWS et al. (2006, S. 17ff.) die entscheidende Gefahr für eine massive Grenzüberschreitung. Bei einem jährlichen Wachstum des Energieverbrauches von bspw. 3,5 %, beträgt der Verdopplungszeitraum nur etwa 20 Jahre. Daraus würde folgen, dass die Menschheit innerhalb der nächsten 20 Jahre exakt die Menge an Energierohstoffen auffinden, erschließen und umsetzen müsste, die bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt verwertet wurde. Damit ist die Grenze der Tragfähigkeit des Planeten Erde derart schnell erreicht, dass eine rechtzeitige Reaktion der Menschheit als unwahrscheinlich, ja sogar als unmöglich erscheint. Würde das Energiesystem auf EE umgestellt werden, so ginge eine große wirtschaftli-

che Dynamik nicht zwangsläufig mit einem überdimensionierten Energieverbrauch einher. Nicht zuletzt sind die maßgebenden Energiequellen Sonne und Erdwärme in menschlichen Zeitdimensionen unerschöpflich. Der amerikanische Ingenieur *Frank Shuman*, der im Jahr 1913 das weltweit erste Parabolrinnenkraftwerk im ägyptischen Maadi errichtet hatte, warnte die Menschheit eindrücklich davor, das enorme Energiepotenzial der Sonne zu lange zu ignorieren (vgl. CLEVELAND 2008). So heißt es:

„One thing I feel sure, and that is that the human race must finally utilize direct sun power or revert to barbarism.“ (SHUMAN 1914 zit. bei GREER 2010, S. 1)

Der amerikanische Erfinder *Thomas Alva Edison* hegte gleichermaßen die Hoffnung, dass sich die Menschheit möglichst zeitnah der unerschöpflichen Energiequelle Sonne zuwenden würde. Kurz vor seinem Tod betonte er:

“I’d put my money on the sun and solar energy. What a source of power! I hope we don’t have to wait ‘til oil and coal run out before we tackle that.” (EDISON 1931 zit. bei ROGERS 2007, S. 1)

Nahezu ein Jahrhundert später, nachdem die Menschheit bereits einen Großteil der konventionellen Erdölvorräte aufgebraucht hatte, griff *Gerhard Knies*, Vorsitzender des Aufsichtsrates der Desertec Foundation sowie Mitglied der Deutschen Gesellschaft Club of Rome, den Traum von der Nutzung der Sonnenenergie erneut auf und stellte fest:

„Die Wüsten der Erde empfangen in 6 Stunden mehr Energie von der Sonne, als die Menschheit in einem ganzen Jahr verbraucht.“ (DESERTEC FOUNDATION 2009, S. 2)

Bemerkenswert ist, dass es der Menschheit bis zum heutigen Zeitpunkt nicht annähernd gelungen ist, die Visionen von *Shuman*, *Edison* und *Knies* in die Realität umzusetzen. Dies ist umso bedauernswerter, als eine partielle Grenzüberschreitung mittlerweile nicht mehr verhindert werden kann. Zahlreiche Folgewirkungen des konventionellen, auf überwiegend fossilen Energieträgern basierenden Energiesystems, wie bspw. die Globale Erwärmung, sind bereits heute zu spüren und werden aufgrund von verzögerten Effekten auch zukünftig noch stark in Erscheinung treten. Der rasche Ausbau von EE

würde jedoch Anlass zu der Hoffnung geben, dass eine Verringerung des ökologischen Fußabdruckes der Menschheit und damit ein langsames Einpendeln auf den Grenzbe- reich realisierbar sind.

1.2.2 Zentrale Bedeutung der Standortplanung

Der Ausbau von EE sieht sich mit zahlreichen Herausforderungen konfrontiert, deren Bewältigung keineswegs als gesichert erscheint. Es gilt, die Energieausbeute bei einer Vielzahl von technologischen Optionen noch zu steigern sowie die Gestehungskosten erheblich zu senken. Entsprechend der **Produktzyklustheorie** (vgl. VERNON 1966 & VERNON 1979) ist davon auszugehen, dass die EE nach dem Überdauern der Entwick- lungs- und Einführungsphase in die Wachstums- und Reifephase eintreten werden und Standardisierung sowie Massenproduktion die Technologien sukzessive am Markt etab- lieren werden (BATHELT/ GLÜCKLER 2002, S. 228ff. & SCHÄTZL 2001, S. 210f.). So führt bspw. der momentan sich vollziehende, massive Ausbau an Produktionskapazitä- ten im Bereich der PV-Branche zu einer erheblichen Verringerung der Stromgeste- hungskosten (vgl. RENTZING 2011b). Die ökonomische Konkurrenzfähigkeit zu fossilen und nuklearen Kraftwerken ist damit nur eine Frage der Zeit und gibt daher wenig An- lass zur Sorge. Zwar ist – entsprechend der **Theorie der langen Wellen** nach SCHUMPETER (1961) – beim Übergang von einem auf fossilen und nuklearen Energie- trägern basierenden System hin zu einem System, das sich v. a. auf regenerative Ener- geträger stützt, mit einer ökonomischen Krise zu rechnen. Langfristig ist jedoch davon auszugehen, dass die Basisinnovationen im Bereich der EE ein neues wirtschaftliches Wachstum generieren werden (vgl. BATHELT/ GLÜCKLER 2002, S. 247ff. & SCHÄTZL 2001, S. 217ff.).

Auch von der Erhöhung der Energieeffizienz durch Optimierung technischer Parameter, der gesetzlichen Besserstellung der Branche durch Optimierung der Förderstruktur so- wie von der Erhöhung der Anzahl qualifizierter Arbeitskräfte durch Optimierungen im Ausbildungsbereich sind positive Impulse für den Ausbau von EE zu erwarten. Bedeu- tend sind jedoch auch Verbesserungen im Bereich der räumlichen Integration von EE. Die Geographie steht diesbezüglich in der Verantwortung, einen Beitrag zur Etablierung eines räumlich optimierten regenerativen Energiesystems zu leisten. Das Augenmerk der vorliegenden Arbeit liegt entsprechend auf der **Optimierung der Standortpla- nung**.

Die Standortplanung ist von immenser Bedeutung, da die Gewinnung von Energieträgern innerhalb eines regenerativen Energiesystems nicht mehr – wie es im gegenwärtigen Zeitalter des Erdöles noch der Fall ist – von der Ergiebigkeit räumlich eng begrenzter, punktueller Quellen, sondern meist von der Verfügbarkeit ausreichend großer und ertragreicher Flächen abhängt. BRÜCHER (2008, S. 4) umschreibt das konventionelle Energiesystem mit „*energy for space*“. Der Raum spielt dabei lediglich im Rahmen der Verteilung der produzierten Energie, d. h. bei der Überwindung des Raumes durch den Transport des Stroms mittels Hochspannungsleitungen, eine Rolle. Wenige große, zentrale Kraftwerke sind in diesem System ausreichend (BRÜCHER 2009, S. 55ff.). Der Erfolg eines regenerativen Energiesystems, das mit „*energy from space*“ charakterisiert wird (BRÜCHER 2008, S. 4), hängt hingegen von der Möglichkeit ab, ausreichend und qualitativ hochwertige Flächen bereitzustellen zu können, die der Energiegewinnung dienen. Dabei kommt der Standortplanung eine entscheidende Bedeutung zu. Die Raumüberwindung ist in diesem Fall von sekundärer Bedeutung, da die zahlreichen, dezentralen Technologien in unmittelbarer Nähe zum Verbraucher sind.

1.3 Problemstellung und Zielsetzung

Bedenklich ist die deutlich wahrnehmbare Verschlechterung der Akzeptanz gegenüber den EE. Zahlreiche Bürgerinitiativen haben sich innerhalb der letzten Jahre formiert, um einem weiteren Ausbau von dezentralen Kraftwerken vorzubeugen. BRENNER (2011) geht sogar davon aus, dass – angesichts der starken Ausbaubemühungen der Bundesregierung nach dem Reaktorunglück von Fukushima – die Proteste in den kommenden Jahren noch erheblich zunehmen werden. Es besteht die Frage, wie es zu dem Paradoxon kommen konnte, dass einerseits ein Großteil der Bevölkerung die Notwendigkeit einer Energiewende anerkennt und den Ausbau von EE unterstützt, andererseits sich jedoch immer mehr Bürgerinitiativen formieren, um gegen deren Ausbau vorzugehen.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird untersucht, ob und inwieweit dieses Phänomen auf Mängel im Rahmen der Standortplanung zurückzuführen ist und wie ggf. ein innovativer, nachhaltiger Ansatz zur Integration von EE in den ländlichen Raum aussehen könnte. Zu diesem Zweck werden die folgenden Fragestellungen formuliert, die quasi als Leitfaden für diese Arbeit zu verstehen und an gegebener Stelle zu diskutieren sind.

Fragestellung 1: Inwieweit beziehen die europäische und deutsche Energiepolitik die Ressource Raum ein, wenn Vorgaben zum Ausbau von EE gemacht werden?

Fragestellung 2: Inwieweit wirken sich die gängigen Methoden zur räumlichen Integration von EE auf die Akzeptanz aus?

Fragestellung 3: Inwieweit wird der Fokus auf Raumverträglichkeit gerichtet, wenn es in Deutschland zum Ausbau von EE kommt?

Fragestellung 4: Inwieweit kann der Ausbau von EE raumverträglich sein, wenn die Ansprüche der Technologie in den Mittelpunkt des standortplanerischen Kalküls gerückt werden?

Fragestellung 5: Welche Korrekturen sind bei Standortplanungsprozessen notwendig, um einen raumverträglichen Ausbau zu ermöglichen?

Abgesehen von der Beantwortung der oben formulierten Fragestellungen ist es das übergeordnete Ziel der vorliegenden Arbeit, ein Standortkonzept bzw. eine Methodik zu entwickeln, mit der sich die EE optimal in den ländlichen Raum integrieren lassen. Dabei gilt es, die Mängel bestehender Energiekonzepte aufzudecken und als Erfahrungswerte einfließen zu lassen. Es gilt zu diskutieren, welche Bedeutung dem Raum im Rahmen eines regenerativen Energiesystems überhaupt zukommt und wie **das optimale Ausmaß der EE im Verhältnis zum Raum** aussehen könnte. Es besteht die Vermutung, dass ein Großteil der bisherigen Energiekonzepte die Relevanz des Raumes unterschätzt hat bzw. bei denjenigen Konzepten, die diesem Aspekt Rechnung getragen haben, von einem falschen Verhältnis zwischen Raum und Technologie ausgegangen wurde. Es bleibt zu klären, ob und inwieweit dies mit einem Akzeptanzverlust gegenüber den EE einhergeht.

1.4 Vorgehensweise

Anhand des Standes der Forschung sowie anhand der europäischen und deutschen Energiepolitik wird zunächst aufgezeigt, welche Planungsansätze und -instrumente bis dato im Fokus der Ausbaubemühungen im Bereich EE stehen und inwieweit sich daraus ein Forschungsbedarf ergibt. Mittels einer darauf aufbauenden Literaturanalyse wird der

Versuch unternommen, das Ausmaß des Vertrauensverlustes gegenüber den EE – der möglicherweise als Ergebnis einer falschen Standortplanungsstrategie anzusehen ist – qualitativ zu erfassen. Dabei werden v. a. die Bedenken und Vorbehalte von Bürgerinitiativen näher betrachtet, analysiert und eingeordnet. Im Sinne eines induktiven Ansatzes werden diese Ergebnisse in die Konzeption einer neuen Theorie – eines alternativen Standortkonzeptes – einfließen.

Neben den Ursachen für die Akzeptanzprobleme bilden mehrere theoretische Ansätze die Basis für den neuen Planungsansatz. Diese sind zu ganz unterschiedlichen Zeitpunkten und vor dem Hintergrund völlig unterschiedlicher Fragestellungen entstanden. Auf der einen Seite wird auf die **Landwirtschaftliche Landnutzungslehre** von *Johann Heinrich v. Thünen* zurückgegriffen, der als erster Standorttheoretiker bezeichnet wird. Er hat zu Beginn des 19. Jh. den Versuch unternommen, die Flächennutzung im Umkreis eines landwirtschaftlichen Betriebes zu optimieren. Darüber hinaus werden die Erkenntnisse aus der **Marginalschule der industriellen Standortlehre** von *D. M. Smith* sowie aus dem **Behavioristischen Ansatz** von *Allan R. Pred* mit einbezogen, die aufgrund der Abkehr vom Menschenbild des homo oeconomicus von einer punkt- zu einer flächenbezogenen Standortbewertung kommen und damit auch suboptimales Unternehmertum berücksichtigen. Auch die diversen Ansätze zu einer **relationalen Wirtschaftsgeographie** sind von großer Relevanz für die vorliegende Arbeit. Auf der anderen Seite ist das Gedankengut der **Ökologischen Ökonomik** von *Herman E. Daly* grundlegend. Den Kern seiner Theorie bildet die vehemente Kritik an der weit verbreiteten Vorstellung, dass wirtschaftliches Wachstum nicht an Grenzen stoßen kann. Schließlich fließen die **systemtheoretischen Überlegungen** von *Frederic Vester*, der sich stets für die Robustheit eines Systems gegenüber Schwankungen ökonomischer, ökologischer und sozialer Natur interessierte, in die Konzeption eines innovativen Standortplanungskonzeptes für EE mit ein. Die Denkmuster aller dieser Theorien werden in einer Weise auf das Thema EE übertragen, die es ermöglicht, eine neue Methodik zur optimalen Integration von regenerativen Technologien in den ländlichen Raum abzuleiten. Hierin ist der deduktive Ansatz der vorliegenden Arbeit zu finden.

Im Rahmen dieses neuen Planungsansatzes steht schließlich die Klassifizierung sowohl von Räumen als auch von Technologien im Fokus. Bei der Typisierung von Räumen werden ausschließlich qualitative Merkmale im Vordergrund stehen. Dies ist dadurch zu

begründen, dass der Charakter eines Raumes nicht unbedingt durch die Masse an raumspezifischen Erscheinungen bestimmt wird, sondern auch durch wenige, jedoch weit wirkende Elemente Prägung erfährt. Allein durch diese Sichtweise ist es möglich, der Problematik einer stark ausgeprägten Individualität von Räumen beizukommen. Die Technologien lassen sich hingegen hervorragend anhand quantitativer Merkmale klassifizieren, wobei diese einer großen Dynamik unterliegen.

Nach der ausführlichen Darlegung der innovativen Methodik wird diese beispielhaft am Landkreis Landsberg a. Lech demonstriert. Dadurch ist es einerseits möglich, das Wesen des neuen Ansatzes zur Integration von EE in den ländlichen Raum zu begreifen, andererseits lässt sich so die Belastbarkeit der Theorie gegenüber der Wirklichkeit testen.

1.5 Aufbau

In Kapitel 2 geht es zunächst darum, die Erwartungen, die mit dem Ausbau von EE verknüpft sind, zu erläutern. Kapitel 3 wird Auskunft darüber geben, mittels welcher wissenschaftlich-energiekonzeptioneller Ansätze die räumliche Integration von EE bisher begleitet wurde. Im darauffolgenden Kapitel 4 wird analysiert, inwieweit die Energiepolitik der Europäischen Union sowie die der Bundesregierung der großen Bedeutung der Ressource Raum Rechnung tragen und welche Unwägbarkeiten sich aus einer Geringerschätzung des Raumbezugs von EE ergeben könnten. Von zentraler Bedeutung ist zweifelsohne Kapitel 5. Hier wird der Weg zu einer neuen Standortplanung beschritten. Dabei gilt es zunächst, das Ausmaß des Akzeptanzverlustes gegenüber einem forcierten Ausbau von EE festzustellen. In einem weiteren Schritt werden die Nachteile der gegenwärtigen Planungsstrukturen und -prozesse bei der Technologieverortung erfasst und darauf aufbauend eine alternative Standortstrategie bzw. Methodik entwickelt und erläutert. Diese wird daraufhin am Beispiel des Landkreises Landsberg a. Lech veranschaulicht. In Kapitel 6 wird schließlich aufgezeigt, welche Möglichkeiten es gibt, die Erkenntnisse der vorliegenden Arbeit im Rahmen von weiteren Forschungsprojekten zu nutzen.

2 Erwartungen an den Ausbau von Erneuerbaren Energien

Mit dem Ausbau von EE verbindet sich nicht nur die Gelegenheit, eine auf dem Prinzip der Nachhaltigkeit beruhende Energiewende einzuleiten. Vielmehr wirken sich Entwicklung, Produktion, Verteilung und Nutzung von regenerativen Technologien in vielfältiger Weise auf die Gesellschaft aus. Sieben wesentliche Effekte lassen sich feststellen (vgl. EU 2008a & EU 2009a):

Der Ausbau von EE bietet die Möglichkeit...

- ...einer CO₂-armen Energieproduktion in Folge der Substitution von fossilen, klimawirksamen Energieträgern durch regenerative, klimafreundliche Energien.*
- ..., aufgrund des dezentralen Charakters von regenerativen Energien, eine Steigerung der Wertschöpfung v. a. in ländlichen Gebieten einzuleiten.*
- ..., die Importabhängigkeit von den Erdöl und Erdgas liefernden Ländern zu reduzieren, Versorgungssicherheit zu erhöhen und Preisstabilität zu gewährleisten.*
- ...Investitionssicherheit zu garantieren.*
- ...des Aufbaus einer wissensgestützten Gesellschaft.*
- ...europäischen Unternehmen den Zugang zu weltweiten Spitzenpositionen zu ermöglichen und den europäischen Arbeitsmarkt zu beleben.*
- ...einer nachhaltigen Entwicklung.*

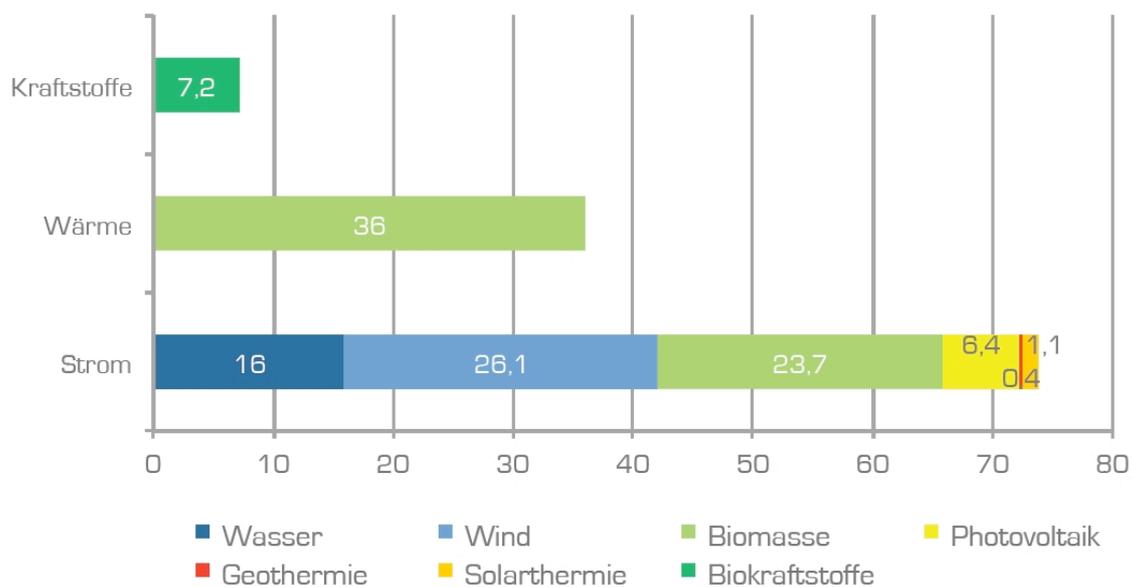
Der bisherige Ausbau von EE hat deutschlandweit bereits deutliche Spuren hinterlassen, dennoch konnte den oben beschriebenen Erwartungen nur vereinzelt entsprochen werden. Mehrere Gründe spielen dafür eine Rolle. Diese werden im Folgenden näher erläutert.

2.1 CO₂-arme Energieproduktion

Das Energiesystem der führenden Wirtschaftsnationen beruht seit der Industrialisierung auf dem Verbrauch von fossilen Energieträgern. Deren Verfeuerung und die anschließende Freisetzung großer Mengen an CO₂ sind nach gängiger Meinung maßgeblich für den anthropogenen Treibhauseffekt verantwortlich. Die damit einhergehende Erwär-

mung der Atmosphäre führt zu globalen Klimaänderungen mit z. T. verheerenden regionalen Auswirkungen. Dürrekatastrophen durch Anomalien im Wettergeschehen, die Häufung von Sturmereignissen, gravitative Massenbewegungen durch das Auftauen des Permafrostbodens in Hochgebirgen, Überschwemmungen durch Starkniederschlagsereignisse und den Anstieg des Meeresspiegels, die Ausbreitung von Schädlingen und Krankheiten, thermische Belastungen des menschlichen Organismus sowie die Versauerung der Meere erschweren bereits heute die Lebensbedingungen von Mensch, Tieren und Pflanzen (vgl. ENDLICHER/ GERSTENGARBE 2007). An dieser Stelle muss jedoch betont werden, dass bis zum heutigen Zeitpunkt nicht zufriedenstellend geklärt werden konnte, welche Faktoren letztlich zu den rezenten Veränderungen im Klimageschehen beigetragen haben. Einige Wissenschaftler schließen sogar die Möglichkeit eines anthropogenen Klimawandels aus und sprechen von Klimalobbyismus, der auf einem pseudowissenschaftlichen Fundament basiere (vgl. EIKE 2010a; EIKE 2010b & EIKE 2010c).

Abbildung 1: Vermeidung von CO₂-Emissionen in Deutschland durch EE 2010 in Mio. t

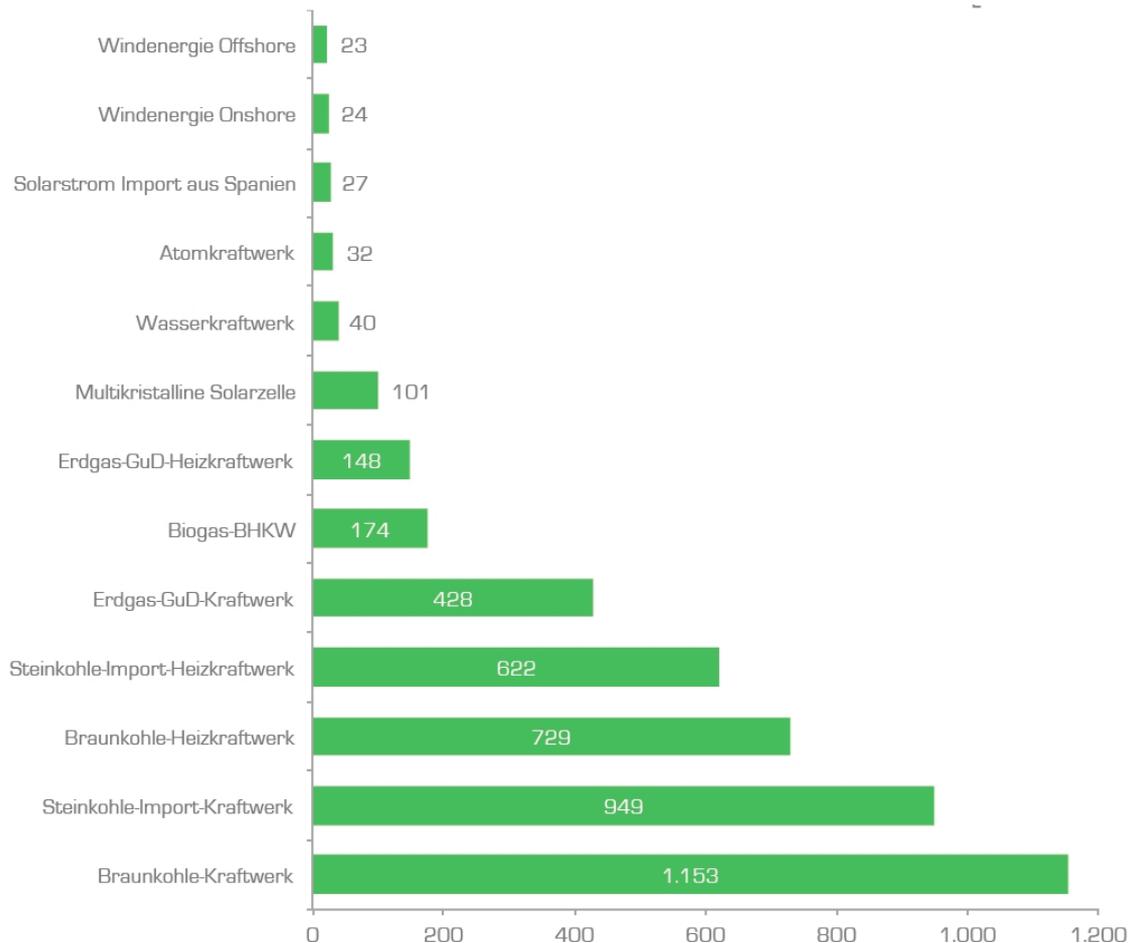


Quelle: PEYKE/ BOSCH et al. 2011, S. 8.

Unabhängig davon, wie stark nun der anthropogene Einfluss auf das Klima wirklich ist, wird der Anteil von CO₂ in der Atmosphäre in den kommenden Jahrzehnten sukzessive ansteigen. Beharrt man weiterhin auf dem verstärkten Einsatz von fossilen Energieträgern, so werden sich die CO₂-Emissionen bis 2030 aufgrund einer stetig ansteigenden Energienachfrage um 60 % erhöhen (vgl. EU 2006). Die Möglichkeit der CO₂-

Sequestrierung (vgl. DOOLEY et al. 2006 & MCGRAIL et al. 2006) bietet keinen geeigneten Ansatz, dieses Problem zu umgehen, da mit einer Abscheidung von CO₂ eine erhebliche Verringerung des Wirkungsgrades der Kraftwerke einhergeht und deshalb bei gleicher Strom- und Wärmeerzeugung einen Mehrbedarf an fossilen Energieträgern generiert (vgl. WBGU 2003).

Abbildung 2: CO₂-Emissionen von dt. Kraftwerken 2010 in g CO₂/ kWh



Quelle: PEYKE/ BOSCH et al. 2011, S. 9.

Die EU hat erkannt, dass mit dem Ausbau von EE und die daran gekoppelte Substitution von fossilen Energieträgern eine CO₂-arme und damit klimaschonende Energieproduktion möglich ist. Durch den Einsatz von EE konnten 2010 im Strombereich über 70 Mio. t an CO₂-Emissionen vermieden werden (vgl. Abb. 1). Ziel der EU ist es, diesen Betrag sukzessive zu erhöhen. Ein Vergleich zwischen den CO₂-Emissionen von fossilen und regenerativen Energieträgern verdeutlicht den positiven Einfluss eines regenerativen Energiesystems auf das Klima: In einem Braunkohle- bzw. Steinkohle-Kraftwerk werden bei der Stromproduktion pro Kilowattstunde 1.153 bzw. 949 g CO₂

emittiert. Selbst bei Erdgas-GuD-Kraftwerken beläuft sich die CO₂-Belastung auf immerhin noch 428 g/ kWh. Werden hingegen die CO₂-Emissionen von EE betrachtet, so ist deren klimafreundlicher Charakter zu erkennen (vgl. Abb. 2). Wasserkraftwerke emittieren lediglich 40 g CO₂/ kWh. Bei der Gewinnung von Solarstrom aus Spanien können die Emissionen sogar auf 27 g CO₂/ kWh reduziert werden. Die CO₂-Emissionen bei Offshore- bzw. Onshore-Windparks belaufen sich auf nur noch 23 bzw. 24 g/ kWh. Wird bei der Stromerzeugung mittels BGA zusätzlich die beim Produktionsprozess anfallende Abwärme genutzt, so können die CO₂-Emissionen pro Kilowattstunde sogar um 409 g gesenkt werden (SRU 2011, S. 49). Generell ist bei BGA jedoch von Emissionen in Höhe von 174 CO₂/ kWh auszugehen (vgl. HERMINGHAUS 2009).

2.2 Steigerung der Wertschöpfung in ländlichen Gebieten

HENKEL (2004, S. 222) stuft das ökonomische Wachstumspotenzial ländlicher Räume als eher gering ein. Dabei betont er, dass Standortvorteile wie verfügbare Flächen und niedrige Grundstückspreise ihre einstige Bedeutung verloren haben und nicht mehr ausreichen, um Investitionsströme in ländliche Gemeinden zu lenken. HENKEL (2004) verweist auf die hohe Bedeutung von qualitativen Standortfaktoren und hebt dabei das Bestehen eines Marktes für hochqualifizierte Experten und Facharbeiter, eine gut ausgebaute Infrastruktur für Aus- und Weiterbildung, die Verfügbarkeit von Informations- und Beratungsstellen sowie die Nähe zu FuE-Einrichtungen hervor. Diese Standortfaktoren seien in erster Linie in Agglomerationsräumen, nicht aber in ländlich strukturierten Regionen stark ausgeprägt. Damit begründet er den geringen Anteil von „*technologisch anspruchsvollen Zukunftsbranchen*“ im ländlichen Raum (HENKEL 2004, S. 224).

Gerhard Henkel übersieht, dass sich mit der Einführung des EEG im Jahr 2000 das ökonomische Wachstumspotenzial ländlicher Räume stark vergrößert hat. Speziell die von ihm als unbedeutend eingestuften quantitativen Standortfaktoren wie Flächenverfügbarkeit und niedrige Grundstückspreise erleben seit Inkrafttreten des EEG regelrecht eine Renaissance und sorgen entgegen der Vermutung HENKELS (2004, S. 224) für die Ansiedlung von technologisch anspruchsvollen Zukunftsbranchen. Dies liegt daran, dass die Energiegewinnung mittels Biomasse, Solarenergie und Windkraft mit einem hohen Flächenverbrauch einhergeht und der ländliche Raum diesbezüglich hervorragende Voraussetzungen liefert. Nicht zuletzt spricht BRÜCHER (2008, S. 4) in diesem Zusammenhang von „*energy from space*“ und verweist damit auf den größeren Flä-

chenanspruch eines regenerativen Energiesystems gegenüber dem eines konventionellen Systems.

Darüber hinaus ist zu erwähnen, dass die zentralen Versorgungsstrukturen des konventionellen Energiesystems zu einem Abfluss von Kaufkraft aus der Region geführt haben. Überregionale Entscheidungsgremien engten die Möglichkeiten kommunaler Selbstverwaltung ein und verhinderten so den Aufbau einer autarken Energieversorgung. Der dezentrale Charakter von EE bietet den ländlichen Gemeinden nun die Gelegenheit, ihre eigenen Versorgungsstrukturen aufzubauen und damit regionale Wirtschaftskreisläufe anzukurbeln. Die Energieversorgungsanlagen müssen nicht nur installiert, sondern auch betrieben und gewartet werden. Daraus entspringen lukrative Aufträge für Unternehmen, Servicetechniker und Rohstoffzulieferer aus der Region. Der Erfolg hängt dabei von den Fähigkeiten der regionalen Akteure ab, geeignete Rahmenbedingungen für die Entwicklung von Energieprojekten zu schaffen. Gelingt dies, so kann die kommunale Energiepolitik einen vielversprechenden Ansatz für strukturschwache Regionen bieten (vgl. ENDURA KOMMUNAL 2010).

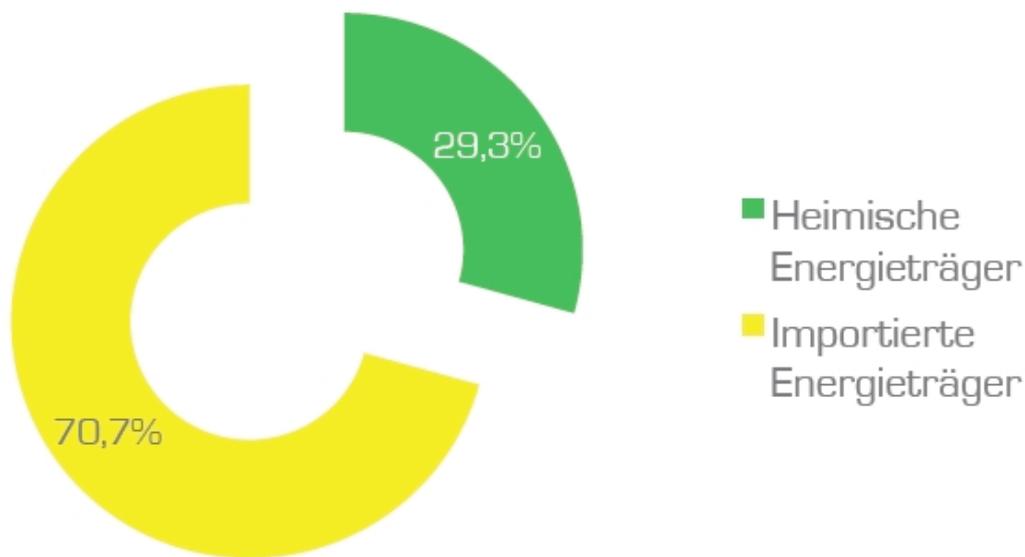
Fallstudien haben jedoch gezeigt, dass ein ursprünglich regionales Netzwerk aus Zulieferbetrieben und Industrie mit fortschreitendem Wachstum die Bindung an die Region überwinden und überregional agieren kann (vgl. KLAGGE/ BROCKE 2010). Daraus folgt, dass endogene Potenziale zwar bedeutend für die Initiierung von regionalen Wirtschaftskreisläufen sein können, jedoch beim Bedeutungsgewinn von Akteuren über die sog. Pionierregion hinaus, dieses Potenzial sich von der Region lösen und damit die Möglichkeiten benachbarter, verspätet in den Wettbewerb eintretender Regionen einschränken kann.

2.3 Importabhängigkeit, Versorgungssicherheit und Preisstabilität

REMPEL (2008, S. 22ff.) und BETTZIECHE (2008, S. 77f.) verdeutlichen, dass die nicht-erneuerbaren Energierohstoffe weltweit in hohem Maße ungleich verteilt sind. Beispielfähig steht hierfür die sog. Strategische Ellipse, ein Gebiet, das den Nahen Osten, den Kaspischen Raum und Nordwest-Sibirien umfasst. Dort konzentrieren sich etwa 71 % der konventionellen Welterdölreserven und 69 % der Welterdgasreserven (vgl. BGR 2009). Das Hoheitsgebiet der EU ist im globalen Vergleich relativ arm an fossilen und nuklearen Energieträgern. Aus diesem Grund ist sie dazu gezwungen, die für die Auf-

rechterhaltung der Wirtschaftskraft notwendigen Energieträger wie Erdöl, Erdgas, Kohle und Uran in großen Mengen zu importieren. Bereits im Jahr 2000 betrug die Energieabhängigkeit der EU 50 %. Sollte es der EU nicht gelingen, alternative Strategien im Bereich der Energieversorgung aufzuzeigen und auch umzusetzen, so ist bis zum Jahr 2030 mit einem Anstieg der Energieabhängigkeit auf bis zu 70 % zu rechnen. Dann müssten 66 % des EU-Kohle-, 80 % des EU-Erdgas- und 90 % des EU-Erdölverbrauches mittels Importe gedeckt werden (vgl. EU 2006 & EURACTIV 2010).

Abbildung 3: Importabhängigkeit Deutschlands bei Energieträgern 2010 (allgemein)



Quelle: PEYKE/ BOSCH et al. 2011, S. 14.

In Deutschland ist die Lage noch ernster, denn 2010 hatten Importe einen Anteil von 70,7 % an der Bereitstellung von Energieträgern (vgl. Abb. 3). Dabei betrug die Energieabhängigkeit bei Steinkohle 75,2 %, bei Erdgas 94,6 %, bei Erdöl 91,5 % und bei Uran sogar 100 % (vgl. Abb. 4). Insgesamt belastete dies die deutsche Volkswirtschaft mit 80 Mrd. €. Mit dem Ausbau von EE besteht nun die Möglichkeit, die Importabhängigkeit der europäischen Staaten sukzessive zu verringern und die eingesparten Kosten in den Aufbau einer eigenen, regenerativen Energieindustrie zu investieren. Durch den Einsatz von EE konnten im Jahr 2004 die Ausgaben für fossile Energieimporte in Deutschland um immerhin 1,7 Mrd. € reduziert werden. Bis zum Jahr 2008 erhöhte sich dieser Wert im Zuge des weiteren Ausbaus auf 6,9 Mrd. €. Insgesamt konnten so 1.381 PJ an fossiler Primärenergie eingespart werden (vgl. IFNE 2009; AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN 2010a & AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN 2010b).

In engem Zusammenhang mit der Importabhängigkeit steht die Versorgungssicherheit (vgl. TÄNZLER et al. 2007). Ein Blick auf die Erdgasmärkte zeigt, dass die EU Zugang zu ca. 73 % des weltweit verbleibenden konventionellen Erdgaspotenzials hat (vgl. REMPEL 2008 & BGR 2009). Dies ist jedoch nur scheinbar eine komfortable Ausgangsposition, denn mit Russland, Nordafrika und dem Nahen Osten konzentriert sich dieses Potenzial auf politisch instabile Regionen.

Abbildung 4: Importabhängigkeit Deutschlands bei Energieträgern 2010 (differenziert)

Energieimporte	
Kernbrennstoffe	100%
Erdgas	94,6%
Erdöl	91,5%
Steinkohle	75,2%

Quelle: PEYKE/ BOSCH et al. 2011, S. 14.

Im Januar 2006 offenbarte sich im Zuge des Gasstreits mit dem Transitland Ukraine, dass Russland keineswegs ein verlässlicher Partner hinsichtlich der Lieferung von Erdgas ist und es schnell zu Engpässen bei der Versorgung auch für die EU kommen kann (vgl. EURACTIV 2010). Insgesamt befinden sich fünf russische Pipelines im Staatsgebiet der Ukraine, wovon zwei das Binnenland versorgen. Bei den restlichen drei handelt es sich um Transitleitungen, die Deutschland, Österreich, Polen, Ungarn, Rumänien, Tschechien und die Slowakei mit Erdgas beliefern (vgl. VERIVOX 2008a). Damit besteht seitens der EU eine große Energieabhängigkeit nicht nur von Russland, sondern auch von der Ukraine, denn der staatliche Gaskonzern Naftogaz drohte bereits damit, bei weiteren Lieferkürzungen seitens Gazprom die Lieferungen nach Europa ebenfalls zu verringern (vgl. VERIVOX 2008b). Langfristig ist dieser Zustand für die EU-Staaten nicht tragbar, denn ihre Wirtschaftskraft beruht nicht zuletzt auf einer zuverlässigen Versorgung mit ausreichend Energie. Die Strategie der EU-Staaten besteht nun darin, den Aufbau einer gemeinsamen EU-Außenpolitik zu forcieren, um gemeinsam nach Lösungen zu suchen und mit *einer* Stimme auch hinsichtlich der Energieversorgung sprechen zu können (vgl. EU 2006). Der Ausbau von EE wird dabei eine zentrale Rolle spielen, denn dadurch besteht die Möglichkeit, sich von Importen unabhängig zu machen. Die Gefahr von Engpässen bei der Gasversorgung wurde nun dadurch eingedämmt, indem

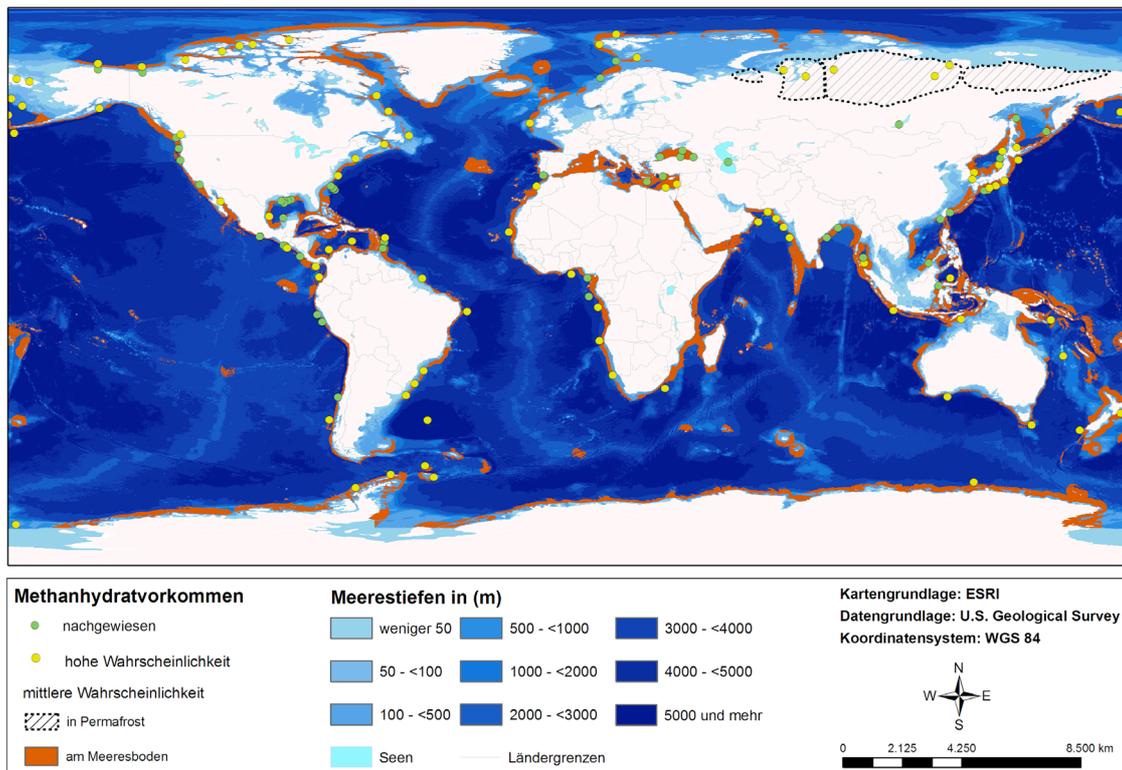
eine Gasleitung durch die Ostsee verlegt und so eine direkte Verbindung zwischen Deutschland und Russland hergestellt wurde (vgl. NORD STREAM 2011).

Eine zunehmende Versorgungssicherheit sollte jedoch in erster Linie auf dem Ausbau von EE basieren, denn erst dadurch wäre es möglich, sich von Preisschwankungen am Weltmarkt unabhängig zu machen. Aufgrund einer weltweit steigenden Nachfrage nach fossilen Energieträgern, der Überbeanspruchung von Versorgungsketten und den Konsequenzen aus der oben dargestellten Importabhängigkeit, rechnet die EU langfristig mit steigenden Energiepreisen (vgl. EU 2006). Der entscheidende Grund für eine stetige Verteuerung von Erdöl, Erdgas und Kohle liegt jedoch darin begründet, dass es sich um *nicht-erneuerbare* Energieträger handelt. REMPEL (2008, S. 25) geht davon aus, dass innerhalb der nächsten Jahre die Hälfte des Gesamtpotenzials an konventionellem Erdöl (Reserven und Ressourcen) gefördert sein wird. Dieser sog. **depletion mid-point** wird seiner Meinung nach in etwa zeitgleich mit dem Fördermaximum (Peak Oil) zusammenfallen.

TSCHIRSCHKE (2008) verweist darauf, dass das Phänomen **Peak Oil** lange Zeit von Ölkonzernen und Wissenschaftlern ignoriert und als nicht belegbare Theorie abgewiesen wurde. Diese Einschätzung hat sich jedoch gewandelt: Der Manager von Total S. A., *Christophe de Margerie*, anerkannte als einer der ersten Vertreter der Ölwirtschaft Peak Oil als eine ernstzunehmende Tatsache. Auf wissenschaftlicher Seite setzt sich die ASPO seit einigen Jahren mit Fragen zur Endlichkeit fossiler Energieträger auseinander und warnt vor steigenden Energiekosten aufgrund schwindender Vorräte. Auch die IEA geht in ihren Szenarien mehr und mehr von einem langfristig hohen Preisniveau bei Erdöl aus. Dies ist nicht zuletzt darauf zurückzuführen, dass die IEA ihre Angaben zu Ölfördermengen in den letzten Jahren stetig nach unten korrigiert hat. Im Jahr 2005 rechnete die IEA laut Referenzszenario noch mit einer weltweiten Fördermenge von 120 Mio. b/ Tag für das Jahr 2030. Im *World Energy Outlook* 2006 bzw. 2007 verringerte sich dieser Wert auf 117,6 bzw. 116,3 Mio. b/ Tag. Tatsächlich wurde 2008 dieser Wert bei nur noch 106 Mio. b/ Tag für 2030 angesetzt (vgl. IEA 2005; IEA 2006; IEA 2007 & IEA 2008). Insider gehen davon aus, dass selbst *diese* Angabe noch zu hoch angesetzt ist. Laut eines Informanten der IEA wurde weltweit die Peak Oil-Zone bereits erreicht, jedoch wurden die Angaben auf Druck seitens der USA geschönt, um einer Panik auf den Finanzmärkten vorzubeugen (vgl. DIE PRESSE 2010). Nachdem die konven-

tionellen Energiereserven also sukzessive zur Neige gehen, gibt es Bemühungen, nicht-konventionelle Lagerstätten wie Ölsande aus Alberta, Ölschiefer aus Estland, Schwerstöl aus Venezuela und Methanhydrat an Kontinentalabhängen sowie im Permafrostboden (Russland) zu erschließen. Dies geht jedoch mit einem erhöhten technischen und somit finanziellen Aufwand einher und ist aus ökologischer Sicht oftmals bedenklich. Nicht zuletzt führt der Abbau von Ölsanden zu einer massiven Kontaminierung des Grundwassers (vgl. BGR 2009; GERLOFF 2008 & Abb. 5).

Abbildung 5: Methanhydratvorkommen weltweit (Stand 2011)



Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

2.4 Investitionssicherheit

Der Ausbau von EE bietet der EU die Möglichkeit, Förderprogramme zu schaffen, die Planungssicherheit und dadurch europäischen Unternehmen langfristig Gewinne garantieren. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich die EU ehrgeizige Ziele hinsichtlich des Ausbaus von EE gesteckt hat. Bis 2020 soll eine Steigerung des Anteils von EE am EEV auf 20 % erreicht werden. Im gleichen Zeitraum soll der Anteil von Biokraftstoffen im Verkehrssektor auf 10 % erhöht werden (vgl. EU 2008a & EU 2009a). Dieses Vorhaben kann jedoch nur gelingen, wenn den potenziellen Trägern dieses massiven

Ausbaus – den Unternehmen – Investitionssicherheit garantiert wird. Festgelegte Einspeisevergütungen über längere Zeiträume hinweg sowie die vorrangige Einspeisung von regenerativem Strom bilden ausgezeichnete Rahmenbedingungen für unternehmerische Tätigkeiten. Im EEG heißt es bspw.:

„Netzbetreiber sind verpflichtet, Anlagen zur Erzeugung von Strom [...] an ihr Netz anzuschließen, den gesamten angebotenen Strom aus diesen Anlagen vorrangig abzunehmen und den eingespeisten Strom [...] zu vergüten“ (DEUTSCHER BUNDESTAG 2000, S. 3).

Weiter heißt es:

„Die Mindestvergütungen [...] sind für neu in Betrieb genommene Anlagen jeweils für die Dauer von 20 Jahren [...] zu zahlen [...]“ (DEUTSCHER BUNDESTAG 2000, S. 6).

Von entscheidender Bedeutung wird sein, inwiefern es der EU gelingen wird, durch länderübergreifende Einspeiseregeln den europäischen Energiemarkt homogener zu gestalten. Nur dadurch kann eine Entwicklung eingeleitet werden, in der sich europäische Unternehmen aus einem fairen, innereuropäischen Konkurrenzkampf heraus zu weltweiten Spitzenpositionen emporarbeiten und so den Arbeitsmarkt beleben.

2.5 Wissensgestützte Gesellschaft

Die EU geht davon aus, dass der Ausbau von EE den Aufbau einer wissensgestützten Gesellschaft fördert (vgl. EU 2008a). Nun stellt sich die Frage, was denn unter einer wissensgestützten Gesellschaft zu verstehen ist:

„Von einer Wissensgesellschaft oder einer wissensbasierten Gesellschaft lässt sich sprechen, wenn zum einen die Strukturen und Prozesse der materiellen und symbolischen Reproduktion einer Gesellschaft so von wissensbasierten Optionen durchdrungen sind, daß Informationsverarbeitung, symbolische Analyse und Expertensysteme gegenüber anderen Faktoren der Reproduktion vorrangig werden. Eine entscheidende zusätzliche Voraussetzung der Wissensgesellschaft ist, daß Wissen und Expertise einem Prozeß der kontinuierlichen Revision unterworfen sind und damit Innovationen zum alltäglichen Bestandteil der Wissensarbeit werden“ (WILLKE 1998, S. 355).

Der Ausbau von EE fördert den Aufbau einer wissenschaftsgetriebenen Gesellschaft nicht zuletzt deswegen, da die Produktion von forschungsintensiven Produkten, v. a. von höherwertigen Technologien und Spitzentechnologien, rapide ansteigt (vgl. OECD 2001). Das Wissen von Experten aus den unterschiedlichsten Forschungsbereichen ist in hohem Maße gefragt, denn EE liegen im Brennpunkt wissenschaftlicher Reflexionen von Ingenieuren, Ökonomen sowie Umweltexperten. Zahlreiche Fördermaßnahmen seitens staatlicher sowie privater Einrichtungen haben seit dem Inkrafttreten des EEG ausgezeichnete Rahmenbedingungen für Innovationen geschaffen.

In der Vergütungsstruktur des Bereiches Biomasse bspw. können Anlagenbetreiber den sog. Technologie-Bonus in Anspruch nehmen. Ziel des Gesetzgebers ist es dabei, Anreize zur Effizienzsteigerung von mindestens 45 % zu setzen bzw. dem Prozess der Stromerzeugung ein sinnvolles Wärmenutzungskonzept zur Seite zu stellen. Der Technologie-Bonus von 2 ct/ kWh wird gewährt, wenn bspw. Biomasse durch thermochemische Vergasung umgewandelt wird oder der Strom mittels Brennstoffzellen, Gasturbinen, Dampfmotoren, Organic-Rankine-Anlagen, Mehrstoffgemisch-Anlagen (Kalina-Cycle-Anlagen) oder Stirling-Motoren produziert wird (vgl. EEG 2010). Derartige Anreize führen zu einer hohen Dynamik in FuE und tragen so zur Diffusion von Wissen innerhalb eines Gesellschaftssystems bei.

DALY (2001, S. 13) weist jedoch darauf hin, dass neues Wissen auch dazu beitragen kann, die Verfügbarkeit von Materie und Energie zu verringern. Dies ist dann der Fall, wenn neues Wissen der Menschheit offenbart, wie nah sie sich bereits an der Grenze der Tragfähigkeit des Planeten Erde befindet. So hat bspw. das Wissen über die Wirkmechanismen des anthropogenen Treibhauseffektes dazu geführt, dass sich global die Bemühungen zur Reduzierung der Nutzung fossiler Brennstoffe verstärkt haben, um die CO₂-Senken zu schonen. Des Weiteren ist es denkbar, dass durch technologische Innovationen der Durchsatz an Ressourcen erhöht wird und einer rapiden Annäherung an die Tragfähigkeitsgrenze Vorschub leistet.

2.6 Weltweite Spitzenpositionen und Arbeitsmarkt

Die vom Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH veröffentlichte Studie *Ökonomische Chancen für die deutsche Industrie resultierend aus einer weltweiten Verbreitung von CSP (Concentrated Solar Power) -Technologien* – im Auftrag der

Deutschen Gesellschaft für Club of Rome, der Desertec Foundation und von Greenpeace – verdeutlicht eindrucksvoll, welche enormen Wachstumschancen für Unternehmen sich bspw. aus der Zusammenarbeit zwischen der EU und den Ländern der MENA-Region ergeben.

Unternehmen aus verschiedenen Sparten wie Engineering und Services (Fichtner Solar, CSP Services, Schlaich Bergermann Partner), Komponentenzulieferung (Solar Power Group, Schott Solar AG, Flabeg Holding GmbH, Flagsol GmbH, Siemens AG, Züblin AG, Senior Berghöfer, Linde AG), Realisierung (MAN Ferrostaal, Solar Millenium AG, Kraftanlagen München GmbH, Novatec Biosol AG) und Finanzierung (Münchener Rück) werden erheblich von Kooperationen profitieren (vgl. VALLENTIN/ VIEHBAHN 2009 & BOSCH 2010).

Stellvertretend hierfür stehen die Ambitionen der *Renewable Energy Division* der Siemens AG, die sich das Ziel gesteckt hat, Weltmarktführer im Bereich solarthermischer Kraftwerke zu werden. Der Konzern geht davon aus, dass im Jahr 2020 solarthermische Kraftwerke mehr als 20 Mrd. € umsetzen werden. Um den größten Anteil an dieser Summe erwerben zu können, wurde 2009, mit dem israelischen Unternehmen Solel, ein erfahrener Mittelständler für 418 Mio. \$ aufgekauft. Neben der in Mainz ansässigen Schott Solar AG ist Solel führend bei der Produktion von Receivern für Parabolrinnenkraftwerke. Darüber hinaus hat Siemens einen Anteil von 28 % an Archimede Energia S.r.l. erworben. Das italienische Unternehmen stellt ebenfalls Receiver her, jedoch werden geschmolzene Salze als Wärmeträgermedium verwendet. Diese können ungleich höhere Temperaturen als Thermoöle erreichen. Siemens stellt den zugehörigen Powerblock mit Wärmetauscher, Turbine, Generator und Dampfkraftwerk bereit, so dass zusammen mit den Receivern der größte Teil der Kraftwerkskomponenten aus eigener Produktion geliefert werden kann (vgl. MAY 2009a).

Dieses Beispiel steht eindrucksvoll für eine zentrale Zielsetzung der EU, Unternehmen den Weg zu Spitzenpositionen im Bereich der EE zu ebnet, nicht zuletzt da hierdurch viele hochqualifizierte Arbeitsplätze entstehen. Es ist davon auszugehen, dass durch den Ausbau von EE in der EU bis 2020 etwa 2,8 Mio. neue Arbeitsplätze entstehen werden und das BIP damit einen Wertzuwachs von 1,1 % erfährt (vgl. EU 2009b). Allein in

Deutschland schaffen EE täglich 80 neue Arbeitsplätze (vgl. AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN 2010b)!

2.7 Nachhaltige Entwicklung

Zwar rückte die Vision einer nachhaltigen Entwicklung erst innerhalb der letzten Jahrzehnte in den Fokus globaler politischer Diskussionen und Entscheidungen, dennoch ist dieses Prinzip keineswegs eine Errungenschaft des 20. Jahrhunderts. Ursprünglich stammt die Idee von *Hannß Carl von Carlowitz* (1645-1714), der Oberberghauptmann am kursächsischen Hof in Freiberg war. Sein 1713 erschienenes Werk »Sylvicultura oeconomica« war eine Reaktion auf den damals drohenden Mangel an dem lebensnotwendigen Rohstoff und Energieträger Holz. Der Lösungsvorschlag des Oberberghauptmanns – ein Vorschlag, der zur Zeit des 18. Jahrhunderts revolutionär war – bestand darin, den Wäldern nur die Menge an Holz zu entnehmen, die im Zuge der Aufforstung wieder nachwachsen konnte (vgl. CARLOWITZ 2009). So heißt es:

„Wird derhalben die größte Kunst, Wissenschaft, Fleiß, und Einrichtung hiesiger Lande darinnen beruhen, wie eine sothane Conservation und Anbau des Holzes anzustellen, daß es eine kontinuierliche beständige und nachhaltige Nutzung gebe, weilm es eine unentbehrliche Sache ist, ohnewelche das Land in seinem Esse nicht bleiben mag.“ (vgl. LEXIKON DER NACHHALTIGKEIT 2010).

Einen tieferen Einblick in die – aus heutiger Sicht nahezu fanatisch anmutenden – Bemühungen um einen schonenden Umgang mit der Ressource Holz während des 18. Jahrhunderts gewährt STEINSIEK (1999). SCHÜSSLER (2008) verdeutlicht die heutigen Potenziale und Risiken der Niederwaldwirtschaft auf den Energiemärkten und konzentriert sich dabei im Besonderen auf das Verbreitungsgebiet der Haubergswirtschaft in Deutschland (Lahn-Dill-Kreis, Marburg-Biedenkopf, Westerwaldkreis, Altenkirchen, Siegen-Wittgenstein und Olpe). HENZGEN/ KLÄR (2010, S. 56) weisen darauf hin, dass der Begriff Nachhaltigkeit nur vordergründig etwas mit Forstwirtschaft zu tun hat, denn seit jeher gehe die ökonomische Verwertung des Waldes mit massiver Denaturierung einher. Interessant ist, dass *Carlowitz* bereits zur damaligen Zeit das Wohl der kommenden Generationen im Auge hatte und den verschwenderischen Lebensstil der reichen Oberschicht kritisierte:

„Verwundern muß man sich wohl, daß die meisten vermögsten Leute auf grosse Häuser, Palläste, Schlösser und dergleichen Baue, ihr meist Vermögen anwenden; wäre aber vielleicht vorträglicher wenn sie ihren Grund und Boden anzubauen, und zu verbessern suchten, als welches doch ihnen so wohl, als denen Nachkommen und dem gemeinen Besten weit nutzbarer fallen dürffte.“ (vgl. LEXIKON DER NACHHALTIGKEIT 2010).

Die Forderungen von *Carlowitz* lassen sich auch in den jüngeren Definitionen zu einer nachhaltigen Entwicklung wiederfinden. Die WCED legte 1987 im sog. **Brundtland-Report** fest, was unter dem Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung zu verstehen ist. Darin heißt es:

„Sustainable development meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs“. (UN 1987, S. 54)

Das Augenmerk liegt hier in erster Linie auf der Notwendigkeit, dass die jetzt lebende Generation die Chancen und Ansprüche der kommenden Generationen wahrt. Zwar ist diese Definition recht vage und lässt daher viel Raum für Interpretationen, wird die Aussage jedoch auf den Energiesektor übertragen, so ist klar ersichtlich, dass ein Energiesystem, welches vor allem auf nicht-erneuerbaren und umweltschädlichen Energieträgern basiert, dieser Forderung keineswegs entsprechen kann. Die kommenden Generationen werden unter Beibehaltung des Status Quo zwangsläufig mit weitestgehend erschöpften Quellen (z. B. Erdöllagerstätten) und überfüllten Senken (z. B. radioaktive Abfälle) ihr Leben gestalten müssen.

Um einer derartigen Entwicklung vorzubeugen, wurde auf der Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro 1992 ein Maßnahmenkatalog im Rahmen der AGENDA 21 formuliert, mit dem Ziel, die menschliche Gesellschaft auf einen nachhaltigen Weg zu führen. Dabei spielen u. a. Aspekte wie Armutsbekämpfung, Schutz und Förderung der menschlichen Gesundheit, Schonung von Ökosystemen, Schutz der Erdatmosphäre sowie aller Arten von Meeren, Förderung einer nachhaltigen Landwirtschaft und die Erhaltung der biologischen Vielfalt eine bedeutende Rolle (vgl. UN 1992a & BMU 1997). Prinzipiell geht es um eine gerechtere Verteilung des Wohlstandes, eine humanere Gestaltung der Lebensgrundlagen und eine größere

Schonung unserer natürlichen Umwelt (vgl. NITSCH et al. 2004). Damit wird deutlich, dass eine nachhaltige Entwicklung sämtliche Wirkbereiche menschlichen Handelns erfassen und durchdringen muss. Die Produktion, Speicherung und Verteilung von Energie stellt folglich nur *einen* – jedoch auf andere Wirkbereiche stark ausstrahlenden – Teilaspekt dar.

Die Umsetzung der AGENDA 21 hat gezeigt, dass keineswegs alle Wirkbereiche menschlichen Handelns in gleichem Maße auf Nachhaltigkeit geeicht werden. Forschungsintensive Verfahren wie bspw. die CO₂-Sequestrierung (CCS) (vgl. DOOLEY et al. 2006 & MCGRAIL et al. 2006) sowie bedeutende umweltgesellschaftliche Initiativen entspringen in erster Linie aus der Sorge um die negativen Auswirkungen, die der Klimawandel mit sich bringt. Die Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen, die u. a. im Jahr 1997 das **Kyoto-Protokoll** auf den Weg brachte (vgl. UNFCCC 2002), stellt den Versuch dar, durch Emissionshandel, strengere Vorgaben sowie neue technologieorientierte Lösungen klimawirksame Emissionen der Vertragspartner einzudämmen und so den anthropogenen Einfluss auf das Klima zu verringern. Man beruft sich dabei auf die Charta der Vereinten Nationen und die Grundsätze des Völkerrechts sowie auf die Stockholm-Deklaration von 1972, worin es heißt, dass Staaten ihre Ressourcen zwar den eigenen umwelt- und entwicklungspolitischen Vorstellungen entsprechend nutzen können, jedoch der Umwelt außerhalb ihres nationalen Hoheitsgebietes kein Schaden zugefügt werden dürfe (vgl. UN 1945; UN 1972 & UN 1992b). So heißt es:

„Die Staaten haben das souveräne Recht, ihre eigenen Ressourcen auszubeuten. Sie müssen aber sicherstellen, dass diese Aktivitäten nicht die Umwelt über ihre eigenen Grenzen hinaus beschädigt.“ (HAGGETT 2001, S. 362)

Hinsichtlich energetischer und materieller Nachhaltigkeit ist es wichtig, dass erneuerbare Ressourcen nicht schneller verbraucht werden, als sie im Stande sind, sich zu regenerieren. Des Weiteren dürfen nicht-erneuerbare Ressourcen nur in dem Maße verbraucht werden, wie eine Substitution durch erneuerbare Ressourcen gewährleistet ist. Darüber hinaus muss darauf geachtet werden, dass die Emissionen von Schadstoffen die Aufnahmekapazität der Senken nicht überschreiten (vgl. DALY 1992; DALY 1995; DALY 1996; DALY 1999; DALY 2001 & EKINS et al. 2009). Nach den Maßstäben von WACKERNAGEL et al. (1997) ist die Menschheit weit davon entfernt, dem Leitbild einer

nachhaltigen Entwicklung zu entsprechen. Mit der Berechnung des ökologischen Fußabdruckes der Menschheit lieferten sie den Beweis dafür, dass bereits Ende der 1970er Jahre die Tragfähigkeit der Erde überschritten wurde und der ökologische Fußabdruck sich bis zum heutigen Zeitpunkt auf etwa 1,3 Erden erhöht hat.

MEADOWS et al. (2006) verweisen ebenfalls darauf, dass lebensnotwendige Quellen ausgebeutet werden und viele der Senken bereits überlastet sind. Sie ermahnen die Menschheit zu einem Kurswechsel, andernfalls drohe eine massive Grenzüberschreitung (Overshoot), der zu einem Zusammenbruch ganzer Volkswirtschaften führen könnte und langfristig die Lebensbedingungen auf unserem Planeten gravierend verschlechtern würde. Jedoch dürfe der Begriff Nachhaltigkeit nicht zu starr ausgelegt werden, denn eine wohl überlegte und effiziente Nutzung nicht-erneuerbarer Energieträger sei innerhalb eines nachhaltigen Gesellschaftssystems durchaus angebracht.

Mit der Entwicklung des Computermodells World3 ist es gelungen, mögliche Entwicklungspfade der globalen Gesellschaft genauer zu erkunden. Bei den meisten Szenarien mündeten das unbegrenzte Wachstum von Bevölkerung und Kapital sowie die verzögerten Reaktionsgeschwindigkeiten der Menschheit bei Grenzüberschreitungen in einem gesellschaftlichen Zusammenbruch gegen Ende des 21. Jahrhunderts. Dieser geht nach Ansicht von MEADOWS et al. (2006) mit einem drastischen Rückgang von Nahrungsmittelproduktion, Lebenserwartung, Konsum und Industrieproduktion einher. Einige Szenarien geben durchaus Anlass zum Optimismus, jedoch liegen ihnen ein radikaler gesamtgesellschaftlicher Kurswechsel sowie ein Umdenken hinsichtlich der Bewertung von Wachstum zu Grunde.

DALY (2004, S. 50) macht deutlich, welche Bedingungen für einen Wandel hin zu einem beständigen Gesellschaftssystem erforderlich sind:

„The steady state is defined as an economy in which the total population and the total stock of physical wealth are maintained constant at some desired levels by a „minimal“ rate of maintenance throughput (i.e., by birth and death rates that are equal at the lowest feasible level, and by physical production and consumption rates that are equal at the lowest feasible level.“

Eine nachhaltige Entwicklung lässt sich demnach nur einleiten, wenn ein zu starkes Wachstum von Bevölkerung und Kapital verhindert wird bzw. sich sowohl Geburten- und Sterbe-, als auch Investitions- und Kapitalabnutzungsraten entsprechen. Zur Kontrolle von positiven Rückkopplungen, die die Bevölkerung und das Kapital betreffen, gilt es, schnell reagierende Informationsmechanismen sowie adäquate institutionelle und soziale Strukturen zu schaffen (vgl. MEADOWS et al. 2006). Hinsichtlich der globalen Bevölkerungszahl ist aufgrund der Mechanismen des demographischen Übergangs zumindest langfristig von einer Stabilisierung auszugehen (vgl. BÄHR 2010).

Gerade in einer marktwirtschaftlich-kapitalistisch orientierten Gesellschaft rufen derartige Forderungen scharfe Kritik hervor, denn viele Menschen sind davon überzeugt, dass vor allem das Wachstum an Kapital die Lösung vieler Probleme ermöglicht und eine Diskreditierung von Wachstum deshalb der falsche Weg ist. Jedoch handelt es sich bei den Wissenschaftlern sowie beim Club of Rome keineswegs um Verfechter eines Nullwachstums, wie PECCEI (1977) betont. Nullwachstum ist seiner Meinung nach ein Unwort und ähnlich primitiv und unpräzise wie die Vorstellung von grenzenlosem Wachstum (MEADOWS et al. 2006, S. 265). Wachstum sei im Sinne einer qualitativen Weiterentwicklung der Gesellschaft durchaus wünschenswert, jedoch im Sinne einer rein materiellen Expansion kein geeignetes Mittel, um langfristig allen Menschen eine hohe Lebensqualität bieten zu können. Im Gegenteil: Man ist davon überzeugt, dass sich bestehende Gegensätze im Lebensstandard durch stures Festhalten an Wachstumsvorstellungen noch verschärfen und mittel- bis langfristig zur Degradierung unseres Planeten führen würden. Jeder Wachstumsprozess müsse deshalb hinsichtlich seiner globalen ökonomischen, ökologischen und sozialen Folgen hinterfragt werden. Unter bestimmten Umständen sei auch ein negatives Wachstum akzeptabel, bspw. wenn damit eine Grenzüberschreitung rückgängig gemacht werden könne.

DALY (2001, S. 3ff.) stellt die Behauptung auf, dass es nicht nur wirtschaftliches, sondern auch unwirtschaftliches Wachstum gibt. Dies ist gerade dann der Fall, wenn Wachstum mit einer Ausbeutung von Ressourcen, Umweltverschmutzung und Störung lebenserhaltender ökologischer Leistungen einhergeht. Er verweist auf die Absurdität, dass selbst die Kosten für die Beseitigung von Umweltschäden dem Bruttosozialprodukt angerechnet werden. DALY (2001, S. 4) definiert die Grenzen des Wachstums folgendermaßen:

„Wenn die steigenden Grenzkosten gleich groß werden wie der fallende Grenznutzen, dann befinden wir uns auf dem optimalen Niveau des BSP und jedes weitere Wachstum wäre unwirtschaftlich – es würde die Kosten stärker erhöhen als den Nutzen.“

Mit der Einführung des ISEW konnte die Annahme von NORDHAUS/ TOBIN (1972) widerlegt werden, dass ein Wachstum des BSP stets positiv mit einer Zunahme des Wohlergehens innerhalb einer Gesellschaft korreliert (vgl. DALY 2001). Aus diesem Grund sei eine Politik, deren oberstes Ziel es ist, das Wachstum des BSP unter allen Umständen – d. h., auch vor dem Hintergrund des Verlustes an ökologischen Dienstleistungen, der Störung des Arbeitsfriedens, der Sinnlosigkeit von Arbeit, der Opferung von Freizeit etc. – voranzutreiben, obsolet und bedarf einer differenzierten Betrachtung. Der Fehler liegt in der Auffassung des Menschen, dass das Ökosystem ein Teil der Wirtschaft ist und diese sich »dann und wann« aus dem Subsystem bedienen könne – etwa zur Entnahme von Rohstoffen und zur Deponierung von Schadstoffen. Das Ökosystem wird damit quasi zum Lieferanten abgewertet. Es wird darauf verwiesen, dass vielmehr die Makroökonomie ein Subsystem des Ökosystems bzw. des Naturkapitals darstellt. In einer sog. leeren Welt, innerhalb derer die Leistungen des Ökosystems jene der Wirtschaft weit übertreffen, würde das Wachstum der Makroökonomie einer positiven Entwicklung entsprechen, da der Nutzen des Wachstums die Kosten übersteigt. In einer sog. vollen Welt – ein Zustand, dem die heutige Welt entspricht – erfordert jeder Zuwachs beim BSP eine unverhältnismäßige Zunahme der Kosten bei gleichzeitiger Verringerung der Leistungen des Ökosystems (vgl. DALY 1992 & DALY 2001).

Für DALY (1996 & 1999) ist nachhaltige Entwicklung gleichzusetzen mit »Entwicklung ohne Wachstum«. Zwar kann er angesichts von Problemkreisen wie Überbevölkerung, Verteilungsgerechtigkeit und unfreiwilliger Arbeitslosigkeit nachvollziehen, dass sich zur Zeit von *Thomas R. Malthus*, *Karl H. Marx* und *John M. Keynes* die Ideologie vom grenzenlosen Wachstum etabliert hat, jedoch könne mittels dieses Paradigmas den Problemen der heutigen Gesellschaft nicht mehr begegnet werden. Das Modell des demographischen Übergangs zeigt, dass ein leichtes wirtschaftliches Wachstum bereits ausreichend ist, um das Problem der Überbevölkerung zu lösen (GEBHARDT et al. 2007, S. 774f. & HAGGETT 2001, S. 179). Dass grenzenloses Wachstum zu mehr Gerechtigkeit auf der Erde führt, konnte mittlerweile eindeutig widerlegt werden. MEADOWS et al. (2006, S. 41ff.) stellen die Behauptung auf, dass innerhalb des gegenwärtigen Wirt-

schaftssystems Wachstum sogar noch die Kluft zwischen Arm und Reich vergrößert. Sie betonen, dass – trotz eines 14-fachen Anstiegs der industriellen Produktion seit dem Jahr 1930 – gegen Ende des 20. Jahrhunderts über 45 % der Weltbevölkerung mit einem durchschnittlichen Einkommen von lediglich zwei Dollar pro Tag auskommen müssen. Wenn sich nun die Armut in der Welt vergrößert, verringert sich gleichzeitig die Nachfrage nach Produkten aus der Wirtschaft. Damit rückt auch das Ziel der Vollbeschäftigung in weite Ferne. DALY (2001, S. 16) plädiert für eine ökologische Steuerreform, in der die Ressourcen preislich so eingestuft werden, dass ihrer Endlichkeit sowie ihrer Umweltwirkung Ausdruck verliehen wird. Er beklagt, dass die Globalisierung diesbezüglich kontraproduktiv wirke, da sie die ökologischen Ressourcen vieler, wirtschaftlich noch unerschlossener Staaten zu einem geringen Preis der globalen Gesellschaft zur Verfügung stellt und den Eindruck erweckt, als sei die Menschheit noch weit von der Grenze der Tragfähigkeit entfernt.

Bereits 1848 verwies *John Stuart Mill* darauf, dass eine Wirtschaft, deren Ressourcenverbrauch die Umweltkapazitäten nicht überschreitet, sondern vielmehr respektiert, sich durchaus weiterentwickeln, qualitativ hochwertige Innovationen hervorbringen und komfortable Lebensbedingungen bieten kann (vgl. MILL 1994). Hierzu bedarf es jedoch besonderer menschlicher Qualitäten. *Aurelio Peccei*, der Begründer des Club of Rome, warb 1981 für die Etablierung eines neuen Humanismus und betonte dabei Tugenden wie Freundschaft, Liebe, Solidarität, Verständnis, Unbeschwertheit und Opferbereitschaft (vgl. PECCEI 1982). Auch MEADOWS et al. (2006) messen der moralischen Einstellung der Menschen die entscheidende Bedeutung zu, wenn es um eine Revolution zur Nachhaltigkeit geht. Dabei steht die Nächstenliebe im Blickpunkt des Interesses:

„In der industriellen Zivilisation ist es verpönt, über Nächstenliebe zu sprechen, sieht man einmal von dem ganz trivialen romantischen Sinn des Wortes Liebe ab. Wenn jemand an die Fähigkeit der Menschen appelliert, brüderliche oder schwesterliche Liebe zu praktizieren, die Menschheit als Ganzes, die Natur oder den Planeten, der uns versorgt, zu lieben, dann wird er wohl eher ausgelacht als ernst genommen. Der Hauptunterschied zwischen Optimisten und Pessimisten ist ihr Standpunkt in der Debatte, ob Menschen dazu fähig sind, auf der Basis der Nächstenliebe zusammenzuarbeiten. In einer Gesellschaft, die systematisch Individualismus, Konkurrenzfähigkeit und kurzfristige Interessen fördert, bilden Pessimisten die Mehrheit. Individualismus und kurzsichtiges Denken stellen unserer Ansicht nach die größten Probleme des gegenwärtigen Gesellschaftssystems dar und sind gleichzeitig die

Hauptursache dafür, dass die Gesellschaft nicht nachhaltig ist. Da ist es eine bessere Alternative, wenn Liebe und Mitgefühl als kollektive Lösung institutionalisiert werden. Eine Kultur, die nicht an diese besseren menschlichen Qualitäten glaubt, sie erörtert und fördert, beschränkt auf tragische Weise selbst ihre Optionen.“ (MEADOWS et al. 2006, S. 290f.)

MEADOWS et al. (2006, S. 276ff.) betonen, dass es bereits zwei bedeutende Revolutionen gegeben hat, in denen die Menschheit auf das starke Bevölkerungswachstum und die damit einhergehende Verknappung von Ressourcen reagierte. Gegen Ende der Jungsteinzeit (vor etwa 11.000 a) lebten rund 10 Mio. Menschen auf der Erde. Die *relativ* hohe Bevölkerungszahl führte dazu, dass sich die Verfügbarkeit von Pflanzen- und Wildtierbeständen stetig verringerte und einen Übergang von einer nomadischen Lebensweise hin zum sesshaften Ackerbau erforderte. Im Zuge dieser sog. Neolithischen Revolution konnte die Bevölkerung bis zum Jahr 1804 aufgrund der steigenden Produktivität bis zu einer Milliarde Menschen anwachsen. Doch auch dieses Wachstum stieß an seine Grenzen, denn es wurde zunehmend schwieriger, ausreichend Brennholz bzw. Energie sowie neue landwirtschaftliche Nutzflächen bereitzustellen. Der Rohstoff Steinkohle und bedeutende Innovationen wie die Dampfmaschine leiteten schließlich die Industrielle Revolution ein und ermöglichten in der Folge ein beispielloses Wachstum von Bevölkerung und Kapital. **Gegenwärtig steht die Menschheit erneut an einer bedeutenden Schwelle, sieht sie sich doch nicht nur mit einem Mangel an Anbauflächen, Metallen, Brennstoffen etc. konfrontiert sondern darüber hinaus noch mit einer starken Degradierung der Umwelt. Dieser Zustand macht eine neue Revolution, eine Revolution zur Nachhaltigkeit erforderlich** (MEADOWS et al. 2006, S. 279ff.).

Die EU ist sich darüber im Klaren, dass mit dem Ausbau von EE vielfältige positive ökonomische, soziale und ökologische Effekte einhergehen. Jedoch lassen die Stellungnahmen ein Bekenntnis zur Substitution von nuklearen Energieträgern vermissen (vgl. EU 2008a & EU 2009a). Es wird lediglich auf den langfristigen Ersatz von *fossilen* Energieträgern verwiesen und dabei die Erfordernisse des Klimaschutzes betont. Nicht zuletzt liefert der Aspekt des Klimaschutzes Atomkraftbefürwortern ein scheinbar stichhaltiges Argument zur Laufzeitverlängerung (vgl. DENA 2008), da die Energieproduktion mittels Kernspaltung CO₂-neutral sei (vgl. EDF 2009). Diese Behauptung ist jedoch nicht korrekt, da pro Kilowattstunde 32 g an CO₂-Emissionen freigesetzt werden (vgl. Abb. 2). Werden zusätzlich die CO₂-Emissionen miteinbezogen, die bei der Anrei-

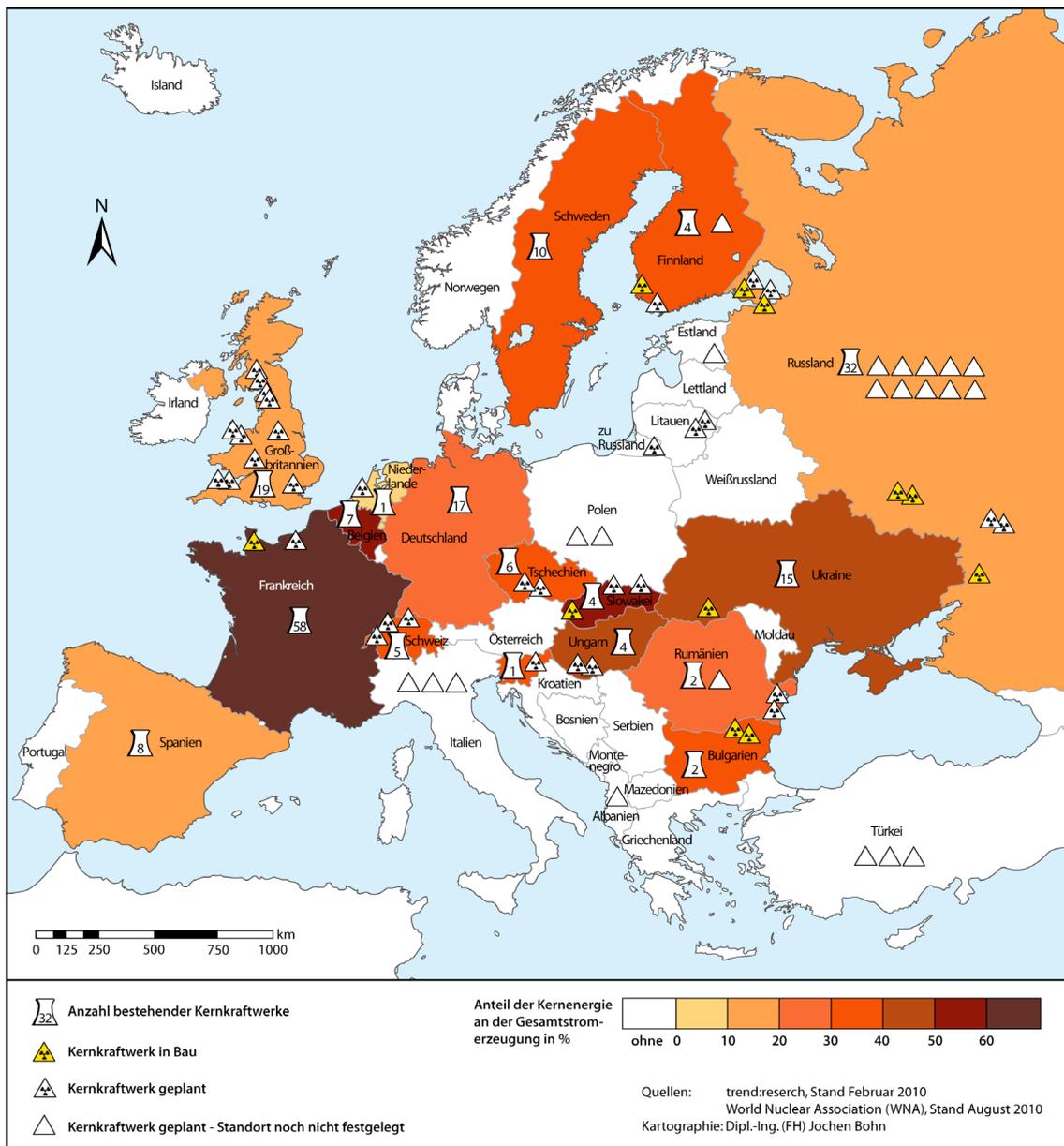
cherung von Uran und der Atommüllentsorgung entstehen, so erhöhen sich die Emissionen auf 61 g/ kWh (vgl. HERMINGHAUS 2009). Dieser Wert ist im Vergleich zu den Emissionen fossiler Energieträger zwar relativ gering, übersteigt jedoch deutlich die der EE (vgl. Abb. 2).

Trotz der Möglichkeit einer relativ CO₂-armen Energieproduktion wird die Kernenergie nicht dem von der EU hervorgehobenen Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung gerecht. Problematisch ist, dass bis dato nicht geklärt ist, in welcher Form die Abfallprodukte entsorgt (Transport u. Lagerung) bzw. kommerziell genutzt werden könnten (vgl. WBGU 2003 & GEITMANN 2010). Darüber hinaus geht das BfS von einer Gefahr für die menschliche Gesundheit in der näheren Umgebung von Kernkraftwerken aus (vgl. BfS 2007). Die sog. KIKK-Studie belegte, dass sich im Umkreis von Atomkraftwerken das Risiko signifikant erhöht, an Leukämie zu erkranken. So heißt es:

„Unsere Studie hat bestätigt, dass in Deutschland ein Zusammenhang zwischen der Nähe der Wohnung zum nächstgelegenen Kernkraftwerk zum Zeitpunkt der Diagnose und dem Risiko, vor dem 5. Geburtstag an Krebs (bzw. Leukämie) zu erkranken, beobachtet wird.“ (BfS 2007, S. XI)

Es muss jedoch betont werden, dass die KIKK-Studie keine Anhaltspunkte identifizieren konnte, die belegen würden, dass die Menge an emittierter ionisierende Strahlung von Kernkraftwerken im Normalbetrieb für die Häufung von Krebsfällen verantwortlich wäre. Dennoch steht die Kernenergie nach wie vor unter starker Kritik und wird als zu riskant empfunden (vgl. ÖKO-INSTITUT 2005). Problematisch sind v. a. die hohen externen Kosten, die von der Gesellschaft und nicht von den Kraftwerksbetreibern getragen werden (RAUCH 2009, S. 218f.). Experten weisen auf den hohen Vulnerabilitätsgrad von Atomkraftwerken und des damit einhergehenden Risikos eines terroristischen Anschlages hin (vgl. TÄNZLER et al. 2007). Trotz dieser Risiken setzen nach wie vor viele europäische Staaten auf die Atomenergie, sei sie doch ein Garant für niedrige Strompreise. Es wird befürchtet, dass ein vorschneller Ausstieg aus der Kernenergie den Strompreis – aufgrund einer Verknappung bei der Erzeugungskapazität und einem CO₂-Preistrieb – massiv erhöhen könnte (vgl. LINDENBERGER 2010).

Abbildung 6: Bedeutung der Kernenergie in Europa

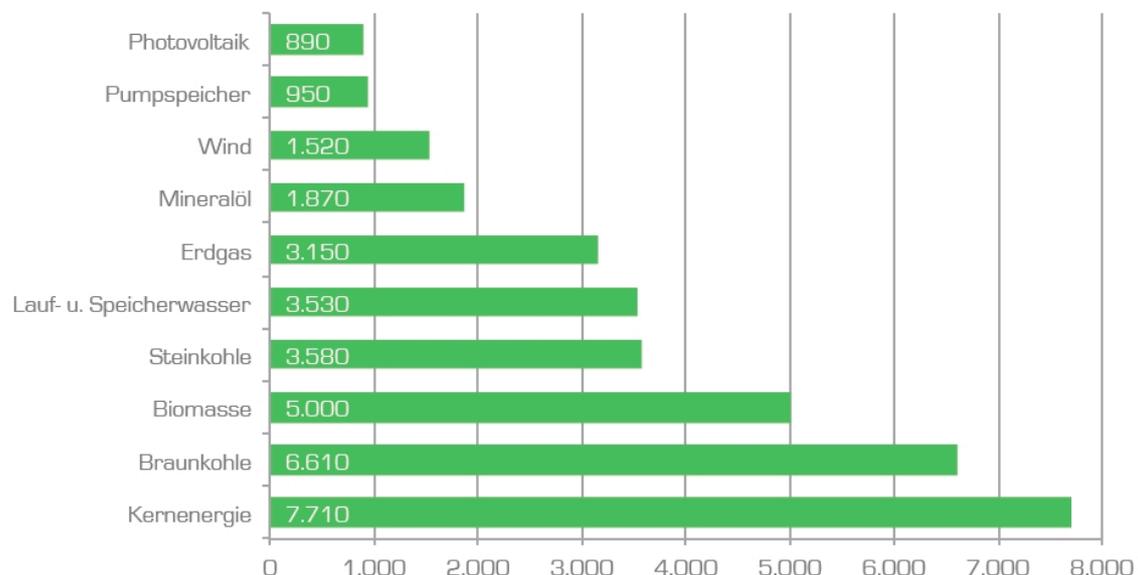


Quelle: BOSCH/ PEYKE 2011c, S. 52.

Auf dem europäischen Kontinent sind derzeit 196 AKW am Netz, innerhalb der EU-27 sind es immerhin noch 145 Kraftwerksblöcke. Dabei wird es nicht bleiben, denn momentan ist in Europa (ohne Ukraine und Russland) der Neubau von 48 AKW mit einer Leistung von 70 GW geplant. Davon sollen allein zwölf Kraftwerksblöcke in Großbritannien errichtet werden (vgl. Abb. 6). Der Neubaubedarf entspringe dabei in erster Linie aus einem steigenden Energiebedarf sowie der Notwendigkeit, einen adäquaten Ersatz für stillzuliegende Kraftwerke schaffen zu müssen. Die Umsetzungswahrscheinlichkeiten der einzelnen Projekte differieren jedoch in Abhängigkeit von politischen Rah-

menbedingungen, der Bonität des jeweiligen Landes sowie der Marktposition des Auftraggebers stark voneinander. Von den geplanten und diskutierten 70 GW Leistung weisen lediglich 16 GW eine hohe Realisierungswahrscheinlichkeit auf, bei 21,5 GW ist die Umsetzung eher unwahrscheinlich (vgl. BRIESE/ HOEMSKE 2010 & BOSCH/ PEYKE 2011c). Die Ereignisse von Fukushima haben zumindest in Deutschland eine Wende in der Atompolitik gebracht. Die ursprünglich beschlossene Laufzeitverlängerung wurde revidiert und einem früheren Ausstieg aus der Kernenergienutzung – 2022 werden mit Isar 2, Neckarwestheim und Emsland die letzten Kraftwerke vom Netz gehen – der Weg gebahnt (DIE BUNDESREGIERUNG 2011).

Abbildung 7: Jahresvolllaststunden deutscher Kraftwerke 2009



Quelle: PEYKE/ BOSCH 2010, S. 36.

James Lovelock, der Begründer der Gaia-Theorie, innerhalb derer die Erde als lebender Organismus betrachtet wird, sieht im Ausbau der Kernenergie die einzige Chance der Menschheit, die Klimakatastrophe zumindest noch hinauszögern zu können. Allein dadurch würden schädliche Emissionen verhindert und die Müllproblematik auf ein Minimum reduziert werden. Die EE sind nach Auffassung von *Lovelock* nicht in der Lage, den globalen Energiebedarf decken zu können. Die Risiken der Kernenergie sind für den Forscher nur von sekundärer Bedeutung. Er betont, dass die Sterberate im Bergbau und aufgrund von Hitzewellen weitaus höher ist, als dies im Falle eines massiven atomaren Störfalles der Fall wäre (vgl. NÜRNBERGER 2007). Des Weiteren spricht der im Vergleich zu EE hohe Wert an Jahresvolllaststunden für die Nutzung der Kernenergie

(vgl. Abb. 7). Jedoch dürfen die Langzeitfolgen eines atomaren Super-GAUes keineswegs vernachlässigt werden, denn die räumliche Diffusion der radioaktiven Wolke von Tschernobyl hat – entsprechend der Windverhältnisse am und nach dem 26.04.1986 – zu einem massiven Eintrag von gesundheitsschädlichem Cäsium in die Böden von Mittel-, Nord- und Osteuropa beigetragen (HAGGETT 2001, S. 328).

Die Diskussionen um den Nutzen der Kernenergie reißen nicht ab und werden äußerst kontrovers geführt. So halten HENZGEN/ KLÄR (2010, S. 57) die Kernenergie für ein veraltetes Geschäftsmodell und betonen:

„Solange eine Branche es als ihr Geschäftsmodell begreift, fossile Energieträger ineffizient zu verbrennen, um dadurch Energie zu erzeugen, solange wird übermäßig viel Energie darauf verwandt, dieses Geschäftsmodell zu verteidigen. Das Gleiche gilt für die Kernenergie [...]. In der Frage der Kernenergie wird im Wettbewerb eine Staatsmonopoltechnologie von den wenigen verteidigt, die davon ökonomisch auf Kosten der Allgemeinheit profitieren: Privatisierung der Gewinne – Sozialisierung der Kosten“

Angesichts der starken Ausbaubemühungen bei konventionellen Großkraftwerken stellen sich HENZGEN/ KLÄR (2010) die Frage, warum sich gerade in der Energiewirtschaft der Nachhaltigkeitsgedanke nur sehr langsam durchsetzt. Sie führen dies in erster Linie auf die prinzipiell technikzentrierte Perspektive der Energiewirtschaft zurück. Darüber hinaus ermögliche das Selbstverständnis der großen Energieversorger, das sich vor dem Hintergrund einer monopolistischen Versorgungsstruktur gebildet und Kundenbedürfnisse kaum einbezogen hat, keine adäquate Reaktion auf den gesellschaftlichen Wertewandel hin zur steigenden Nachfrage nach »grünen« Produkten. Gerade die langen Investitionszyklen in der Energiewirtschaft würden ein schnelles Umschalten der Energieproduktion auf ökologische und soziale Verträglichkeit verhindern. Vor diesem Hintergrund fordern HENZGEN/ KLÄR (2010) Unternehmen dazu auf, Nachhaltigkeitsmanagementsysteme zu implementieren. Nicht zuletzt würde die Einführung einer ethisch-moralischen Ebene im Bereich der Produktkommunikation das Image eines Unternehmens verbessern.

Zusammenfassend lässt sich behaupten, dass die Kernenergie zwar eine Lösung im Hinblick auf die CO₂-Problematik darstellt, jedoch neue, schwerwiegende Probleme,

wie bspw. die Endlagerung von Atommüll, der jetzigen sowie den kommenden Generationen aufgebürdet werden. Nachhaltigkeit nach dem Verständnis von DÖRNER (1992, S. 11) lässt sich damit nicht mit dem Ausbau der Kernenergie bzw. der Verlängerung von Laufzeiten in Verbindung bringen:

„Man löste die anstehenden Probleme, ohne an die zu denken, die man durch die Problemlösungen neu erzeugte. Man hob gewissermaßen den Wagen aus dem einen Straßengraben heraus, um ihn gleich mit Schwung in den gegenüberliegenden hineinzuwurfen.“

Der Ausbau von sog. hocheffizienten Kohlekraftwerken, der nach Ansicht von Energieversorgungsunternehmen aufgrund der CO₂-Sequestrierung eine umweltfreundliche Nutzung der Kohle ermöglichen könnte, wird ebenfalls nicht den Erfordernissen einer nachhaltigen Entwicklung gerecht. In erster Linie liegt dies daran, dass die Abscheidung von CO₂ den Wirkungsgrad der Kraftwerke massiv verringern und dadurch die Reichweite der Brennstoffversorgung verkürzen würde (vgl. UBA 2007a). LOVINS (2009, S. 101) betont:

„Saubere Kohle ist ein Mantra des Marketings, keine Realität.“

Auch die unterirdische Speicherung von Kohlendioxid mittels CCS weist in die falsche Richtung. BRAUNGART (2009, S. 6) rät davon ab, umweltschädliche Systeme und Produkte umweltfreundlicher zu gestalten:

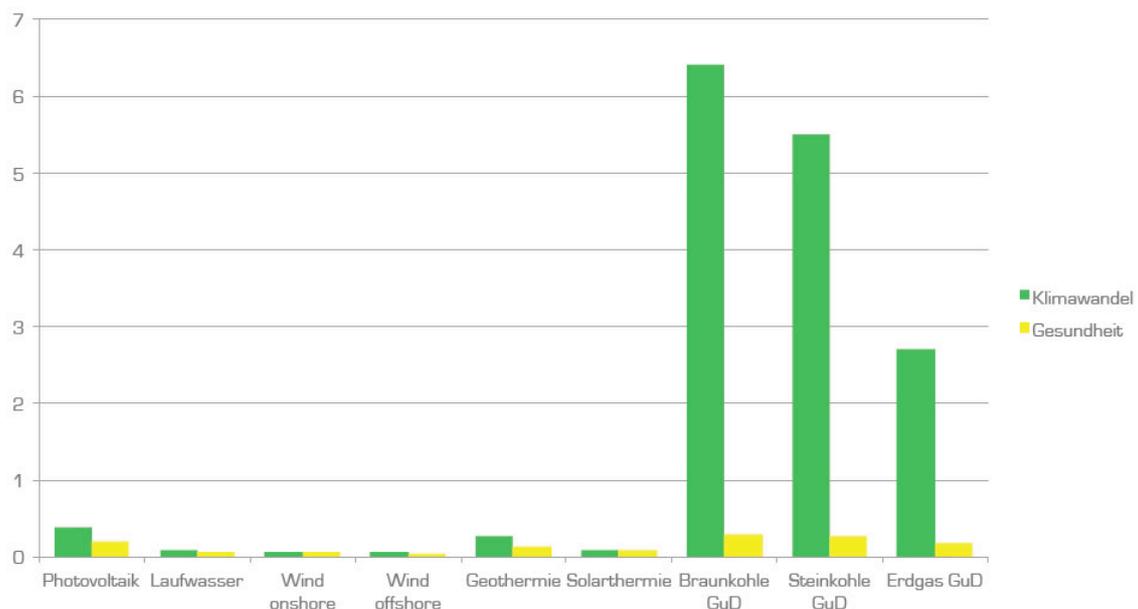
„Umweltschutz wird definiert als ‘weniger zerstören’. Diese Perspektive ist falsch. Wer weniger zerstört, schützt nicht nachhaltig. Im Gegenteil: Wer falsche Systeme und Produkte optimiert, macht sie umso gründlicher falsch.“

Aus diesem Grund wirbt BRAUNGART (2009, S. 8) für eine sog. **Cradle to Cradle-Community**, innerhalb derer geschlossene technische und biologische Kreisläufe nach dem Motto *„Von der Wiege zur Wiege“* dominieren. Er behauptet, dass ein derartiges System sogar einen verschwenderischen Umgang mit Ressourcen erlaubt und eine Einschränkung des Konsums, wie es MEADOWS et al. (2006) fordern, nicht zwingend notwendig macht. Hierbei wird vom »Kirschbaumprinzip« gesprochen. Die Nutzung von

EE lässt sich diesem Prinzip zuordnen und spielt daher eine tragende Rolle beim Aufbau eines nachhaltigen Gesellschaftssystems. Inwieweit die Kernfusion mittels Tokamak oder Stellarator einen Beitrag zur zukünftigen Energieversorgung beitragen wird, ist bis dato kaum absehbar, da FuE-prozesse noch sehr viel Zeit in Anspruch nehmen werden (vgl. FZJ et al. 2006). Nicht zu vernachlässigen ist, dass auch bei dieser Technologieroute radioaktives Material anfällt und damit nicht dem Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung entsprechen kann.

Abschließend muss auf die externen Kosten des konventionellen Energiesystems – wie Kriege um Rohstoffreserven, Sicherung des politischen und militärischen Zugangs zu Rohstoffen, Treibhauseffekt, Gesundheitsschäden, Ernteverluste, Rückbau von AKWs sowie Schädigung von Ökosystemen – verwiesen werden, die die Vorteile eines regenerativen Energiesystems offenbaren (vgl. Abb. 8).

Abbildung 8: Externe Kosten verschiedener Energiequellen in ct/ kWh



Quelle: PEYKE/ BOSCH et al. 2011, S. 17.

3 Stand der Forschung

Im Folgenden werden historische Energiekonzepte und Energievisionen, das Konzept des Energiedorfes, verschiedene Energiesystemoptimierungsmodelle sowie GIS-gestützte Energiekonzepte näher betrachtet. Die historischen Energiekonzepte und Energievisionen verdeutlichen in eindrucksvoller Weise den Versuch der Menschheit, mit einer einzigen Technologie bzw. einem einzigen energiekonzeptionellen Ansatz – sogar kontinentalen bis globalen Ausmaßes – den Weg für eine umfassende und nachhaltige Energiewende zu ebnet. Zu welchen Phantasien und Utopien einzelne Ingenieure dabei angeregt wurden, ist durchaus bemerkenswert und bedarf einer kritischen Würdigung. Nicht zuletzt erlauben diese Ansätze einen hervorragenden und damit lehrreichen Einblick in die Komplexität großangelegter Projekte, die nicht selten den Blick für kleine, jedoch bedeutende Details verwischen. Das Konzept des Energiedorfes bildet zumindest in räumlicher Hinsicht exakt das Gegenstück zu den historischen Energiekonzepten, liefert es doch lediglich einen Ansatz zur Energieautarkie kleinerer Siedlungseinheiten. Dennoch lassen sich auch davon wertvolle Erkenntnisse ableiten, speziell wenn es darum geht, lokale Ressourcen optimal in Wert zu setzen sowie die Konsequenzen einer einseitigen Orientierung auf einen Energieträger zu erfassen.

Die ausführliche Betrachtung von Energiesystemoptimierungsmodellen lässt sich dadurch erklären, dass sie – durch die Möglichkeit der Verarbeitung großer Datenmengen innerhalb kurzer Zeit – die Komplexität von Energiesystemen erfassen und ihre Robustheit gegenüber wirtschaftlichen, gesellschaftlichen sowie technologischen Schwankungen testen helfen. GIS-gestützte Energiekonzepte sind ebenfalls in der Lage, große Datenmengen aussagekräftig zu bewältigen. Ihr Vorteil gegenüber den gängigen Energiesystemoptimierungsmodellen besteht jedoch eindeutig darin, dass sie Energiesysteme räumlich begreifen können. Bei einem Technologieausbau, der nach BRÜCHER (2008, S. 4) als in höchstem Maße raumrelevant zu bezeichnen ist – er spricht von „*energy from space*“ –, erscheint der Einsatz von GIS daher mehr als angebracht.

3.1 Historische Energiekonzepte und Energievisionen

3.1.1 Atlantropa

Noch bevor ersichtlich war, dass die Energieversorgung Europas im 20. Jh. auf dem Fundament fossiler und nuklearer Energieträger basieren sollte, entwickelte der deut-

sche Architekt *Herman Sörgel* (1885-1952) bereits ein regeneratives Energiekonzept mit dem Namen Atlantropa. Dieses Projekt ist zweifelsohne zu den größten technischen Utopien der Menschheitsgeschichte zu zählen (vgl. SÖRGEL 1948; THEENS 1949; STEINEL 1997; VOIGT 1998 & TU-DARMSTADT 2010). Die Überlegungen *Sörgels* sind als Verarbeitung der traumatischen Erfahrungen des 1. Weltkrieges zu verstehen und hegen daher den Wunsch nach einer friedvollen Gesellschaft. Der Technokrat und Utopist *Sörgel* war ein Mann seiner Zeit, denn in den 1920'er Jahren war es nichts ungewöhnliches, in regelmäßigen Abständen mit neuen »Weltrettungsideen« von sich reden zu machen. Darüber hinaus waren seine Ideen – vor dem Hintergrund einer zunehmenden, energieintensiven Industrialisierung und Mobilisierung der Gesellschaft zu Beginn des 20. Jahrhunderts – als eine Reaktion auf ineffiziente Energiegewinnungsverfahren zu verstehen. Das zentrale Interesse seines ganzheitlichen und idealistischen Ansatzes galt jedoch dem Aufbau einer Gesellschaft, innerhalb derer ein harmonisches Miteinander aller Menschen Europas und Afrikas auf Basis einer funktionierenden Energieversorgung sowie einer Inwertsetzung neuer Landmassen möglich sein sollte.

Abbildung 9: Gibraltardamm - Kernstück der Energievision von Atlantropa



Quelle: KOOB et al. 2010.

Herzstück seines Konzeptes war die Nutzung der Wasserkraft durch die Errichtung von mehreren Staudämmen sowie die Gewinnung von Neuland im Zuge der Absenkung des Mittelmeeres. *Sörgel* war der Überzeugung, dass es sich bei diesem Meer um ein sog. Verdunstungsmeer handelt und ohne eine Verbindung zum Atlantik die jährlichen Nie-

derschläge über dem Mittelmeer sowie die Zuflüsse vom Schwarzen Meer, der Rhône, dem Po und dem Nil nicht ausreichen würden, um eine Absenkung aufgrund der starken Verdunstung – v. a. zwischen Zypern und Ägypten – zu vermeiden. Die Straße von Gibraltar bildet mit einem Durchfluss von 88.000 km³/s die Lebensader des Mittelmeeres. An dieser Stelle sollte daher in einem ersten Schritt ein Staudamm mit einer Länge von 35 km und einer Leistung von 49.000 MW (!) errichtet werden (vgl. Abb. 9). Der Bau eines Staudammes bei den Dardanellen zur Abriegelung des Schwarzen Meeres sollte den zweiten Schritt seines Konzeptes darstellen und in der Folge durch die Errichtung von Staudämmen an allen Zuflüssen des Mittelmeeres ergänzt werden. *Sörgel* ging davon aus, dass sich nach Beendigung aller Bauarbeiten der Meeresspiegel jährlich um 165 cm absenken würde und langfristig die Besiedlung der flachen Adria und Ägäis möglich wäre. Insgesamt war mit einer Landgewinnung von 567.000 km² und einer kumuliert installierten elektrischen Leistung von 110.000 MW zu rechnen – das entspricht in etwa 100 Atomkraftwerken! *Sörgel* war davon überzeugt, dass diese Menge für eine dauerhafte Stromversorgung ganz Europas ausreichen würde.

Einen Synergieeffekt der Absenkung des Mittelmeeres stellte der Zusammenschluss Europas mit dem an Rohstoffen reich bestückten und unerschlossenen Afrika dar. Afrika sollte jedoch nicht nur als neues Siedlungsland und als Rohstofflieferant für die europäischen Industriestandorte fungieren, zusätzliche wurde dem Kontinent auch die Rolle als Absatzmarkt für europäische Produkte angetragen. *Sörgel* hatte zudem die Vision von der Entstehung eines neuen Kontinentes – Atlantropa – der durch die räumliche „Wiedervereinigung“ von Europa und Afrika – entsprechend der natürlichen Gegebenheiten von vor 50.000 a –, in weltpolitischer Hinsicht mit Amerika und Asien auf Augenhöhe agieren sollte.

Die Hoffnungen *Sörgels*, der von der Zeit der Weimarer Republik über das Dritte Reich bis hin zur Nachkriegszeit für die Umsetzung seiner Vision kämpfte, sollten sich jedoch nicht erfüllen. Gerade die heutzutage stark in der Kritik stehende friedliche Nutzung der Kernenergie sorgte im Nachkriegsdeutschland für eine Neuausrichtung in der Energiepolitik. *Sörgels* Energiekonzept war damit überholt. Ohnehin hätte die Umsetzung seiner Vision unabsehbare Folgen für die Umwelt gehabt. Nicht zu vergessen sind die möglichen klimatischen Veränderungen sowie die Trockenlegung bedeutsamer Hafens-

städte wie Marseille, Genua, Neapel und Venedig, die mit der Absenkung des Meeresspiegels einhergegangen wären.

Das zur damaligen Zeit vorherrschende, ungetrübte Vertrauen in den technischen Fortschritt sowie das noch fehlende Bewusstsein für den Zusammenhang zwischen Großprojekten und ökologischer Degradierung bildete überhaupt den Nährboden für eine derartige Vision. Inzwischen gibt es zahlreiche wissenschaftliche Belege über die negativen Auswirkungen von Großprojekten dieser Art. Zwar hätte die Absenkung des Meeresspiegels zur Gewinnung von neuem Lebensraum beigetragen, jedoch wären die Salzwüsten in keiner Weise landwirtschaftlich nutzbar gewesen. Man hätte mit ähnlich katastrophalen Bedingungen ökologischer und sozialer Natur rechnen müssen, wie sie sich derzeit im Bereich des Aralsees darstellen (HAGGETT 2001, S. 346ff.). Dort hat die Entnahme von Wasser aus dem Amu-Darja zum Zwecke der Bewässerung zu einer sukzessiven Verkleinerung der Seefläche und der Ausbreitung eines lebensfeindlichen Salzbodens (Solonchake) geführt (vgl. GIESE 1997; CONRAD 2002 & ZECH 2002).

Auch die Errichtung von Staudämmen, wie es *Sörgel* im gesamten Mittelmeerraum geplant hatte, ist nach dem heutigen Stand der Forschung als äußerst kritisch zu betrachten. Folgende Nachteile sind diesbezüglich anzuführen: Menschenrechtswidrige Umsiedlungsaktionen, Verarmung der Vertriebenen im Zuge des Verlustes ihrer Verfügungsrechte, Beeinträchtigung der Existenzgrundlage von Menschen flussabwärts, Überflutung von historisch gewachsenen Kulturlandschaften und Baudenkmalern, Sedimentablagerungen flussaufwärts, Verschlammung des Stausees, Zerstörung ganzer Ökosysteme, Erdbebengefahr aufgrund des Wasserdruckes, Ausbreitung von Krankheiten (z. B. Bilharziose), schädlichen Pflanzen (z. B. Wasserhyazinthe) und Nagetieren (z. B. Rattenplage), Versalzung der bewässerten Flächen aufgrund fehlender Drainagemaßnahmen, finanzpolitische Risiken derartiger Großbauprojekte (vgl. IBRAHIM 1984; WOLFF 1986; MOU/ CAI 1998; ZHANG 2000; JACKSON/ SLEIGH 2001; KING et al. 2004; KREUTZMANN 2004; DITTRICH 2004; RAI/ SCHMIDT-VOGT 2004; SCHMIDT-VOGT 2004; COY/ GEIPEL 2004; JÜRGENS 2004; BOHLE 2004 & STÖBER 2004).

Gerade in der Phase der Dekolonisation und dem Beginn der Entwicklungshilfe herrschte die Überzeugung vor, dass Großstaudammprojekte ein hervorragendes Mittel zur sicheren Energieversorgung, Bändigung der Natur sowie der Modernisierung von Ent-

wicklungsländern darstellen würden. Die erhoffte nachholende Entwicklung blieb jedoch aus, so dass auch heute noch die Vorstellungen von einem räumlich angepassten, nachhaltigen Energieversorgungssystems äußerst vage sind. Die Wasserkraft wird zweifelsohne eine bedeutende Rolle bei der Erarbeitung von nachhaltigen Energiekonzepten spielen, dennoch gilt es, Großprojekte kritisch zu hinterfragen. Neben der konventionellen Nutzung der Wasserkraft gibt es mittlerweile vielversprechende Technologien, die eine Erschließung von großen Energiepotenzialen in Meeresgebieten als realistisch erscheinen lassen. Jedoch befinden sich Meereswärme-, Osmose-, Wellen- und Meeresströmungskraftwerke in der Einführungs- und Entwicklungsphase und sind damit noch weit von der Wettbewerbsfähigkeit entfernt. Mit einer Entlastung des ländlichen Raumes ist daher nur mittel- bis langfristig zu rechnen. Einen tieferen Einblick in die Thematik »Energie aus dem Meer« gewähren KALTSCHMITT et al. (2006), LESSNER (2009), BARD (2010), GROTELÜSCHEN (2011) und BOSCH/ PEYKE (2011c).

3.1.2 Vision Aufwindkraftwerke

Ein Großprojekt, das auf die Nutzung thermischer Unterschiede mittels Aufwindkraftwerke setzt, wurde bereits Ende der 1970'er Jahre von den Ingenieuren *Jörg Schlaich* und *Rudolf Bergermann* ins Leben gerufen (vgl. WEINREBE 2000; WEINREBE 2003; SCHLAICH/ SCHIEL 2001; SCHLAICH et al. 2003; DOS SANTOS BERNARDES 2004; DOS SANTOS BERNARDES et al. 2004; MÜLLER 2008 & SBP 2010). Zum Bedauern der Ingenieure konnte jedoch das Projekt bis dato nicht umgesetzt werden. Problematisch ist die Tatsache, dass der Wirkungsgrad von Aufwindkraftwerken sehr gering ist und erst ab Turmhöhen von etwa 1.000 m (!) und einer Leistung von 250 MW Wirtschaftlichkeit gegeben ist. Von Vorteil ist, dass zur Konstruktion einfachste Baumaterialien benötigt werden und die Fläche unter den Kollektoren landwirtschaftlich genutzt werden kann (vgl. BOSCH 2010a).

Ende der 1970'er Jahre war das Interesse an der Technologie Aufwindkraftwerk noch groß, nicht zuletzt stellte das Bundesforschungsministerium im Jahr 1979 insgesamt 3,5 Mio. DM für Forschungszwecke zur Verfügung. Diese Mittel wurden u. a. dazu verwendet, einen Prototyp südlich von Madrid – in Manzanares – zu errichten (vgl. HAAF et al. 1983 & HAAF 1984). Bis zum Jahr 1989 wurden schließlich zahlreiche Tests an dem Kraftwerk durchgeführt, wenig später stürzte es aufgrund des Verzichtes auf Korrosionsschutz planmäßig ein. Mit dem Auftrag, ein Programm zur Berechnung

großer Anlagen auszuarbeiten und dabei auf die Ergebnisse aus dem Pilotprojekt Manzanares zurückzugreifen, wurden dem Ingenieurbüro weitere Mittel vom Bund zugestanden (vgl. SCHLAICH et al. 1990). In den darauffolgenden Jahren schwand jedoch das Interesse an dem Energiekonzept rasant, da die Photovoltaik im Zuge des 1.000-Dächer-Programmes (1990-1992) sowie des 100.000-Dächer-Programmes (1999-2003) in den Focus energiekonzeptioneller und -strategischer Überlegungen geriet. Die Ingenieure bedauern diese Entwicklung, denn die Förderung von kleinen, dezentralen Anlagen lenkt ihrer Auffassung nach von der Möglichkeit ab, mittels großer, zentraler Anlagen nennenswerte Energiemengen bereitstellen zu können.

Da seit dem Boom in der PV-Branche in den 1990' er Jahren kaum mehr ein Interesse an dem Aufwindkonzept von *Schlaich* und *Bergermann* seitens des Bundes besteht, setzen die Ingenieure auf die Unterstützung von berühmten und einflussreichen Persönlichkeiten, wie bspw. der Scheich von Arabien, der ehemalige amerikanische Vizepräsident Al Gore, der Unternehmer Michael Otto, der ehemalige Bundespräsident Horst Köhler sowie der EU-Kommissar für Energie Günther Oettinger. Darüber hinaus wurden mehrfach Gespräche mit E.ON, EnBW, RWE und Vattenfall geführt, jedoch hielt sich das Interesse seitens der Energiekonzerne in Grenzen. Nicht zuletzt ist die Verwendung von PV-Modulen mittlerweile die lukrativere Option (vgl. RENTZING 2011b). Eine Realisierung des Projektes scheint damit in weite Ferne gerückt zu sein, dennoch halten die Ingenieure – nicht zuletzt getragen von den neuen Bemühungen im Rahmen der Desertec-Industrial-Initiative sowie der Mittelmeerunion – an ihrem Energiekonzept fest. Ziel ist es, innerhalb der nächsten Jahre ein Aufwindkraftwerk mit einer Leistung von 50 MW – evtl. in Spanien – zu errichten. Dabei ist mit Investitionskosten zwischen 300 und 350 Mio. € zu rechnen. Dies ist mit Errichtung von konzentrierenden solarthermischen Systemen vergleichbar, jedoch stellt sich der laufende Betrieb von Aufwindkraftwerken nach MÜLLER (2008) als weitaus einfacher und auch kostengünstiger dar.

3.1.3 Solar Grand Plan

Zu den spektakulärsten Energiekonzepten in jüngster Zeit zählt zweifelsohne der von den Solar-Ingenieuren *Ken Zweibel*, *James Mason* und *Vasilis Fthenakis* entwickelte Solar Grand Plan, der zum Ziel hat, die Energieversorgung der Vereinigten Staaten von Amerika mittel- bis langfristig auf eine solare Basis zu stellen (vgl. ZWEIBEL et al. 2008). Die Endlichkeit fossiler Energieträger, steigende Energiepreise und Treibhaus-

gasemissionen, Defizite in der Außenhandelsbilanz sowie die Verwicklung der USA in kriegerische Auseinandersetzungen um den Zugang zu Energieressourcen motivierten die Ingenieure zur Erarbeitung dieses ambitionierten Konzeptes. Die Solarenergie besitzt speziell im Südwesten der USA, aufgrund der hohen solaren Einstrahlungswerte sowie einer potenziellen Fläche von 650.000 km² (!), einen klaren Standortvorteil gegenüber alternativen Technologien. Innerhalb eines Jahres könnten dort mittels solarthermischer Kraftwerke und PV-Anlagen 1,3 Mio. TWh (5.000 Exajoule) gewonnen werden. Davon würden 2,5 % ausreichen, um den Energiebedarf der USA decken zu können. Jedoch handelt es sich dabei um einen über Jahrzehnte andauernden Prozess, innerhalb dessen die verwendeten Technologien noch ausreifen und sich zu einem kostengünstigen Massengut entwickeln müssen. Nicht zuletzt ist es notwendig, den Ausbau seitens der politischen Entscheidungsträger im Lande durch entsprechende Maßnahmen – z. B. Gewährung von Darlehen – zu flankieren.

Der Plan sieht vor, auf einer Fläche von 80.000 km² bzw. 41.000 km² PV-Module bzw. Parabolrinnenkraftwerke zu errichten. Zu einer flächendeckenden und kontinuierlichen Energieversorgung gilt es darüber hinaus, ein Netz von HGÜ-Leitungen aufzubauen sowie unterirdische Kavernen in räumlicher Nähe zu den Lastzentren für die Errichtung von Druckluftspeicherkraftwerken zu erschließen. Unter der Prämisse eines optimalen Ausbaus gehen die Ingenieure davon aus, dass im Jahr 2050 etwa 70 % des Strombedarfes und 35 % des gesamten Energiebedarfes gedeckt werden könnten. Werden noch die Potenziale geothermaler Quellen sowie die von Windenergie und Biomasse mit einbezogen, so wäre bis zum Jahr 2100 nahezu eine Deckung des Gesamtenergiebedarfes aus regenerativen Quellen möglich. Das Investitionsvolumen wurde auf 420 Mrd. US-\$ innerhalb eines Zeitraumes von 40 a geschätzt. Allein mittels einer Steuer von 0,5 ct auf jede verbrauchte Kilowattstunde fossiler Erzeugung könnte dieser Betrag gestemmt werden. Es bleibt abzuwarten, ob und wann die US-amerikanische Regierung geeignete Rahmenbedingungen zur Durchführung des Solar Grand Plans schaffen wird. Weiterführende Informationen zu den Trends in der Energiepolitik der USA liefern WÖRLEN et al. (2009).

3.1.4 Desertec Industrial Initiative

Im Jahr 2009 wurde unter der Führung des Rückversicherers Munich RE die Desertec Industrial Initiative (DII) gegründet, an der sich finanzstarke Unternehmen wie Sie-

mens, RWE, E.ON, Schott Solar, MAN Solar Millennium, Flagsol, Abengoa Solar, Deutsche Bank und HSH Nordbank als Shareholder beteiligen (vgl. DESERTEC FOUNDATION 2009, DII 2011a & LÖFKEN 2011a). Ähnlich dem Solar Grand Plan ist es das Ziel dieser Initiative, v. a. die hohe solare Einstrahlung im Bereich von Wüstengebieten wirtschaftlich zu nutzen. Es wird darauf verwiesen, dass die Wüstengebiete der Erde innerhalb von sechs Stunden mehr Energie auf Basis der solaren Einstrahlung erhalten würden, als die gesamte Menschheit innerhalb eines Jahres verbrauchen könnte. Bei etwa 3.000 Sonnenstunden ergibt sich je Quadratmeter eine Ausbeute von etwa 2.500 kWh (WANDLER 2011, S. 94). Im Gegensatz zum amerikanischen Vorgehen soll dieses Potenzial jedoch ausschließlich mittels konzentrierender solarthermischer Technologien (CSP), wie den linienkonzentrierenden Parabolrinnenkraftwerken (vgl. Abb. 10) und Fresnelkollektoren sowie den punktkonzentrierenden Solartürmen und Dish-Stirling-Anlagen, erschlossen werden. Eine detaillierte Beschreibung solarthermischer Technologien leisten KALTSCHMITT et al. (2006), QUASCHNING (2009), VALLENTIN/ VIEHBAHN (2009), LESSNER (2010a), BOSCH (2010a) und HEUER (2011).

Abbildung 10: Parabolrinnenkraftwerk - Plataforma Solar de Almeria (Spanien)



Quelle: QUASCHNING. (www.volker-quaschning.de)

Der Vorteil dieser Technologieroute besteht darin, dass durch Koppelung der solarthermischen Anlagen mit Wärmespeichern (z. B. geschmolzenes Salz, Beton) eine grundlastfähige Energieproduktion garantiert werden kann. Darüber hinaus werden vor dem Hintergrund eines Technologietransfers, der Schaffung neuer Arbeitsplätze sowie dem Aufbau einer Wissensgesellschaft Entwicklungschancen für die MENA-Staaten gesehen (LÖFKEN 2011, S. 27). Eine genaue Beschreibung und Quantifizierung dieser positiven Nebeneffekte innerhalb der EUMENA-Region liefern DLR (2007) und BOSCH (2010a).

Des Weiteren kann die beim Produktionsprozess anfallende Abwärme zum Betrieb von Meerwasserentsalzungsanlagen genutzt werden. So ergeben sich gerade in von Dürre geplagten Ländern Synergieeffekte zwischen Energieproduktion, Süßwasserbereitstellung und Nahrungsmittelproduktion. Hierbei ist jedoch kritisch anzumerken, dass solarthermische Kraftwerke auch sehr viel Wasser zur Kühlung benötigen. Ein Parabolrinnenkraftwerk mit einer installierten Leistung von 500 MW benötigt nicht zuletzt 3,9 Mio. m³ Wasser pro Jahr. Bei einem Stirlingkraftwerk der gleichen Größe liegt der Wasserverbrauch mit 27.000 m³ deutlich darunter (HEUER 2011, S. 58). Ziel muss es daher sein, mittels Luft eine Trockenkühlung zu realisieren (vgl. KELLY 2007a, KELLY 2007b & RICHTER et al. 2011). Zusätzlich ist es notwendig, den Wasser-Dampf-Kreislauf, der für den Betrieb der Dampfturbine verantwortlich ist, geschlossen zu halten. Schließlich wird an neuen Methoden gearbeitet, um eine wasserarme Reinigung der Kollektoren zu ermöglichen (vgl. DII 2011b).

Bemerkenswert ist darüber hinaus, dass die Solarthermie nicht unbedingt als optimale Technologie zu bezeichnen ist, denn ihr Kostenvorteil gegenüber der Photovoltaik besteht nicht länger. Im Gegenteil: Die Stromgestehungskosten solarthermischer Kraftwerke von durchschnittlich 19 ct/kWh liegen bereits deutlich über jenen von großen PV-Freiflächenanlagen mit 16 ct/kWh. Bis zum Jahr 2020 ist davon auszugehen, dass PV-Strom nur noch Kosten in Höhe von 7 ct/kWh verursachen und damit um einen Cent billiger sein wird als konventionell produzierter Strom. Die Solarthermie wird dieses Preisniveau erst zehn Jahre später erreichen, da sie nicht gleichermaßen von Größenvorteilen profitiert wie die Photovoltaik (RENTZING 2011b, S. 50).

Neben der Solarenergie sollen langfristig auch Windenergie, Biomasse, Geothermie und Wasserkraft ihren Beitrag – entsprechend den regionalen bzw. nationalen Potenzialen

innerhalb der EUMENA-Region – leisten. Eine der größten Herausforderungen des Desertec-Projektes wird zweifelsohne darin bestehen, die gewonnene Energie zu den z. T. weit entfernten Verbrauchern zu transportieren (vgl. MAY 2005 & GEITMANN 2010). Ziel der DII bis zum Jahr 2050 ist es, 15 % des europäischen Strombedarfes mit Wüstenstrom zu decken (LÖFKEN 2011b, S. 27 & DII 2011b). Hierzu ist der Aufbau eines HGÜ-Netzes notwendig, denn dadurch gehen pro 1.000 km nur 3-4 % der Energie verloren. Damit könnten aus wirtschaftlicher Sicht Verbrauchszentren bis zu einer Entfernung von 3.000 km mit Wüstenstrom versorgt werden. Ein weiteres Problem besteht darin, dass sich die Errichtung von solarthermischen Kraftwerken auf politisch instabile Regionen konzentriert und eine reibungslose Versorgung europäischer Verbraucherzentren somit nicht garantiert werden kann. Die DII hält diese Befürchtungen für überzogen, denn die derzeit sich vollziehenden Demokratisierungsprozesse innerhalb der nordafrikanischen Staaten würden nicht zuletzt ein stabiles Fundament einer sicheren Energieversorgung bilden (vgl. DII 2011b). Im Übrigen ist neben der politischen Frage nach der Vereinbarkeit so vieler z. T. widerstrebender nationaler Interessen – man beachte allein die Auseinandersetzungen innerhalb der Mittelmeerunion – noch nicht geklärt, wie sich eine Finanzierung des ambitionierten, nach ersten Angaben des DLR 400 Mrd. € teuren Projektes, darstellen könnte. Klar ist, dass das Desertec-Konsortium selbst keine Kraftwerke errichten und betreiben wird und auch keinerlei Investitionen tätigt. Es gehe primär um die Schaffung eines positiven Investitionsklimas (vgl. DII 2011b).

Die Befürchtung, Sandstürme könnten den Kraftwerken zu stark zusetzen, wird seitens der DII zurückgewiesen. Nicht zuletzt ist es möglich, die Kollektoren aus dem Wind zu drehen sowie die äußeren Reihen durch Windzäune zu schützen. Darüber hinaus wird betont, dass sich die Terroranfälligkeit der Stromtrassen zwischen Nordafrika und Zentraleuropa von jener der bereits bestehenden Gasleitungen nicht unterscheiden wird. Des Weiteren entbehre die Behauptung, dass es sich beim Desertec-Projekt um ein neokolonialistisches Format handle, jeglicher sachlichen Grundlage. Vom Gros der Wertschöpfungskette werden die Erzeugerländer selbst profitieren. Schließlich gehe es um den Aufbau lokaler Industrien, die Schaffung von Arbeitsplätzen sowie den Transfer von Wissen. Mittels dieser wirtschaftlichen Diversifizierung könne der Wohlstand in den betreffenden Regionen erheblich gesteigert werden. Nicht zuletzt wird der Großteil des produzierten Stroms den MENA-Ländern zur Verfügung gestellt (vgl. DII 2011b).

Die Möglichkeit einer raschen Umsetzung des Konzeptes wird z. T. bezweifelt und die Pläne der Desertec Foundation als reine Gedankenspiele bezeichnet, die nicht mehr als einen »Hype« ausgelöst hätten. Viele Fragen sind noch ungeklärt, bspw. wie es angesichts fehlender Stromleitungen zwischen Spanien und Frankreich gelingen soll, die Energie nach Mittel- und Nordeuropa zu transportieren (vgl. ARD 2010). Darüber hinaus formuliert DE GRAAF (2011, S. 39) den Vorwurf, dass die soziale Dimension eines derartig großen Projektes, das nicht zuletzt in einer Region durchgeführt werden soll, die sich seit dem Umsturz in Tunesien in erheblicher Aufruhr befindet (RUBNER 2011, S. 19), von den Initiatoren ignoriert wurde. Des Weiteren wirft DE GRAAF (2011, S. 39), der vom Scheitern des überdimensionierten Projektes überzeugt ist, den am Desertec-Projekt beteiligten großen Energieversorgern E.ON und RWE ein Täuschungsmanöver vor:

„Denn der Wüstenstrom, der bisher nur auf dem Papier existiert, dient den großen Energieversorgern vor allem als argumentative Keule gegen einen weiteren Zubau der dezentralen Photovoltaikanlagen sowie Wind- und Wasserkraftwerken, der von Anfang an von den großen Energieversorgern bekämpft wurde, wo es nur ging. Denn warum [...] teure Kapazitäten hierzulande aufbauen, wenn der Strom billig aus der Wüste kommt?“

Es ist erkennbar, dass sich Länder wie Ägypten, Algerien und Marokko nicht mehr auf die Initiative Desertec verlassen, sondern unabhängig von deren Bemühungen solarthermische Kraftwerke wie *Kuraymat*, *Ain Beni Mathar* und *Quarzazate* in Eigenregie errichten. Speziell die Arabische Liga ist in hohem Maße daran interessiert, den innerhalb der MENA-Staaten erzeugten Solarstrom in erster Linie vor Ort zu nutzen und dem Demokratisierungsprozess so eine sichere Energieversorgung zur Seite zu stellen. Es ist ohnehin davon auszugehen, dass der Strombedarf der nordafrikanischen Staaten im Zuge eines starken Bevölkerungswachstums bis 2050, eines steigenden Trinkwasserkonsums sowie einer zunehmenden Privatisierung der Wirtschaft noch erheblich anwachsen wird (LÖFKEN 2011b, S. 27 & WANDLER 2011, S. 92). Anhand dieser Feststellungen ist zu folgern, dass das Desertec-Projekt zwar im Sinne einer Diversifizierung der europäischen Energieversorgung durchaus einen sinnvollen und gangbaren Weg darstellen kann, jedoch – angesichts der zahlreichen Risiken und ungelösten Probleme – ein Ver-

zucht auf die Erarbeitung nationaler bzw. europäischer Energiekonzepte einer fahrlässigen Energiepolitik gleichkommen würde.

3.1.5 European Supergrid

MAY (2009b) und BOSCH/ PEYKE (2010a) weisen darauf hin, dass ein Zusammenhang zwischen der Größe eines Raumes, innerhalb dessen Regenerativstrom erzeugt wird, und der in diesem Raum garantierten Verfügbarkeit von Kraftwerken vorliegt. Diese Tatsache will sich der Unternehmer O'Connor (Mainstream Renewable Power) zu Nutze machen, indem die Windparks der Nordsee und des Ostsee-Baltikraumes durch ein Gleichstromnetz – ein sog. Supergrid – miteinander in Verbindung gebracht werden. Langfristig ist den angrenzenden Staaten so ein Zugang zu einer Leistung von 500 GW möglich. Im Gegensatz zu den oben beschriebenen Großprojekten trifft dieser Ansatz auf große Resonanz, nicht zuletzt haben sich bereits mehrere Vertreter aus der Industrie (z. B. Siemens, Areva) im Interessenverband FOSG zusammengeschlossen (vgl. FOSG 2010).

Den Ambitionen von FOSG kommt zu Gute, dass mittlerweile an schwimmenden Offshore-Windkraftanlagen geforscht wird, die die Erschließung von bisher für die Windenergie unzugänglichen Offshore-Standorten ermöglichen (vgl. LESSNER 2010b). Die Roadmap von PWC (2010) offenbart, welche Schritte zur Umsetzung des Supergrid-Konzeptes notwendig sind. Problematisch ist in erster Linie, dass in Europa fünf verschiedene Stromnetze existieren und darüber hinaus auch jeder EU-Mitgliedstaat sein eigenes Netz betreibt. Des Weiteren sind die Netze der einzelnen Staaten nur partiell mit denen der Nachbarländer verbunden. Nicht zuletzt erschweren die auf dem Festland bestehenden Wechselstromtrassen den Transport großer Mengen an Windstrom (vgl. WEINHOLD 2010). Der Aufbau von Gleichstromtrassen soll hier eine Wende bringen (vgl. ZIMMERMANN/ WEINHOLD 2011 & ZIMMERMANN 2011d) und sogar den Mittelmeer- mit dem Nordseeraum verbinden. Dadurch können Schwankungen aus der Offshore-Windenergie durch Solarstrom aus Afrika ausgeglichen werden. Das European Supergrid-Konzept eröffnet demnach die Möglichkeit zur Integration der Desertec Industrial Initiative in die energiestrategischen Überlegungen Europas.

3.1.6 Strom aus dem Weltraum

Die Idee, Strom mittels im All befindlicher, geostationärer Solarkraftwerke zu produzieren, zählt wohl zu den kühnsten Energievisionen. Zwar hat die NASA, die bereits seit

den 1970'er Jahren intensiv an dem Konzept forscht (vgl. NASA 1978), ihr Space Based Solar Power-Program (SBSP) zur Jahrtausendwende aus Kostengründen eingestellt. Dennoch wird das Konzept von einigen Wissenschaftlern und Unternehmern weiter verfolgt. Zum einen stellt sich die Frage, inwieweit seitens der Logistik der großen Herausforderung, Baumaterialien möglichst kosteneffizient in die Erdumlaufbahnen zu transportieren und Kraftwerke zu installieren, entsprochen werden kann. Des Weiteren ist noch unklar, mittels welcher Strategie sich die gewonnene Energie zur Erdoberfläche befördern lässt. Es besteht die Möglichkeit, den produzierten Solarstrom entweder in energiereiche Mikrowellen umzuwandeln und dann zu Empfangsantennen auf der Erde zu senden. Denkbar ist auch die Umwandlung des Stroms in energiereiches Laserlicht (z. B. mittleres Infrarotlicht mit 1.550 Nanometer Wellenlänge aber auch sichtbares Licht), das zu Strom produzierenden Solaranlagen auf der Erde gesendet wird. Letzteres Konzept wird bspw. von EADS Astrium in Bremen verfolgt. Ziel ist es zunächst, bis zum Jahr 2018 einen Demonstrator-Satelliten mit einer Leistung von einigen Kilowatt im Weltraum zu platzieren. Die Errichtung von Großkraftwerken ist innerhalb der nächsten Jahrzehnte jedoch nicht zu erwarten. Im Blickpunkt des Interesses steht vielmehr die Nischenanwendung, bspw. die Notstromversorgung für peripher gelegene Räume (VERSECK 2011, S. 68ff.).

3.2 Konzept des Energiedorfes

3.2.1 Allgemein

Jenseits von Großprojekten wie dem Solar Grand Plan, der Desertec Industrial Initiative und dem European Supergrid, mit denen der Versuch unternommen wird, die Energieversorgung auf nationaler oder sogar kontinentaler Ebene umzugestalten, gibt es auch vielversprechende Ansätze auf lokaler Ebene. Von besonderem Interesse ist das Konzept der Energiedörfer. Die Kernidee besteht darin, den Großteil der Strom- und Wärmeversorgung einer Siedlung auf regenerative Basis zu stellen und dabei weitestgehend auf gemeindeinterne Ressourcen sowie eigene Kraftwerke zurückzugreifen.

3.2.2 Beispiel Bioenergiedorf

Zu den bekanntesten Energiedörfern gehören sicherlich die Bioenergiedörfer, innerhalb derer eine starke Fokussierung auf *einen* Energieträger – in diesem Fall Biomasse – stattfindet. Man spricht von einem Bioenergiedorf, wenn 100 % des Strom- und zumindest 50 % des Wärmebedarfes mittels Biomasse gedeckt werden können. Entscheidend

ist darüber hinaus, dass die zuliefernden Landwirte und die Wärmekunden einen Anteil von mehr als 50 % an den Biomassekraftwerken innehaben. Im besten Fall hält jeder Einwohner einen gewissen Anteil an den Bioenergieanlagen und sichert sich damit auch die Möglichkeit der Partizipation (vgl. IZNE 2007; FNR 2008 & POMREHN 2011).

Das erste und zugleich bekannteste Energiedorf in Deutschland, das quasi als Modell-
dorf für viele Folgeprojekte fungierte (vgl. HEINKEN 2009), ist das Bioenergie-
dorf Jühnde (Süd-Niedersachsen, Ldk. Göttingen). Im Rahmen einer Ausschreibung des
IZNE bewarben sich im Jahr 2001 insgesamt 17 Dörfer um den Status »erstes Bioener-
giedorf Deutschlands«. Mehrere Faktoren sprachen für den Standort Jühnde: Von gro-
ßer Bedeutung dabei war der relativ hohe Anteil von Landwirten an der Dorfbevölke-
rung (9 Vollerwerbsbetriebe). Das Fehlen eines Erdgasnetzes, eine relativ hohe Ein-
wohnerzahl sowie eine gute Dorfgemeinschaft, die anhand der Anzahl der Vereine er-
mittelt wurde, machten den Standort zusätzlich attraktiv. Die Herausforderung bestand
darin, den Strom- und Wärmebedarf von 780 Einwohnern (140 Haushalte) auf Basis
von Biomasse zu sichern und sich dadurch von fossilen Energieträgern und überregio-
nalen Energieversorgern unabhängig zu machen. Das entscheidende war jedoch, dass
dabei das Einkommen der Landwirte im Zuge des Energiepflanzenbaus erhöht und die
Energiekosten pro Einwohner gesenkt werden sollten. Das Energiekonzept hatte ein In-
vestitionsvolumen von insgesamt 5,4 Mio. €. Dabei steuerte die Betreibergesellschaft
500.000 € Eigenkapital bei. Unterstützt wurde das Projekt mit 1,3 Mio. € von der FNR
sowie mit 200.000 € vom Land Niedersachsen. Der Rest von 3,4 Mio. € wurde durch
Kredite seitens einer Bank abgedeckt.

Das zentrale Element des Jühnder Energiekonzeptes bildet eine BGA, die mit einer in-
stallierten elektrischen Leistung des BHKW von 700 kW jährlich 5 Mio. kWh Strom –
und damit das Zweifache der benötigten Menge – erzeugt. Die bei der Stromproduktion
anfallende Wärme wird z. T. als Prozesswärme wieder dem Fermenter zugeführt, denn
der Gärprozess benötigt stabile Temperaturen im mesophilen Bereich (32-38°C). Der
größte Teil wird jedoch mittels des Wärmeträgermediums Wasser ausgekoppelt und
über ein Nahwärmenetz zu den umliegenden Wärmekunden transportiert. In Jühnde
sind immerhin 75 % der Haushalte an das Nahwärmenetz angeschlossen. Um grundlast-
fähig Energie erzeugen zu können, benötigt die BGA jährlich 9.000 m³ Gülle und
15.000 t FM Ganzpflanzensilage (z. B. Silomais, Triticale, Roggen, Phacelia, Grün-

land). Die Gülle fällt als Reststoff in den anliegenden landwirtschaftlichen Betrieben an und besitzt damit kaum Raumrelevanz. Flächenintensiv gestaltet sich jedoch der Energiepflanzenbau, denn hierzu ist eine landwirtschaftliche Nutzfläche von insgesamt 320 ha erforderlich. Neben der BGA gibt es noch zwei weitere, ergänzende Kraftwerke: Zur Deckung des Wärmebedarfes in den Wintermonaten bzw. zu Spitzenlastzeiten wurden zusätzlich ein Holzhackschnitzelheizwerk mit einer thermischen Leistung von 550 kW (1.000 SRM Holzhackschnitzel/ a) sowie ein Heizöl-Spitzenlastkessel mit einer thermischen Leistung von 1,6 MW errichtet (vgl. FNR 2004; FNR 2008 & BIOENERGIEDORF JÜHNDE 2010).

3.2.3 Kritik

Bedenkt man, dass allein in Jühnde pro Jahr 400.000 l Heizöl durch die energetische Verwertung von Biomasse eingespart werden, so lässt sich hinsichtlich der Realisierung von Energieautarkie durchaus von einem wegweisenden Projekt sprechen. BOSCH/ PEYKE (2010a, S. 12f.) weisen jedoch darauf hin, dass es äußerst riskant ist, sich lediglich auf *einen* Energieträger zu stützen. Gerade die Energiegewinnung mittels Biomasse befindet sich wie kein anderer Vertreter der EE in einem schwer überschaubaren Spannungsfeld zwischen ethisch-moralischen Ansprüchen und konkurrierenden Flächennutzungen. Steigende Preise für Nahrungsmittel, globale Hungersnöte, Degradierung von wertvollen Ökosystemen, Anbau von Monokulturen, steigende Grundstücks- und Pachtpreise sowie negative Klimabilanzen haben die Bioenergiebranche – seien die Vorwürfe nun gerechtfertigt oder nicht – oftmals in ein schlechtes Licht gerückt und so zu einem immensen Imageschaden beigetragen (HORBELT 2008, S. 16 & OZLEM 2008, S. 24).

Fatal ist auch, dass die Wirtschaftlichkeit von BGA in hohem Maße an die Preisentwicklungen auf den internationalen Agrarmärkten gebunden ist. Dies bekam die Branche 2008 deutlich zu spüren, als aufgrund steigender Preise für Agrarrohstoffe viele Anlagenbetreiber zur Insolvenz gezwungen wurden (PELLMEYER 2008, S. 3). Vor dem Hintergrund der Versorgungssicherheit erscheint es daher angebracht, ein Energiekonzept zu erarbeiten, dass auf den Beiträgen von mehreren Energiequellen beruht. Dieser Ansatz entspricht nicht nur den natürlichen Gegebenheiten, denn in nahezu jeder Gemeinde liegen Potenziale sowohl im Bereich Biomasse als auch im Bereich Windenergie, Solarenergie, Erdwärme und Wasserkraft vor. Vielmehr bietet er die Gelegenheit,

die Verringerung des Anteils eines Energieträgers – aufgrund wirtschaftlicher, gesellschaftlicher oder technologischer Veränderungen – durch die Anteilserhöhung eines Energieträgers, der möglicherweise von den Veränderungen profitiert, zu substituieren. Des Weiteren muss darüber nachgedacht werden, ob es angesichts variierender räumlicher Voraussetzungen zur Energieproduktion nicht angebracht ist, energiekonzeptionelle Überlegungen über die räumliche Ebene eines Dorfes hinaus anzustellen.

Neben Bioenergiedörfern bestehen auch Bemühungen, die Solarenergie im kommunalen Bereich stärker zu verankern. Auf Initiative der Solarthemen-Redaktion sowie der Deutschen Umwelthilfe wurde eine sog. Solar-Bundesliga ins Leben gerufen, im Rahmen derer die einzelnen Kommunen entsprechend ihrer installierten elektrischen sowie thermischen Leistung pro Kopf eingestuft werden (vgl. REDAKTION SOLARTHEMEN 2011). Ein derartiger Wettbewerb wirkt sich durchaus förderlich auf den Ausbau von EE aus, da sich viele Kommunen – wie bspw. die bundesweit erste Solarkommune Deutschlands Königsfeld – damit »brüsten«, dem Kreis der Solargemeinden anzugehören (vgl. SOLARKOMMUNE KÖNIGSFELD 2011). Jedoch ist angesichts eines derartigen Wettbewerbs keineswegs garantiert, dass der Ausbau der Technologien raumverträglich verläuft. Die vorliegende Arbeit formuliert diesbezüglich einen innovativen Ansatz.

3.3 Energiesystemoptimierungsmodelle

3.3.1 Agentenbasierter Ansatz

WITTMANN/ BRUCKNER (2007) beschränkten sich bei der Entwicklung ihres agentenbasierten Energiesystemmodells auf den urbanen Raum. Diesem Vorgehen liegt die Annahme zu Grunde, dass langfristig vor allem in dicht besiedelten Regionen mit einer räumlichen Diffusion von dezentralen Kraftwerken zu rechnen ist. BOSCH/ PEYKE (2010b) bezweifeln dies und plädieren für die Entwicklung eines ruralen Energiesystemoptimierungsmodells, denn gerade der für die EE so bedeutende Standortfaktor »Verfügbarkeit von qualitativ hochwertigen und günstigen Flächen« wertet den ländlichen Raum in seiner Bedeutung als Energielieferant gegenüber dem urbanen Raum deutlich auf. Zwar bieten Agglomerationsräume für gebäudeintegrierte Lösungen ein großes Standortpotenzial, das Rückgrat eines nachhaltigen Energiesystems wird jedoch der ländliche Raum bilden. Nur dort ist mit einem substantiellen Ausbau von flächenintensiven und leistungsstarken Wind- und Solarfarmen sowie Biomassekraftwerken zu rechnen.

Die herausragende Leistung von WITTMANN/ BRUCKNER (2007) besteht nach Ansicht von BOSCH/ PEYKE (2010b) darin, dass sie mittels ihres agentenbasierten Modells alle Treiber des Wandels – d. h. die dezentralen Technologien, die liberalisierten Märkte, die Klimapolitik und die Energieunternehmen – berücksichtigen. Sie betonen, dass die bisherigen Energiesystemmodelle immer nur Teilaspekte dieser Treiber miteinbezogen und daher erheblich an Aussagekraft verloren haben. Es ist ihnen gelungen, die sukzessive Entwicklung eines Energiesystems darzustellen, in dem die Interaktionen zwischen den autonomen Softwareagenten an zuvor definierten Schnittstellen mehrmals wiederholt wurden. Die erfolgreiche Implementierung des agentenbasierten Ansatzes in ein Computermodell ermöglichte die Erfassung des Entscheidungsverhaltens der relevanten Akteure aus Wirtschaft auch jenseits rein ökonomischen Handelns. Mittels einer soziologischen Clusterung wurden aus den stark voneinander abweichenden Verhaltensmustern Lebensstilklassen abgeleitet und so für die Modellberechnungen aufbereitet. Dadurch ist es gelungen, Entwicklungspfade im Energiebereich in Abhängigkeit von Unternehmensstrukturen, Erwartungen beteiligter Akteure und unterschiedlichen Strategien zu erkunden.

Dieses Tool lässt sich jedoch nur auf lokale Märkte anwenden, wenn es darum geht, die Entscheidungen eines Unternehmens in Anbetracht der gegebenen infrastrukturellen Ausstattung sowie der Kundenstruktur zu optimieren. Dieser Umstand schmälert keineswegs die herausragende Leistung von WITTMANN/ BRUCKNER (2007) – die mit ihrer Studie u. a. auf den Ergebnissen von VESELKA et al. (2002) aufbauen – ein Energieoptimierungsmodell geschaffen zu haben, das die entscheidenden Treiber des Wandels mit einbezieht.

3.3.2 Räumlich und zeitlich hoch aufgelöste Modelle

Nationale Energiesysteme lassen sich durch zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Modelle aufgrund der zu großen Datenmenge nur mit großem Aufwand abbilden. Ihr Vorteil besteht jedoch darin, einerseits den kostenoptimalen Einsatz der Energietechnologien bestimmen sowie andererseits mittels der Erstellung von Szenarien den Einfluss von politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen abbilden zu können (WITTMANN/ BRUCKNER 2007, S. 353f.).

Eine bedeutende computergestützte Methode aus dieser Sparte entsprang aus dem Forschungsprojekt TOP-Energy (vgl. AUGENSTEIN et al. 2004 & AUGENSTEIN et al. 2005). Ziel der beteiligten Wissenschaftler war es, ein einfach handhabbares Instrument zu entwickeln, mit dessen Hilfe verschiedene Arten industrieller Energiesysteme – im Speziellen die Energieversorgungstechnik – analysiert, bewertet und in der Folge optimiert werden können. Mittels TOP-Energy wurde ein Bewertungstool für Energieberater geschaffen, das mittels einer zügigen Datenerfassung und -auswertung sowie deren Präsentation rechenintensive Routinearbeiten erleichtern sollte. Dieses Modell basiert auf mehreren Modulen (plug-in modules), wie bspw. *eNtry*, *eConomy* und *eSim*, die durch einen Framework miteinander in Verbindung stehen. Dabei ist *eSim* das entscheidende Modul, mit dessen Hilfe Energieversorgungssysteme simuliert werden können, die zuvor mittels des Flusschemaeditors erstellt wurden.

Von Bedeutung ist, dass innerhalb des Modells zwischen zwei Bilanzräumen unterschieden wird. Dabei beinhaltet der Bilanzraum Energieversorgungssystem zum einen den Bezug von Endenergie, zum anderen deren Konversion, Aufbereitung (z. B. Dampf, Strom), Transport und Übergabe an den zweiten Bilanzraum – dem Bilanzraum Energienutzung. Hier werden sämtlichen Prozesse eines Industriebetriebes erfasst, in deren Rahmen die vom ersten Bilanzraum zur Verfügung gestellte Energie in Form einer innerbetrieblichen Energiedienstleistung (z. B. Produktionsanlagen) zur Verfügung gestellt wird. Mittels des Erstanalysemoduls *eNtry* wird der Energieeinsatz anhand statistischer Daten (z. B. Statistisches Bundesamt, Erfahrungswerte aus anderen Unternehmen) zu Energiekosten- und -effizienz bewertet.

Zentraler Bestandteil des Simulationsmoduls *eSim* ist ein Fundus sämtlicher energietechnischer Komponenten und der dazugehörigen, komponentenbezogenen Parameterdatensätze sowie eine Systemstrukturbeschreibung. In Abhängigkeit von Variationen im Energieverbrauch im Rahmen der innerbetrieblichen Energiedienstleistungen können so die entscheidenden energiewirtschaftlichen und -technischen sowie ökonomischen Kennzahlen – i. d. R. über einen Zeitraum von einem Jahr – simuliert werden. Die Nutzung des Ökonomiemoduls *eConomy* ermöglicht schließlich einen ökonomischen Vergleich verschiedener Energieversorgungskonzepte. Weitere Ergebnisse zur Thematik räumlich und zeitlich hoch aufgelöster Energiesystemmodelle liefern GROSCURTH et al.

(1995), BRUCKNER et al. (1997), STOCK/ MERTSCH (1997), BRUCKNER et al. (2003) und SCHEIDT et al. (2004).

3.3.3 Intertemporale Modelle

Der Nachteil intertemporaler, weniger hoch auflösender Energiesystemoptimierungsmodelle liegt nach WITTMANN/ BRUCKNER (2007, S. 354) in der Abweichung von den Bedingungen eines deregulierten Marktes, innerhalb dessen der Ausbau nicht nur von *einem* sondern von mehreren Entscheidungsträgern, mit jeweils unvollständiger Information, gestaltet wird. Vorteilhaft ist, dass diese Modelle eine langfristige Kostenoptimierung von Energiesystemen vor dem Hintergrund sich verändernder Rahmenbedingungen politischer, technischer und preislicher Art ermöglichen.

Im Folgenden wird diesbezüglich ein Überblick gegeben: Im Rahmen der Initiative »Energy Technology Systems Analysis Programs« der IEA wurde das Energiesystemmodell MARKAL entwickelt, mit dessen Hilfe umwelt-, versorgungs- und kostenoptimale Energiesysteme von der lokalen, über die regionale bis hin zur nationalen Ebene dargestellt werden können (vgl. FISHBONE/ ABILOCK 1981; FISHBONE et al. 1983 & SEEBREGTS et al. 2002). Dabei handelt es sich um ein dynamisches Modell mit einer Einteilung des Stützjahres in sechs Zeitabschnitte. Die begrenzte unterjährige Auflösung ist zugleich ein bedeutender Nachteil des Modells. Darüber hinaus liefert es keine Unterscheidung hinsichtlich der ökonomischen und technischen Lebensdauer von Kraftwerken (vgl. REMME 2006).

Ziel des wiederum rein technisch-ökonomischen EFOM-Modells war es, die Energiesysteme der Mitgliedländer der Europäischen Gemeinschaft abzubilden (vgl. VAN DER VOORT 1985). Auch hier schränkt die begrenzte unterjährige Auflösung mit nur vier Zeitabschnitten die Aussagekraft erheblich ein. Des Weiteren werden die Bauzeiten von Technologien sowie die an die Bauzeit gebundenen Technologiedaten nicht erfasst (vgl. REMME 2006). In den 1990'er Jahren wurde schließlich das Modell PRIMES entwickelt, um das Energiesystem der EU-Staaten noch exakter erfassen zu können (vgl. EC 1995; EC 1999; EC 2003 & CAPROS et al. 1998). MESSNER/ STRUBEGGER (1995 & 1996) ermöglichten mittels des Energiesystemmodells MESSAGE eine Minimierung der Energiekosten von Kommunen über einen längeren Zeitraum hinweg. MESSAGE wurde im

Übrigen auch zur Darstellung des deutschen Energiesystems (vgl. GERKING 1989) sowie eines globalen Modells (vgl. NAKICENOVIC/ RIAHI 2002) herangezogen.

Die Nachteile der oben beschriebenen Energiesystemmodelle veranlasste die IEA (1999 & 2002) zu einer Weiterentwicklung von MARKAL und EFOM. Dabei entstand das dynamische Optimierungsmodell TIMES. Auch TIMES lässt sich auf unterschiedlichen Maßstabsebenen – von der regionalen (vgl. FAHL et al. 2000) bis hin zur nationalen Ebene (vgl. FAHL et al. 2002 & FAHL et al. 2010) – anwenden und macht eine Unterscheidung zwischen den Energiesektoren möglich. Prinzipiell stellt das Modell eine Verbindung zwischen der Primärenergiebereitstellung (z. B. Steinkohleressourcen, Ölressourcen, Energiepflanzen), dem Umwandlungssektor (z. B. Steinkohle-Kraftwerk, Raffinerie, Biomasse-Heizkraftwerk) und den Endenergiesektoren (z. B. elektrischer Durchlauferhitzer, Ölheizung, Fernwärmenetz) dar. Dabei werden jedoch nicht nur Technologien abgebildet, die in der Realität bereits vorhanden sind. Vielmehr berücksichtigt das Modell weitere Technologien, um deren Potenzial und Integrationsfähigkeit zu ermitteln.

Die Größe des zu betrachtenden Untersuchungsraumes kann dabei variiert werden, da der Handel zwischen Regionen gut mittels interregionaler Austauschprozesse darstellbar ist. Darüber hinaus lassen sich Stoffströme außerhalb des zu betrachtenden Gebietes in Form von Import- und Exportflüssen gut erfassen. Auch die zeitliche Betrachtungsebene des Modells lässt sich – von einem Jahr bis hin zu mehreren Jahrzehnten – flexibel gestalten. Dabei beträgt die unterjährige Auflösung nicht 6 bzw. 4 Zeitsegmente, wie bei MARKAL bzw. EFOM, sondern lässt sich von der Ebene »jährlich«, über »saisonal« und »wöchentlich« bis hin zu »täglich« beliebig wählen. Interessant ist auch die Tatsache, dass sich die sukzessive Verbesserung von technischen Eigenschaften (z. B. Erhöhung des Wirkungsgrades) bei TIMES lediglich auf die zugebauten und nicht – wie bei früheren Energiesystemoptimierungsmodellen – auf alle Kraftwerkskapazitäten niederschlägt. Die technologischen Eigenschaften werden hierbei einer Zubauperiode zugeordnet und bleiben anschließend über ihre Lebensdauer hinweg konstant (vgl. REMME et al. 2002 & REMME 2006).

SCHARDINGER et al. (2010) zeigen – aufbauend auf den Ergebnissen von BIBERACHER (2007) – am Beispiel der Gemeinde St. Roman (Oberösterreich) auf, welche Vorteile in

einer Kombination des kostenbasierten Modellgenerators TIMES mit GIS-Analysen, speziell im Bereich Bioenergie, bestehen. Die Studie offenbart, dass es aufgrund der z. T. erheblichen regionalen Variationen im Bereich »Wärmenachfrage« und »verfügbare Biomassepotenziale« räumlicher Ansätze bei der Optimierung von Energiesystemen bedarf. Der regionale Wärmebedarf wurde hierbei anhand der Adressdaten sowie des Alters der im Untersuchungsraum befindlichen Gebäude festgelegt (Bauregister). Für jedes Gebäude wurde dabei – entsprechend der Bauperiode, der es zuzuordnen ist – ein gebäudetypischer Wärmebedarf ermittelt. Demgegenüber erfolgte die Abschätzung von Biomassepotenzialen anhand der Integration von Ertragsmesszahlen zu land- und forstwirtschaftlichen Flächen aus der DKM. Dabei wurden unterschiedliche Fruchtfolgen berücksichtigt. Kritikwürdig ist, dass die Mobilität innerhalb der Szenarien vernachlässigt wurde. Dennoch handelt es sich um ein wegweisendes Projekt, da der hohen Raumrelevanz eines regenerativen Energiesystems Rechnung getragen und dadurch die Aussagekraft erheblich gesteigert wird.

3.3.4 Energieträgerorientierte Modelle

Energiesystemoptimierungsmodelle entspringen auch aus der Betrachtung eines konkreten Energieträgers. Erwähnenswert ist hierbei das von FRITSCHKE et al. (2004) entwickelte Modell HEKTOR, das eine zeitlich dynamische Quantifizierung von Bioenergiepotenzialen in der deutschen Land-, Forst- und Abfallwirtschaft bis zum Jahr 2030 ermöglichte. Prinzipiell lassen sich mittels HEKTOR diejenigen Flächen ermitteln, die langfristig unter bestimmten, vorgegebenen Rahmenbedingungen für den Anbau von Energiebiomasse zur Verfügung stehen. Im Besonderen liegt dabei der Fokus auf der Ermittlung von Nutzungskonkurrenzen im Bereich landwirtschaftlicher Flächen.

Entscheidend ist, dass der Produktion von Nahrungsmitteln bei sämtlichen Potenzialberechnungen die höchste Priorität eingeräumt wird. Daraus folgt, dass allein auf den Flächen, die nicht zur Deckung des Nahrungsbedarfes benötigt werden und auf denen keinerlei gesellschaftliche Ansprüche bestehen (z. B. Siedlungs- und Verkehrsausbau, Naturschutz), eine Ausweitung des Energiepflanzenbaus in Frage kommt. Hierzu ermittelt HEKTOR zu definierten Stützzeitpunkten (z. B. Fünfjahresschritte) den regionalen Bedarf an tierischen und pflanzlichen Nahrungsmitteln in Abhängigkeit von der Bevölkerungsentwicklung, des Pro-Kopf-Verbrauchs, den steigenden Flächenerträgen sowie der Dynamik internationaler Handelsströme (Selbstversorgungsquote) und projiziert diesen

in die Fläche. Aus dem Flächenbedarf für die Nahrungsmittelproduktion lässt sich jedoch nicht nur das Flächenpotenzial für die Energiepflanzen ermitteln, sondern darüber hinaus schlussfolgern, welche Menge an Reststoffen, wie bspw. Erntereste (z. B. Rapsstroh, Kartoffelkraut, Rübenblatt) oder Exkreme (z. B. Gülle, Festmist), energetisch verwertet werden können.

HEKTOR stellt eine Verknüpfung von Excel-Dateien dar und offeriert eine anwenderfreundliche Dateneingabemaske, innerhalb derer alternative Entwicklungspfade durch Variation von Parametern (z. B. Produktionssysteme in der Tierhaltung) abgebildet und so in ihrer räumliche Relevanz begriffen werden können. Des Weiteren ist an der Arbeit von FRITSCHÉ et al. (2004) herausragend, dass sie statische Potenzialermittlungen durch eine dynamische – und damit aussagekräftigere – Betrachtung von Stoffströmen ablöst (vgl. BOSCH 2010a). Bedeutsam ist auch die Erkenntnis, dass eine an Nachhaltigkeitskriterien ausgerichtete Nutzung von Energiebiomasse nicht nur mit den Interessen von Umwelt- und Naturschutz kongruent ist, sondern sich darüber hinaus auch Synergieeffekte (z. B. energetische Nutzung von Landschaftspflegematerial) ergeben.

Dennoch wird bei der Betrachtung des Nachhaltigkeitsszenarios (NH) deutlich, dass dem Anbau von Energiebiomasse aufgrund einer Ausdehnung der extensiven Landwirtschaft sowie einer stärkeren Ausweisung von Naturschutzgebieten deutlich engere Grenzen als beim Referenzszenario (REF) gesetzt werden. Des Weiteren werden die durch den sukzessiven Ertragszuwachs frei werdenden Flächen durch eine stärkere Diffusion des ökologischen Landbaus wieder besetzt. Beim Reststoffpotenzial ergeben sich keine nennenswerten Unterschiede, jedoch wird im Referenzszenario hinsichtlich des Flächenpotenzials für den Anbau von Energiebiomasse bis zum Jahr 2030 von 3,3 Mio. ha, im Nachhaltigkeitsszenario von 2 Mio. ha ausgegangen.

SIMON (2007), die sich in ihrer Studie ebenfalls des Modells HEKTOR bedient hat, weist gleichermaßen darauf hin, dass bei der Erstellung von Szenarien in erster Linie Unterschiede im Bereich Anbaubiomasse festzustellen sind. Die Reststoffpotenziale bleiben nahezu konstant. Je nach Ausbaustrategie werden die Biomassepotenziale in Deutschland bis zum Jahr 2030 mit einer Schwankungsbreite von 16 % zwischen 665 und 770 PJ/a liegen. Weitere Biomassepotenzialmodelle entspringen aus den Arbeiten

von YAMAMOTO et al. (1998 & 2001), FISCHER/ SCHRATTENHOLZER (2001), WOLF et al. (2002) und HOOGWIJK et al. (2003).

Bemerkenswert ist, dass speziell bei Berechnungen zu den globalen Energiepflanzen- und Reststoffpotenzialen erhebliche Unterschiede sowohl zwischen als auch innerhalb der Studien festzustellen sind. Allein HOOGWIJK et al. (2003) rechnen für das Jahr 2050 – in Abhängigkeit von Rahmenbedingungen wie bspw. Bevölkerungsentwicklung, Produktionssystemen im Ernährungsbereich, Ertragssteigerungen – mit einem landwirtschaftlichen Biomassepotenzial zwischen 27 und 1.155 EJ/ a. Diese große Schwankungsbreite im Bereich der potenziellen Bioenergiebereitstellung verdeutlicht, dass aus Gründen der Versorgungssicherheit ein regeneratives Energiesystem auf dem Beitrag mehrerer Energieträger – Wind, Wasser, Sonne, Erdwärme und eben auch Biomasse – basieren muss. Allein dadurch lassen sich unvorhersehbare, strukturelle Veränderungen technologischer, gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Art ausgleichen. Eine besondere Bedeutung kommt der Biomasse jedoch deswegen zu, da sie eine grundlastfähige Energiebereitstellung ermöglicht (vgl. BOSCH/ PEYKE 2010a). Dadurch ist es möglich, die intermittierende Energiebereitstellung seitens der Solar- und Windenergie zu stützen. Dies verdeutlicht, dass es im Hinblick auf eine störungsfreie Energieversorgung notwendig ist, auf Szenarien zu den langfristigen Beiträgen der Bioenergie zurückzugreifen.

KÖNIG (2009) geht diesbezüglich davon aus, dass mittels des deutschen Biomassepotenzials langfristig maximal 11,1 % des Endenergie- bzw. 14 % des Primärenergieverbrauches gedeckt werden können. Unter Fortschreibung aktueller energiepolitischer Entwicklungen beträgt im Jahr 2030 die Endenergieproduktion aus Biomasse 840 PJ/ a (8,6 % des EEV) und die Primärenergieproduktion 1.350 PJ/ a (10 % des PEV). Dabei wird die Bedeutung von Biokraftstoffen sukzessive zunehmen, wobei mit einer allmählichen Substitution der Biokraftstoffe RME und Bioethanol durch BtL und SNG aus Biogas zu rechnen ist. Im Szenario BAU+THG, innerhalb dessen bis 2030 eine starke Verringerung von Treibhausgasemissionen vorgegeben ist, beträgt die Endenergiebereitstellung aus Biomasse 1.000 PJ/ a (10,3 % des EEV) und die Primärenergiebereitstellung 1.170 PJ/ a (13,9 % des PEV). Charakteristisch an diesem Szenario ist der zunehmende Beitrag aus der KWK. Im letzten Szenario BIW+THG, das weitere klimapo-

litische Zielsetzungen integriert, kommt die Endenergiebereitstellung auf 1.079 PJ/ a (11,1 % des EEV) und die Primärenergiebereitstellung auf 1.727 PJ/ a (14 % des PEV).

3.4 GIS-gestützte Energiekonzepte

3.4.1 Allgemein

In den Arbeiten von BOSCH/ PEYKE (2009), BOSCH/ PEYKE (2011a) und BOSCH (2011) wird für einen verstärkten Einsatz von Geographischen Informationssystemen im Energiebereich plädiert, um dem hohen Raumbezug (vgl. BRÜHNE 2010) bei der Erarbeitung und Umsetzung von Energiekonzepten überhaupt gerecht werden zu können. Der flächenintensive Ausbau von EE, der notwendige Ausgleich mit konkurrierenden Flächennutzungen (z. B. Naturschutz, Siedlungen, Militär, Verkehr, Erholung) sowie die Identifizierung von geeigneten Standorten zur Speicherung von Regenerativstrom (vgl. BOSCH/ PEYKE 2010a) verlangen geradezu nach GIS-gestützten Lösungsansätzen, da diese eine optimale Verknüpfung der zahlreich anfallenden Geo- und Sachdaten ermöglichen. Die raumbezogenen Daten werden dabei „[...] *digital erfasst und redigiert, gespeichert und reorganisiert, modelliert und analysiert sowie alphanumerisch und graphisch präsentiert* [...]“ (BILL 1999, S. 4).

3.4.2 Biomasse

BOSCH/ PEYKE (2008) setzten GIS bspw. zur Ermittlung von Standorten mit optimalen Anbaubedingungen für die Energiepflanze Silomais ein. Anhand der Parameter Temperatur, Sonnenscheindauer, Niederschlag und Boden zeigten die Wissenschaftler auf, welche Standorte hervorragende meteorologische Bedingungen für den Silomaisanbau liefern. Die höchste Anbaueignung ließ sich im süddeutschen Raum feststellen. Vor allem südlich der Donau – speziell im Dunaue, nicht zuletzt aufgrund der fruchtbaren Parabraunerden (Löss) – sind die Bedingungen äußerst günstig. Der Ausschluss von weiten Teilen des mittleren Westens und Nordwestdeutschlands ist in erster Linie auf eine zu geringe Anzahl an Sonnenstunden zurückzuführen. Die Ausklammerung Ostdeutschlands hingegen erklärt sich durch das eher kontinental geprägte Klima und den damit einhergehenden Mangel an Feuchtigkeit. Aus agronomischer Sicht handelt es sich nach BOSCH/ PEYKE (2008) hierbei um ein Trockengebiet.

Im Anschluss an die Analyse der meteorologischen und bodenkundlichen Daten wurden die Hektarerträge auf Kreisebene als Vergleichsbasis herangezogen. Erstaunlicherweise

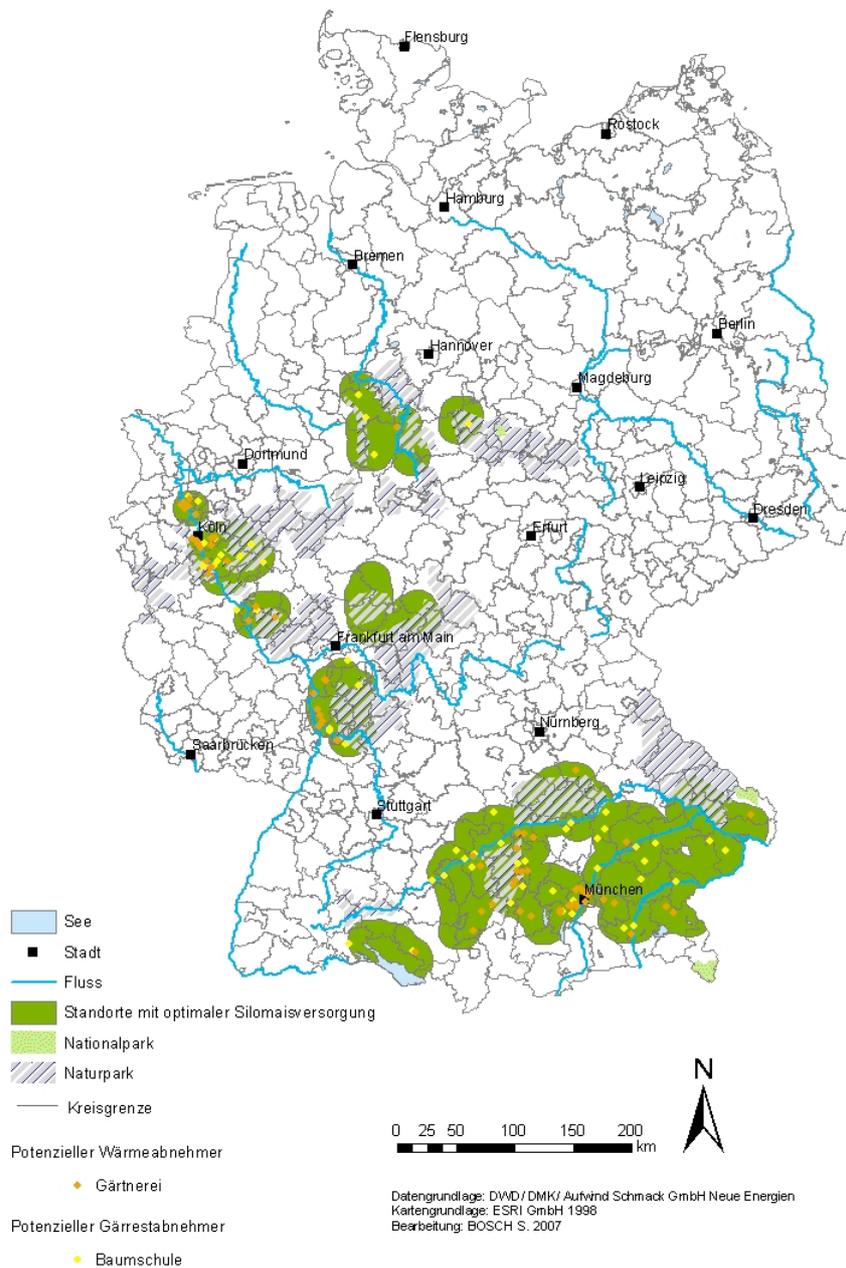
offenbarten sich erhebliche Diskrepanzen im Bereich von NRW und Hessen: Trotz einer unterdurchschnittlichen Sonnenscheindauer werden in diesen Regionen mitunter die höchsten Hektarerträge erzielt. Daraus wurde gefolgert, dass die einzelnen natürlichen Standortfaktoren einen unterschiedlich großen Einfluss auf das Pflanzenwachstum haben und aus diesem Grund nach einer differenzierenden Gewichtung verlangen. Als entscheidender natürlicher Standortfaktor für den Anbau von Silomais wurde dabei die Niederschlagsmenge identifiziert. Im Zuge einer erneuten Ermittlung von optimalen Anbaugebieten (mit Gewichtung) wurden die Auswahlflächen mit Standorten von geeigneten Wärmeabnehmern (Gärtnereien mit mehr als zehn Mitarbeitern) verschnitten (vgl. Abb. 11). Ziel war es, Standorte aufzuzeigen, die einen ganzjährigen, gleichmäßigen und hohen Wärmeverkauf ermöglichen. Wärmekonzepte stellen für die Wirtschaftlichkeit von BGA, speziell vor dem Hintergrund steigender Gärsubstratpreise, einen bedeutenden Standortfaktor dar.

Betrachtet man die Häufigkeit des Einsatzes von GIS im Bereich EE, so fällt auf, dass der Bereich Biomasse stark herausragt. Dies liegt in erster Linie daran, dass eine Standortanalyse für BGA jene für Solar- und Windenergieanlagen an Komplexität weit übersteigt und GIS hierbei langwierige Standortentscheidungsprozesse deutlich beschleunigen und somit monetäre Ressourcen einsparen kann (vgl. PLATA 2008, S. 141). SCHARDINGER (2008, S. 493), die eine Standortanalyse für BGA für das österreichische Bundesland Tirol durchgeführt hat, spricht in diesem Zusammenhang von der „*große[n] Heterogenität der Standortfaktoren*“. Bei BGA kommt es eben nicht nur darauf an, einen geeigneten Standort für das Kraftwerk zu identifizieren. Vielmehr müssen darüber hinaus ertragreiche Anbauflächen, kurze Transportdistanzen und eine ausreichende Anzahl an Wärmeabnehmern ermittelt werden. STARICK et al. (2011, S. 368) weisen darauf hin, dass im Bereich Bioenergie jedes Element der Produktionskette – bspw. Anbau, Transport und Verarbeitung – in hohem Maße raumwirksam ist.

In dem vom BMBF geförderten Projekt »Biogaseinspeisung« mussten zusätzlich die Möglichkeiten der Einspeisung von Biomethan ins Erdgasnetz in die GIS-Analyse miteinbezogen werden. In erster Linie ging es darum, den gesamten Nutzungspfad – d. h. vom Anbau, Transport und Lagerung der Energiepflanzen, über die Erzeugung des Biogases, seiner Aufbereitung und Einspeisung bis hin zur Verteilung über das Erdgasnetz – zu optimieren. Mittels der räumlichen Betrachtung sollten Möglichkeiten aufgezeigt

werden, die einzelnen, oftmals isoliert voneinander betrachteten Teilschritte besser zu vernetzen. Die GIS-Analyse wurde dabei in eine Standortrestriktionsanalyse und eine Biomassepotenzialermittlung aufgeteilt und beschränkte sich angesichts der großen Datennmenge auf die Modellregionen Niederrhein und Altmark (vgl. URBAN et al. 2007a; URBAN et al. 2007b; URBAN 2007; JANDEWERTH et al. 2008a; JANDEWERTH et al. 2008b & JANDEWERTH/ DRESEN 2009). BOSCH (2010a, S. 10) weist darauf hin, dass die herausragende Leistung des Projektes darin besteht, die gesamte Biomassenutzungsroute zu betrachten.

Abbildung 11: GIS-gestützte Standortanalyse für BGA in Deutschland (Stand 2006)



Quelle: BOSCH 2007, S. 95.

3.4.3 Windenergie

Der Vorteil bei GIS-gestützten Standortanalysen für WKA besteht darin, dass in den Regionalplänen sämtliche Restriktionsflächen, ausschussfreie Gebiete sowie Vorranggebiete – ganz im Gegensatz zu allen anderen EE – bereits ausgewiesen sind. BRÜCHER (2008, S. 8ff.) zeigt am Beispiel der Planungsregion Westpfalz (3.085 km²) eindrucksvoll, dass der Windenergie seitens der Raumordnung nur wenige Flächen zugestanden werden. Lediglich 0,3 % der Fläche – das entspricht ca. 929 ha – stehen als Vorranggebiete zur Verfügung. Ein Großteil der Westpfalz wird von gemeinschaftsrechtlichen, fachrechtlichen und raumordnungsrechtlichen Festlegungen sowie Siedlungen und Abstandflächen beansprucht. Eine Fokussierung der Windbranche auf den Offshore-Bereich erscheint angesichts dieser Einschränkungen angebracht, jedoch veranschaulichen BOSCH/ PEYKE (2009, S. 45f.) anhand der raumordnungsrechtlichen Vorgaben innerhalb der AWZ, dass selbst auf hoher See mit einem dichten Netz an konkurrierenden Flächennutzungsinteressen zu rechnen ist. Es gilt daher, sowohl den schmalen räumlichen Korridor an Land als auch jenen im Meeresbereich optimal zu nutzen.

Ein erfolgreicher Ausbau der Windenergie hängt auch von der Fähigkeit ab, die überregional sichtbaren WKA möglichst rücksichtsvoll ins Landschaftsbild zu integrieren und bei der Ausweisung von Eignungsgebieten die spezifische Eigenart eines Raumes zu berücksichtigen. Zahlreiche Studien beziehen derartige Überlegungen in keiner Weise mit ein und kommen folglich zu völlig unrealistischen Ausbaupotenzialen. Beispielhaft hierfür steht die Iwes-Studie, in der für die Onshore-Windenergie ein theoretisches Flächenpotenzial von acht Prozent der deutschen Landesfläche ermittelt wurde (vgl. ZIMMERMANN 2011a). Ein derartiger Ausbau erscheint überdimensioniert und wäre gesellschaftlich wohl kaum durchzusetzen. Nicht zuletzt wird im Rahmen der Studie nicht einmal auf Schutzgebiete Rücksicht genommen. Ein derartiges Vorgehen muss als unsensibel bezeichnet werden und sollte nicht als Planungsgrundlage für den Ausbau der Windenergie dienen.

Bedeutender ist in diesem Zusammenhang die Arbeit von KNIES (2010). In der Studie wurden die Grenzen und Möglichkeiten von Sichtbarkeitsanalysen am Beispiel von Windkraftplanungen in Schottland erörtert. Dabei wird betont, dass der Eingriff ins Landschaftsbild nicht allein von der Qualität und Verletzlichkeit des Landschaftsausschnittes, sondern auch von der Reliefsituation und der Größe der WKA – im konkreten

Fall max. 125 m – abhängt. Durch Verwendung eines DGM sowie anhand der Berücksichtigung von Erdkrümmung und Lichtbrechung wurde eine theoretische Sichtbarkeit der Windenergieanlagen errechnet (Umkreis 35 u. 60 km). Die Höhe des Beobachters wurde dabei auf zwei Meter festgelegt, die Landbedeckung in Form von Gebäuden und Wäldern vernachlässigt. Als Viewpoints, von denen aus der Betrachter in Richtung der WKA blickt, wurden touristisch bedeutsame Einrichtungen und Räume sowie attraktive Wanderwege und Ortschaften ausgewählt. Um die visuelle Beeinträchtigung der Anlagen exakt erfassen zu können, wurden 3D-Ansichten – ausgehend von den Viewpoints – erstellt. KNIES (2010, S. 521f.) kritisiert, dass sich die 3D-Symbole von ArcGIS hinsichtlich ihrer Position nicht beliebig steuern lassen und das Ausweichen auf eine andere Software (3D-Studio Max) erfordern.

PETERS/ GRAUMANN (2005) und PETERS et al. (2009) entwickelten eine GIS-gestützte Methodik, deren Zweck darin besteht, Landschaftsräume und Landschaftselemente der Region Uckermark-Barnim, wie bspw. Alleen, historische Parkanlagen sowie Wind- und Wassermühlen, die aus kulturhistorischer Sicht bedeutsam sind, zu ermitteln und durch Pufferzonen gegenüber einem forcierten, landschaftsprägenden Ausbau der Windenergie abzusichern. Problematisch an diesem Ansatz ist, dass angesichts der großen Anzahl an schützenswerten kulturlandschaftlichen Räumen und Elementen nur wenige Flächen übrig bleiben, die sich durch eine geringe Empfindlichkeit gegenüber dem Ausbau der Windenergie auszeichnen. Eine rasche Energiewende erscheint unter derart starken räumlichen Restriktionen, zumindest innerhalb ländlicher Regionen, kaum möglich. Umso bedeutender ist es, auch auf die Energiepotenziale urbaner Räume einzugehen.

3.4.4 Solarenergie

KAPFENBERGER-POCK (2010) hat in ausführlicher Weise dargestellt, wie sich mit Hilfe von GIS das Standortpotenzial der Grazer Dachlandschaften für thermische Solaranlagen in all seiner inneren, kleinräumigen Differenzierung ermitteln lässt. Von zentraler Bedeutung dabei ist das aus dem digitalen Bildflug 2007 hervorgegangene DOM, mit einer Höhengenaugigkeit von ± 15 cm und einer Rasterweite von 20×20 cm. Im Unterschied zum DGM ermöglicht das DOM nicht nur die Erfassung der »rohen« Geländehöhe, vielmehr lassen sich damit auf der Geländeoberfläche befindliche natürliche (z. B. Vegetation) und künstliche Objekte (z. B. Bauwerke) – sogar Schornsteine und Gauben

– erfassen. Problematisch ist, dass mittels der konventionellen Orthophotos die Gebäude gekippt erscheinen. Durch die Verwendung von »True Orthophotos« lässt sich die verzerrte Draufsicht von 3D-Objekten korrigieren und lagegetreu mit weiteren Geodaten kombinieren. In einem weiteren Schritt fließen die photogrammetrisch festgehaltenen Dachflächen in die GIS-Analyse mit ein, mit dessen Hilfe sich Größe, Ausrichtung, Verschattung und Neigung der Dächer bestimmen lassen. KAPFENBERGER-POCK (2010) kommt zu dem Ergebnis, dass – unter Ausschluss von denkmalgeschützten Gebäuden – von den 14 Mio. m² Dachfläche rund 40 % für solarthermische Anlagen geeignet sind. Würde man dieses Potenzial vollständig in Wert setzen, könnte der Warmwasser- und Heizungsbedarf der Stadt Graz (2.000 GWh) gedeckt werden.

GIS wird in den meisten Fällen zur Berechnung von Standortpotenzialen herangezogen, doch BOSCH/ PEYKE (2009, S. 45) weisen darauf hin, dass GIS speziell im Bereich Visualisierung ein hervorragender Mittler zwischen Experten und Laien sein kann. Eine wegweisende Arbeit hierzu liefert ZINK (2010), der die Auswirkungen der Einbindung von GIS in einen Planungsprozess auf kommunaler Ebene darstellt. Am Beispiel der Errichtung einer 10 ha großen PV-Freiflächenanlage in der Gemeinde Stephansposching (Ldk. Deggendorf) wurde mittels GIS eindrucksvoll visualisiert, inwieweit Variationen im Kriterienkatalog eines Standortentscheidungsprozesses zu unterschiedlichen Standortmustern führen können. Bei der GIS-Analyse wurden dabei drei Szenarien untersucht: Im ersten Fall wurde die PV-Anlage an eine Siedlungseinheit angebunden. Hierbei war eine Aufteilung der Anlage auf mehrere Siedlungskörper erforderlich, da das Ausmaß einer PV-Anlage jenes der angrenzenden Siedlung nicht wesentlich überschreiten darf. Im zweiten Fall wurde der Fokus auf vorbelastete Standorte wie bspw. Gewerbebetriebe und Abbauflächen von Rohstoffen gelegt, um der Anwohnerproblematik – wie es sich im Fall 1 ergab – auszuweichen. Um der Beeinträchtigung öffentlicher Belange gänzlich Vorschub zu leisten, wurde im dritten Fall ein Mindestabstand von 500 m zur Siedlung eingehalten und die Orientierung an großen Straßen und Bahnlinien vorgegeben. Als Ergebnis konnte festgehalten werden, dass die räumlichen Muster der jeweiligen Standortanalysen stark voneinander abweichen. GIS-Analysen sind folglich bestens dazu geeignet, kommunale Entscheidungsprozesse zu begleiten, da sie die räumlichen Auswirkungen unterschiedlicher Konzepte erfassen helfen. Wegweisend in diesem Zusammenhang ist auch die Arbeit von KALLMÜNZER (2006), die – im Sinne ei-

nes Leitfadens – eine GIS-gestützte Standortanalyse für PV-Freiflächenanlagen am Beispiel der Gemeinde Kirchweidach (Ldk. Altötting) durchgeführt hat.

3.5 Fazit zum Forschungsstand

Eines offenbart der Stand der Forschung deutlich: Es gibt bis dato kein Energiekonzept, das sich sowohl mit mehreren Energieträgern als auch mit der Frage nach der Raumrelevanz eines regenerativen Energiesystems auseinandersetzt. Die historischen Energiekonzepte stellen stets den Versuch dar, mittels einer einzigen Technologie sämtliche Energieversorgungsengpässe zu beseitigen. Raumverträgliche Ansätze fehlen hier gänzlich. Auch beim Konzept der Energiedörfer rücken oftmals Technologien in den Fokus, deren langfristige Konkurrenzfähigkeit keineswegs als gesichert erscheint. Die Energiesystemoptimierungsmodelle lassen wiederum eine regionale Differenzierung von Energiepotenzialen vermissen.

Die GIS-gestützten Konzepte werden zwar dem hohen Raumbezug gerecht, jedoch sind die bisherigen Ansätze stark auf einen Energieträger fixiert. Entsprechend der Variation von regionalen Standortpotenzialen bedarf es jedoch auch einer Kombination verschiedener Technologierouten, die entsprechend der spezifischen Standortpotenziale spezifische Standortvorteile aufweisen. Darüber hinaus ist aufgrund der großen Dynamik im Bereich des technologischen Fortschrittes eine Betrachtung aller erneuerbaren Quellen notwendig. Technologien, die heute noch einen Wettbewerbs- und damit einen Standortnachteil haben, können im Zuge von FuE eine raumrelevante Aufwertung erfahren. Um allen diesen Forderungen gerecht zu werden, bedarf es folglich eines neuen, innovativen Ansatzes. Hierzu will die vorliegende Arbeit einen grundlegenden Beitrag leisten.

4 Einfluss der Ressource Raum auf die Förderstruktur

Im folgenden Abschnitt wird entsprechend der in Kapitel 1.3 formulierten Fragestellung 1 untersucht, inwieweit die Ressource Raum bei den bisherigen Konzepten zum Ausbau von EE berücksichtigt wird. Der Fokus wird dabei auf die Energiestrategien von EU und Bundesregierung gerichtet, da seitens dieser politischen Ebenen die entscheidenden Impulse zum Ausbau von EE gesetzt werden.

Von besonderem Interesse ist, ob und in welcher Form Ziele näher definiert werden, denn möglicherweise basieren etwaige Vorgaben auf dem Fundament einer umfassenden Kenntnis lokaler, regionaler und/ oder nationaler Energiepotenziale. Anschließend gilt es in Erfahrung zu bringen, mit welchen Maßnahmen und Instrumenten die EU und die Bundesregierung gedenken, die erwiesenen bzw. vermuteten Energiepotenziale auszuschöpfen. Dabei wird im Besonderen das Augenmerk auf die Fragestellung gelegt, inwieweit raumkonzeptionelle Belange bei der Formulierung von Richtlinien mit berücksichtigt wurden bzw. in welchem Maße die formulierten Richtlinien raumwirksam sind. Nach dieser Analyse wird sich zeigen, ob es sich bei den Strategien von EU und Bundesregierung zum Ausbau von EE um ausgeklügelte, raumverträgliche Energiekonzepte handelt, die sich an regionalen Standortpotenzialen orientieren. Werden im Rahmen der Analyse defizitäre Strukturen aufgedeckt, so sollen weitergehende, konzeptionelle Überlegungen die Grundlage für eine Optimierung bilden.

4.1 Räumliche Dimensionen europäischer Energiepolitik

4.1.1 Richtlinie als Instrument

Das EU-Parlament ist der Ansicht, dass die Ziele beim Ausbau von EE allein auf Gemeinschaftsebene realisiert werden können. Es wird als zu riskant empfunden, den Mitgliedstaaten freie Hand zu lassen. Die Befürchtung ist, dass nicht alle Staaten gleichermaßen ihren Beitrag zu leisten im Stande wären. Aus diesem Grund stelle die Formulierung einer von den Mitgliedstaaten umzusetzenden Richtlinie die beste Möglichkeit dar, den Ausbau von EE voranzutreiben. Der entscheidende Vorteil in dieser Herangehensweise besteht darin, dass neben wohl definierten Vorgaben hinsichtlich des Anteils von EE am Energiemix ausreichend Freiraum für spezifische, einzelstaatliche Konzeptionen verbleibt (vgl. EU 2008a; EU 2009a & BOSCH/ PEYKE 2011b, S. 106f.).

Bereits in den Jahren 2001 und 2003 versuchte man jeweils durch die Vorgabe einer Richtlinie, den Ausbau von EE zu forcieren. Mit der *Richtlinie 2001/77/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt* wurde das Richtziel für jeden Mitgliedstaat vorgegeben, den Anteil von EE an der Stromerzeugung bis 2010 auf 21 % zu erhöhen (vgl. EU 2001). Zwei Jahre darauf wurde die *Richtlinie 2003/30/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor* formuliert (vgl. EU 2003). Ursprünglich war es das Ziel, den Anteil von Biokraftstoffen im Verkehrssektor bis Ende 2010 auf 5,75 % zu erhöhen. Bereits das Zwischenziel von 2 % im Jahr 2005 wurde jedoch um die Hälfte unterschritten. Der Sinn der neuen *Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG* besteht laut der EU nun darin, Vorgaben und Regelungen für *alle* Sektoren – d. h. für Strom, Wärme, Kälte und Kraftstoffe – in *einer* Richtlinie zu bündeln. Aus Sicht der EU ist v. a. die Berücksichtigung des Wärme- und Kältesektors von herausragender Bedeutung, denn die Vergangenheit habe offenbart, dass Fortschritte beim Ausbau von EE allein dann erzielt werden konnten, wenn zuvor Rechtsvorschriften erlassen wurden. Tatsächlich führten die Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG, die lediglich Vorgaben für den Strom- und Kraftstoffsektor enthielten, zu einer Stagnation im Wärme- und Kältebereich. Mit der Richtlinie 2009/28/EG wurde dieser Fehler korrigiert. Damit lösen die Richtlinien der EU zumindest einen Anschubeffekt beim Ausbau von EE aus (vgl. EU 2008a & EU 2009a).

4.1.2 Verknüpfung von Energie- und Klimapolitik

Die energiepolitische Strategie der EU zeigt, dass die Ziele für den Ausbau von EE in unmittelbarem Zusammenhang mit weiteren Zielsetzungen stehen. Von besonderer Bedeutung ist dabei die starke Bindung zwischen Energie- und Klimapolitik. Es besteht die Auffassung, dass die Energiepolitik ein wesentlicher Treiber hinsichtlich der Umsetzung von Strategien zur Abmilderung des Klimawandels ist. Die Energiepolitik wird in die Pflicht genommen, durch die Förderung von EE einen Beitrag zu einem klimafreundlichen Energiesystem zu leisten. Nicht zuletzt stehe sie in großer Verantwortung, da die Ausrichtung vergangener energiepolitischer Leitlinien entscheidend zum anthropogen verursachten Klimawandel beigetragen habe. Die bisherige Dichotomie von

Wirtschaftswachstum und Reduktion von CO₂-Emissionen soll damit aufgebrochen werden (BOSCH/ PEYKE 2010b, S. 924). Die EU betont zwar, dass der Ausbau von EE keineswegs der Klimapolitik untergeordnet werde bzw. als Vehikel zur Erfüllung der Klimaschutzziele diene. Richtig sei jedoch, dass EE nicht als eigenständiges Thema behandelt werden, sondern die Ziele für deren Ausbau in Zusammenhang mit der Reduzierung von Treibhausgasemissionen stünden. Dabei wird die entscheidende Bedeutung des Emissionshandelssystems hervorgehoben, das mit dem Ausbau von EE in zweifacher Hinsicht in Zusammenhang steht: Einerseits ermöglicht der Ausbau von EE eine Reduktion von CO₂-Emissionen und damit die Möglichkeit, Emissionszertifikate zu verkaufen. Andererseits verstärkt wiederum das Emissionshandelssystem den Ausbau von EE, da dieser eine hervorragende Möglichkeit darstellt, Kosten durch CO₂-Emissionen zu reduzieren oder gar zu vermeiden. Es wird davon ausgegangen, dass, wenn Unternehmen aus einer ökonomischen Notwendigkeit heraus dazu gezwungen werden, die CO₂-Emissionen zu senken, sie automatisch auch in EE investieren. Damit wird das Emissionshandelssystem zu einem entscheidenden Instrument für den Ausbau von EE (vgl. EU 2008a & EU 2009a).

Da der Ausbau von EE an das Erreichen von Klimaschutzziele geknüpft wird, lassen sich aus den Zielvorgaben des Klimaschutzes die Zielvorgaben für den Ausbau von EE ableiten. Die entscheidenden klimapolitischen Vorgaben lassen sich aus dem 1997 beschlossenen und 2005 in Kraft getretenen Kyoto-Protokoll (vgl. UNFCCC 2002) und den im Rahmen der Klimaagenda 2020 gefassten Beschlüssen der Europäischen Kommission im Jahr 2007 (vgl. BMU 2007a & 2007b) entnehmen: Im Kyoto-Protokoll hat sich Deutschland dazu verpflichtet, den Ausstoß von Treibhausgasen bis 2012 um 21 % gegenüber dem Jahr 1990 zu senken. Deutschland ist auf einem guten Weg, diese Vorgabe nicht nur einzuhalten, sondern sogar zu übertreffen. Bereits im Jahr 2005, in dem das Kyoto-Protokoll in Kraft getreten ist, konnte gegenüber dem Bezugsjahr eine Verringerung der Treibhausgasemissionen um 18,7 % erreicht werden. Entscheidend für den rapiden Rückgang der CO₂-Emissionen zwischen 1990 und 1995 sind in erster Linie die wirtschaftlichen Umstrukturierungsprozesse in den neuen Bundesländern sowie die Steigerung der Energieeffizienz. Nach 1995 schwächte sich der Rückgang der Emissionen ab, dennoch konnte der positive Trend fortgesetzt werden. Der Grund hierfür besteht zum einen in der Erhöhung des Anteils von emissionsärmeren Energieträgern am Energiemix. In erster Linie ist hierbei die Substitution von festen und flüssigen Brenn-

stoffen durch Erdgas zu nennen. Zum anderen konnte ab dem Jahr 2000, dem Jahr der Einführung des EEG, eine stetige Verringerung des Anteils von CO₂ am PEV erreicht werden (vgl. UBA 2007b).

Bei genauerer Betrachtung der Emissionstrends auf der Ebene der Quellgruppen sind jedoch gegenläufige Trends zu erkennen. Während es bspw. im verarbeitenden Gewerbe zu einem deutlichen Rückgang der CO₂-Emissionen kam, stiegen nach 1999 die Emissionen im Bereich der öffentlichen Strom- und Wärmeversorgung wieder an. Dies ist auf den starken Anstieg beim Stromverbrauch zurückzuführen. Dennoch fiel der Anstieg der CO₂-Emissionen nicht drastisch aus, da aufgrund einer stetigen Erhöhung der Energieeffizienz, dem verstärkten Ausbau von EE sowie einer Ausweitung der KWK die Emissionen pro Stromeinheit gesenkt werden konnten (vgl. UBA 2007b). Im Jahr 2007 übertraf Deutschland, mit einer Treibhausgasreduktion von 22,4 %, bereits fünf Jahre vor dem Stichtag das vorgegebene Ziel aus dem Kyoto-Protokoll (vgl. UBA 2009). Im Jahr 2008 konnte dieser Trend fortgesetzt werden und die in CO₂-Äquivalenten umgerechneten Gesamtemissionen gegenüber dem Vorjahr um knapp 12 Mio. t (1,2 %) und gegenüber 1990 um etwa 240 Mio. t (23,3 %) gesenkt werden. Dies ist bemerkenswert, denn der Primärenergiebedarf lag 2008 sogar um einen Prozentpunkt höher als 2007. Anteil an dieser Entwicklung haben wiederum der stetige Ausbau von EE, die 2008 ihren Anteil am PEV auf 7,4 % erhöhen konnten, und die Steigerung der Energieeffizienz. Nicht zu vernachlässigen ist auch die rückläufige Nachfrage nach Stein- und Braunkohle. Die Gesamtemissionen in Deutschland lagen 2008 bei ca. 945 Mio. t. (vgl. ENERGIEPORTAL 2009). Damit hat Deutschland einen deutlichen Akzent im Rahmen der globalen Bemühungen zum Klimaschutz gesetzt.

An dieser Stelle gilt es zu erwähnen, dass die oben erwähnten jährlichen Angaben statistisch unscharf sind und sich daher nur bedingt zur Begründung von Trends eignen. So führte bspw. der milde Winter 2006/ 2007 zu einem unterdurchschnittlichen Verbrauch an fossilen Energieträgern im Wärmesektor. Daneben veranlasste die im Jahr 2007 angesetzte Erhöhung der Mehrwertsteuer viele Haushalte dazu, ihre Heizölvorräte noch im Jahr 2006 aufzustocken. Paradox erscheint die Tatsache, dass im Jahr 2007 die deutschen Kraftwerke mehr CO₂ als in den Jahren zuvor emittiert haben. Hierfür verantwortlich waren die gestiegenen Gaspreise sowie der temporäre Stillstand von Atom-

kraftwerken, was eine erhöhte Energieproduktion aus Stein- und Braunkohle zur Folge hatte. Dennoch konnten die CO₂-Emissionen insgesamt verringert werden.

Das Kyoto-Protokoll stellt keineswegs die einzige klimapolitische Leitlinie für die EU dar. Jenseits der Vorgaben der UN hegt die EU eigene klimapolitische Ambitionen. Bis 2020 wird eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen um 30 % gegenüber 1990 angestrebt. Deutschland hat sogar den Willen bekundet, seine Emissionen um 40 % zu senken. Die Ernsthaftigkeit dieser Zielsetzungen macht die EU jedoch davon abhängig, inwieweit außereuropäische Industrie- und Schwellenländer vergleichbare Bemühungen bei der Reduktion von Treibhausgasen im Sinn haben (vgl. BMU 2007a & BMU 2007b).

Der Ansatz der EU, den Ausbau von EE und die Einhaltung von Klimaschutzzielen im Rahmen einer integrierten Energie- und Klimapolitik zusammenzufassen, führt zwangsläufig zu einem suboptimalen Ausbau von EE. Dies lässt sich folgendermaßen begründen: Nach dem Wortlaut der *Richtlinie 2009/28/EG* ist der Ausbau von EE dann erfolgreich, wenn die Ziele hinsichtlich der Reduzierung von Treibhausgasemissionen eingehalten werden (vgl. EU 2008a & EU 2009a). Demzufolge wird ein Ausbau von EE, der über die Vorgaben der Klimapolitik hinausreicht, als nicht erstrebenswert angesehen. Daraus folgt, dass eine suboptimale Erschließung von Energiepotenzialen in Kauf genommen wird, solange die Klimaschutzziele erreicht werden. Dies offenbart die Absurdität in der Verknüpfung von Klima- und Energiepolitik. Es ist ohnehin davon auszugehen, dass der Ausbau von EE in erster Linie über ökonomische Kennzahlen gesteuert wird und die Einsparung von Treibhausgasemissionen lediglich als willkommener, positiv auf das Image von Unternehmen wirkender Nebeneffekt fungiert.

Der nach Ansicht der EU notwendige Ausbau von EE lässt sich entsprechend aus den oben erwähnten Klimaschutzzielen ableiten. Hierzu müssten die CO₂-Einsparungsziele der einzelnen Mitgliedstaaten in dafür notwendige Kraftwerkskapazitäten regenerativer Technologien umgerechnet werden. Würde nun die hierfür notwendige Kraftwerkskapazität exakt dem gegebenen Standortpotenzial innerhalb eines Mitgliedstaates entsprechen, so hätte die Strategie der EU einen optimalen Ausbau von EE zur Folge. Dies ist jedoch höchst unwahrscheinlich, da die Potenziale von EE den Bedarf der EU hinsichtlich des Erreichens der Klimaschutzziele deutlich übersteigen. Deutschland ist hierfür ein geeignetes Beispiel: Wie bereits erwähnt wurde, hat Deutschland bereits 2007 die

Vorgaben des Kyoto-Protokolls übertroffen. Wird der Ausbau von EE nun allein aus der Notwendigkeit abgeleitet, das Kyoto-Protokoll zu ratifizieren, so könnte der Ausbau von EE in Deutschland zumindest bis 2012 gedrosselt oder gar eingestellt werden. Dadurch würde jedoch ein Großteil des in Deutschland vorhandenen Energiepotenzials brach liegen. Allein das technische Standortpotenzial der bis dato kaum praktizierten geothermischen Stromerzeugung schätzen Experten auf ca. 300.000 TWh. Ausgehend von einem Erschließungszeitraum von 1.000 a errechnet sich daraus ein jährliches technisches Angebotspotenzial von 300 TWh. Dieser Betrag entspricht in etwa der Hälfte des Bruttostrombedarfes in Deutschland im Jahr 2007 (PASCHEN et al. 2003). Dieses Potenzial wird bis dato nicht annähernd ausgeschöpft.

Auch das EU-interne Ziel, die CO₂-Emissionen bis 2020 um 30 bzw. 40 % gegenüber 1990 zu senken, würde dem europäischen Standortpotenzial zum Ausbau von EE keineswegs gerecht werden. Es ist vielmehr damit zu rechnen, dass die Orientierung an klimapolitischen Vorgaben dazu führt, dass das Standortpotenzial regenerativer Technologien unzureichend ausgeschöpft wird und der Ausbau von EE so weit hinter seinen Möglichkeiten zurückbleibt. Entsprechend der Strategie der EU könnten die vorhandenen Energiepotenziale nur erschlossen werden, wenn die Mitgliedstaaten zu noch drastischeren Senkungen von CO₂ gezwungen wären, als sie es aufgrund der bisherigen Vereinbarungen gewesen sind.

Es besteht die Frage, warum EE nicht als ein eigenständiges Thema behandelt, sondern nur in Zusammenhang mit Klimaschutzzielen gesehen werden. Für den Klimaschutz entstünden keine Nachteile, wenn den EE im Rahmen eines eigenständigen Konzeptes größere Aufmerksamkeit zukommen würde. Im Gegenteil: **Das Ziel eines optimalen Ausbaus von EE – ein Ziel, das die EU bis dato nicht vorgegeben hat, denn ihr geht es vorrangig um Investitionssicherheit, nicht um Optimierung (!) – führt zwangsläufig auch zu einer optimalen Erschließung von CO₂-Vermeidungspotenzialen. Vor diesem Hintergrund erscheint es angebracht, nicht den Ausbau von EE an Klimaschutzziele, sondern umgekehrt, die Klimaschutzziele an das Potenzial von EE zu knüpfen. Der optimale Ausbau von EE ginge dadurch automatisch mit einem optimalen Klimaschutz einher.**

Zusammenfassend lässt sich behaupten, dass der Ansatz der EU, EE lediglich im Zusammenhang mit klimapolitischen Erfordernissen zu betrachten, weder für den Ausbau

von EE noch für den Klimaschutz zielführend ist. Zwar beschwört die EU die Gleichbehandlung der Themenfelder Energie und Klima, jedoch liegt der Fokus in erster Linie auf der Klimapolitik, denn die Verweise auf klimapolitische Erfordernisse sind in den Richtlinien dominant. EE stellen quasi ein Vehikel zur Umsetzung klimapolitisch-strategischer Ambitionen dar. Ein stetiger Ausbau wird als zufriedenstellend betrachtet.

4.1.3 Abstufung nach dem BIP

Im Allgemeinen sieht es die Strategie der EU vor, alle Staaten hinsichtlich des Ausbaus von EE gleichermaßen in die Pflicht zu nehmen. Entsprechend eines fairen und angemessenen Miteinanders gibt es jedoch Bestrebungen, den Beitrag, den die einzelnen Mitgliedsländer konkret zu leisten haben, vom jeweiligen BIP abhängig zu machen. Die EU begründet dies damit, dass die Ausgangslage einiger Staaten eine Zielerreichung unmöglich macht und aus diesem Grund die Vorgaben entsprechend dem BIP angepasst werden müssen. Folglich wird davon ausgegangen, dass die wirtschaftliche Leistungskraft etwas über das Vermögen einer Volkswirtschaft aussagt, die Herausforderungen einer Energiewende stemmen zu können. Des Weiteren verweist die EU-Kommission darauf, dass die Entwicklung von EE in einzelnen Mitgliedstaaten bereits weiter fortgeschritten ist als in anderen. Das Gesamtziel müsse durch diese Lastenverschiebung jedoch nicht in Frage gestellt werden, denn entscheidend sei, dass alle Mitgliedstaaten zusammen das 20 %-Ziel erreichen. Ob nun ein Staat mehr oder weniger zum Gesamtziel beiträgt, sei daher von sekundärer Bedeutung (vgl. EU 2008a & EU 2009a).

Es ist schwer nachzuvollziehen, warum die EU den von den Mitgliedstaaten jeweils anzustrebenden Ausbau von EE an das BIP knüpft. Begründet wird dieser Schritt damit, dass eine Abstufung der Beiträge nach dem BIP einen einfachen, also leicht nachvollziehbaren und gut handhabbaren Ansatz darstellt. Darüber hinaus wird betont, dass eine derartige Vorgehensweise dem Wohlstand der einzelnen Staaten Rechnung trägt und ein faires Miteinander ermöglicht. Aus methodischer Sicht ist es äußerst fragwürdig, die Fähigkeit eines Staates, Energie aus erneuerbaren Quellen bereitzustellen, vom BIP abzuleiten. Das Potenzial eines Staates und damit seine Bedeutung innerhalb einer gesamteuropäischen Energiestrategie sollte in erster Linie über sein – für die EE so entscheidendes – Standortpotenzial definiert werden. Eine derartige Abstufung wäre nicht nur fair und angemessen, sondern auch methodisch sinnvoll, da sie die zu leistenden Beiträge der einzelnen Mitgliedstaaten an den jeweiligen Standortpotenzialen und nicht

an einem Faktor ausrichten würde, der lediglich indirekt etwas über die Fähigkeiten zur Potenzialerschließung aussagt. Zwar erwähnt die EU-Kommission in der Richtlinie, dass Modelle zur Beurteilung des Ressourcenpotenzials heranzuziehen sind, jedoch wird dieser Aspekt nicht weiter vertieft.

Vor dem Hintergrund der Entwicklung einer gesamteuropäischen Energiepolitik erscheint es ohnehin als angebracht, die Kosten eines regenerativen Energiesystems nicht einzelnen Mitgliedstaaten, sondern vielmehr der gesamten Union zu überlassen. Diese Forderung rührt aus der Überzeugung, dass die Kosten eines gemeinsamen, europäischen Energiesystems, das sich länderübergreifend an regionalen Potenzialen orientiert, niedriger sind als jene, die aus dem Zusammenspiel eigenständiger, nationaler Energiesysteme entstehen würden. Jedoch muss bezweifelt werden, dass die EU genaue Kenntnisse darüber besitzt, welche Energiepotenziale innerhalb der einzelnen Mitgliedstaaten vorliegen, denn in der Richtlinie lassen sich diesbezüglich keinerlei Hinweise finden. Aus diesem Grund erscheint es bis dato nicht möglich, einen fairen Ausgleich zwischen den Mitgliedstaaten, der auf der Berücksichtigung der unterschiedlichen regionalen Standortpotenziale beruhen würde, zu schaffen. Die Wirtschaftskraft der Mitgliedstaaten sollte nur insofern Berücksichtigung finden, als diese die Erschließung der jeweiligen natürlichen Standortpotenziale begünstigt oder erschwert. In diesem Falle greift jedoch die alleinige Darstellung der wirtschaftlichen Ausgangslage deutlich zu kurz. Vielmehr müsste die Wirtschaftslage über einen längeren Zeitraum hinweg modelliert werden, nur dann könnten genaue Angaben zur möglichen Erschließung von Energiepotenzialen bis 2020 und darüber hinaus gemacht werden.

Der grundsätzliche Fehler in der Strategie der EU besteht darin, dass keine Orientierung an den räumlichen Möglichkeiten von EE erfolgt, sondern abstrakte Indikatoren wie das BIP zur quantitativen Festlegung von Zielwerten zum Ausbau von EE herangezogen werden. Vor dem Hintergrund um die Bemühungen einer raschen Energiewende erwächst daraus die Gefahr, dass das Energiepotenzial eines Mitgliedstaates nur unzureichend ausgeschöpft wird. Liegt bspw. in einem Mitgliedstaat, der sich durch ein geringes BIP auszeichnet, ein großes Standortpotenzial für erneuerbare Quellen vor, so würde die Erschließung eines Bruchteils dieses Potenzials bereits ausreichen, um die Vorgaben der EU hinsichtlich eines fairen und angemessenen Ausbaus zu erfüllen. **Sinnvoller erscheint es, die Potenziale der Mitgliedstaaten exakt zu modellieren**

und jene Staaten, die ein großes Standortpotenzial bei geringer Wirtschaftskraft aufweisen, ggf. mit Fördermitteln zu unterstützen. Hierzu müsste jedoch eine neue Energiestrategie verfolgt werden, indem der Ausbau innerhalb der EU an die räumliche Variation von Standortfaktoren geknüpft wird.

An keiner Stelle der Richtlinie werden jedoch Aussagen über die Standortpotenziale einzelner Teilregionen getroffen, so dass keine Informationen einerseits über den potenziellen Beitrag der Mitgliedstaaten zum gesamteuropäischen Ziel, andererseits über die Zusammensetzung länderspezifischer Energiemixe sowie die daran gekoppelten Technologieoptionen vorliegen. An dieser, für die Entwicklung eines konkreten Standortkonzeptes so entscheidenden Stelle, weicht die EU aus und verweist auf die Verantwortung der Mitgliedstaaten. Ihnen obliege es, eine Schwerpunktsetzung entsprechend ihrer natürlichen Voraussetzungen vorzunehmen (vgl. EU 2008a & EU 2009a).

Die Art der Kombination von EE fällt demnach ausschließlich in den Zuständigkeitsbereich der Mitgliedstaaten. Sie stehen damit in der Verantwortung, ein Standortkonzept zu entwickeln, das den regionalen Potenzialen entspricht. Die genaue Ausgestaltung von Förderprogrammen und die Auswahl von Technologiepfaden ist nach Ansicht der EU allein die Angelegenheit der Nationalstaaten. Es steht ihnen frei, ob sie die Vorgaben über eine Anpassung im Wärme-, Kälte- und Stromsektor oder gar im Verkehr erreichen wollen.

Es ist unverständlich, dass die EU beim Aufbau eines regenerativen Energiesystems die Betrachtung von regionalen Energiepotenzialen derart vernachlässigt, denn der europäische Kontinent stellt keineswegs eine homogene Fläche dar. Allein die natürlichen Voraussetzungen variieren von Region zu Region bekanntermaßen erheblich. So sind bspw. im südeuropäischen Raum (z. B. Spanien) hervorragende Bedingungen für den Ausbau der Solarenergie gegeben (vgl. BOSCH 2010a). Nordeuropa (v. a. GBR) bietet hingegen beste Voraussetzung für den Aufbau von Meeresströmungs- und Wellenkraftwerken (vgl. LESSNER 2009). Regionen mit einer hohen Reliefenergie (z. B. Österreich, Norwegen) zeichnen sich wiederum durch einen hohen Anteil der Wasserkraft am Energiemix aus. Im Küstenbereich begünstigen Standorte mit hoher Windhöffigkeit den Ausbau der Windenergie (vgl. KALTSCHMITT et al. 2006). Nicht zuletzt werden in tektonisch aktiven Zonen langfristig auch Geothermie-Projekte einen wesentlichen Beitrag

zur regenerativen Energieversorgung leisten (vgl. BMU 2007c). Entsprechend dieser naturräumlichen Unterschiede wird es hinsichtlich der nationalen Technologierouten europäischer Staaten zu einer räumlichen Differenzierung kommen. Aus diesem Grund müssen die räumlichen Disparitäten in der Ausstattung mit Standortpotenzialen mit in die energiestrategischen Überlegungen und Konzeptionen einfließen. Einerseits gilt es, die regionsspezifischen Energiepotenziale mittels räumlich angepasster Konzepte optimal in Wert zu setzen. Andererseits müssen diese raumspezifischen Strategien wieder zu einer Gesamtstrategie vereint werden. Dies kann jedoch nur geleistet werden, wenn hierfür ein länderübergreifendes Konzept vorgelegt und die Verantwortung nicht an die einzelnen Mitgliedstaaten weitergereicht wird.

Es obliegt der EU, die einzelstaatlichen Strategien zu bündeln und so eine effektive Kombination verschiedener Technologierouten zu ermöglichen. Eine geschickte Strategie weiß die jeweiligen Vorteile der länderspezifischen Energiepfade so zu kombinieren, dass diese sich adäquat ergänzen. Das ISET (heute: Fraunhofer-Institut für Windenergie und Systemtechnik) hat hierzu, in Zusammenarbeit mit den Unternehmen Enercon GmbH, Solarworld AG und Schmack Biogas AG, ein wegweisendes Projekt durchgeführt. Mit Hilfe des sog. regenerativen Kombikraftwerkes wurden die spezifischen Vorteile der EE erstmalig vereint. Entscheidend dabei war, dass die regenerativen Technologien – entsprechend ihren Standortanforderungen sowie den regionalen Standortbedingungen – im Raum verteilt wurden. Es handelt sich folglich um ein Konzept, das die räumlichen Disparitäten hinsichtlich der Ausstattung mit Energiepotenzialen berücksichtigt. Gesteuert wurden die einzelnen Kleinkraftwerke von zentraler Stelle aus, so dass der regenerative Energiemix auf den schwankenden Strombedarf abgestimmt werden konnte.

Es wurde der Beweis erbracht, dass durch einen regenerativen Energiemix durchaus ein konventionelles Großkraftwerk substituiert werden kann. Die Vernetzung von Wind-, Solar- und Biomasseanlagen konnte, unabhängig von witterungsbedingten Schwankungen, zu jedem Zeitpunkt ausreichend Strom bereitstellen. Der Grund für den Erfolg lag v. a. in einer geschickten Kraftwerkseinsatzplanung: Die grundlastfähige Biogastechnologie glich die Schwankungen der intermittierenden regenerativen Energien Solar- und Windenergie aus. Wurde an windreichen Tagen zu viel Strom produziert, so dass eine Überlastung des Stromnetzes drohte, wurde die überschüssige Energie mittels eines

Pumpspeicherkraftwerkes zwischengespeichert. Stieg die Stromnachfrage wieder an, so wurde der gespeicherte Strom ins Netz zurückgespeist (vgl. ISET 2008 & BOSCH/ PEYKE 2010a).

Würden also die jeweils regionalen Potenziale des gesamten europäischen Raumes nicht nur in die energiestrategischen Überlegungen mit einbezogen, sondern im Rahmen eines neuen Energiekonzeptes gebündelt werden, so könnte zu jedem Zeitpunkt ausreichend Energie zu Verfügung gestellt werden. Dies rührt aus der Tatsache, dass mit zunehmender Größe des Raumes, in dem Regenerativenergie gehandelt wird, die garantierte Verfügbarkeit von Anlagen steigt, so dass sich die Wahrscheinlichkeit erhöht, witterungsbedingte Produktionsrückgänge in einer Teilregion durch andere Teilregionen kompensieren zu können (vgl. MAY 2009b). Die Kenntnis über die Ausstattung der einzelnen Teilregionen mit natürlichen Standortfaktoren könnte auch Aufklärung darüber geben, welchen Beitrag die einzelnen Staaten zu leisten im Stande wären. Dadurch könnten auch die Klimaschutzziele deutlich schneller erreicht, ja sogar weit übertroffen werden, denn der Ausbau von EE würde sich dann nicht mehr an Mindestwerten, sondern konkret an Standortpotenzialen bemessen.

4.1.4 Länderübergreifende Zusammenarbeit

Sinnvoll erscheint in diesem Zusammenhang die Richtlinie der EU, dass ein Staat seine Ausbauziele auch durch die Unterstützung von Projekten in anderen Mitgliedsländern erreichen kann. Auch liegt es im Interesse der EU, den Verbrauch von regenerativem Strom zu fördern, der aus anderen Mitgliedsländern importiert wurde (vgl. EU 2008a & EU 2009a). Aus diesen Vorgaben können Standortkonzepte erwachsen, die einen Ausbau entsprechend den regionalen Potenzialen innerhalb Europas im Blick haben. Liegt bspw. in einem Mitgliedsland ein Energiepotenzial vor, dessen Erschließung die Vorgaben der EU weit übertreffen würde, so könnte durch eine länderübergreifende Zusammenarbeit das Energiepotenzial über das einzelstaatliche Ziel hinaus erschlossen und dann den jeweils beteiligten Staaten angerechnet werden. Zusätzlich ermöglicht diese Regelung, dass in Staaten, die lediglich ein geringes Standortpotenzial für EE aufweisen, ein unnötiger Raubbau an Ressourcen und Umwelt vermieden werden kann; die Lasten können schlicht auf Staaten mit einem großen regenerativen Energiepotenzial verschoben werden. Insgesamt fördert die Möglichkeit einer länderübergreifenden Zusammenarbeit die Konzentration auf die besten innereuropäischen Standorte sowie eine

räumliche Spezialisierung entsprechend der regionalen Potenziale. Für eine Optimierung der Energieversorgung ist dieser Aspekt von großer Bedeutung. Eine grenzüberschreitende Zusammenarbeit hat auch den Vorteil, dass mit der Größe des Raumes die verfügbare Energiemenge zunehmen würde und damit Schwankungen im Netz leichter ausgeglichen werden können.

Das entscheidende Argument für eine länderübergreifende Zusammenarbeit sieht die EU jedoch darin, dass durch einen Verbund aller Mitgliedstaaten die Kraftwerkskapazitäten je Land minimiert werden könnten und dadurch ein übermäßiger, flächenintensiver Ausbau und evtl. auch Rückbau vermieden werden kann (vgl. EU 2008a & EU 2009a). Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Staaten nicht mehr selbst ihren Strombedarf decken müssten, sondern der Bedarf jedes Mitgliedslandes stets aus einem Teil der gesamteuropäischen Energieproduktion gedeckt würde. Dieser Aspekt ist von großer standortkonzeptioneller Relevanz, da die länderübergreifende Zusammenarbeit eine Konzentration auf die besten Standorte fördert und so zu einer Minimierung des Flächenverbrauchs für regenerative Technologien und damit auch zu einer größeren Akzeptanz beiträgt.

Um eine länderübergreifende Zusammenarbeit überhaupt zu ermöglichen, empfiehlt die EU den Mitgliedsländern, die Netzinfrastruktur zügiger auszubauen (vgl. DENA 2010). Allein dadurch können die steigenden regenerativen Kraftwerkskapazitäten in das Netz integriert und länderübergreifend gehandelt werden. Die von der EWEA herausgegebene Studie *TradeWind – Integrating Wind* bspw. eröffnet einen interessanten Einblick in die Frage, wie es gelingen kann, die wachsenden Windstrommengen in den europäischen Strommarkt zu integrieren (vgl. EWEA 2009). *TradeWind* hebt hervor, dass bei einem restriktiven Ausbau der Netze v. a. zwischen 2020 und 2030, wenn die installierte Windleistung die 200-GW-Marke überschreiten wird, mit Netzengpässen zu rechnen ist. Aus ökonomischer Perspektive würde dann der Zugang zu einer günstigen Stromversorgung versperrt werden (vgl. MAY 2009b).

Daher appelliert die EU an die Mitgliedsländer, ihren Verpflichtungen zum Netzausbau baldmöglichst nachzukommen. Diese Forderung, der Deutschland seit der Einführung des EEG im Jahr 2000 zumindest dem Gesetzestext nach entspricht, garantiert nicht zuletzt Investitionssicherheit für neue Projekte im regenerativen Energiesektor. Entschei-

dend für einen erfolgreichen Ausbau der Netze wird jedoch sein, inwieweit es den einzelnen Staaten gelingen wird, die Betreiber von Übertragungs- und Verteilungsnetzen in die Pflicht zu nehmen, den Strom aus EE auch umfassend zu integrieren und zu verteilen. Denn allzu oft kommen die großen Energieversorger der Verpflichtung zum Ausbau der Netze – entsprechend den wachsenden regenerativen Energiemengen – nicht nach. So mussten in Deutschland mehrmals Regenerativanlagen bei Volllast gedrosselt oder sogar abgeschaltet werden, um eine Überlastung der Stromtrassen zu verhindern. Im Jahr 2008 bspw. waren in den E.ON-Netzbereichen Nordfriesland, Ostholstein und Dithmarschen mehr als 1.700 MW an Windenergie installiert, die maximale Einspeiseleistung betrug jedoch nur 1.000 MW. Zwar speisten die WKA im Durchschnitt nur 25 % ihrer Nennleistung in die Netze ein. In den windreichen Monaten Januar und Februar jedoch, in denen die WKA auf Volllast liefen, kam es – aufgrund der fehlenden Netzkapazitäten und der Notwendigkeit, die Anlagen abzuschalten – zu massiven finanziellen Einbußen für die Anlagenbetreiber. Die Energieunternehmen wurden anschließend von politischer Seite darauf hingewiesen, dass sie lediglich 2 Mrd. €, d. h. 10 % der Einnahmen aus den Netzgebühren, wieder in den Ausbau der Netze investiert und damit nicht den Vorgaben des EEG entsprochen haben. Der damalige Präsident des BWE Hermann Albers erhob sogar den Vorwurf, E.ON verfolge speziell bei Genehmigungsverfahren die Taktik, durch das Vorlegen von unvollständigen Antragsformularen den weiteren Ausbau von EE zu verzögern (vgl. ARZT 2008). Seit der Novellierung des EEG im Jahr 2009 haben die Windmüller nun das Recht auf Schadenersatz, wenn der Netzbetreiber der Verpflichtung zur Erweiterung der Leitungen nicht nachgekommen ist (vgl. WEINHOLD 2009).

4.1.5 Integration Erneuerbarer Energien in Baupläne

Einen nicht zu vernachlässigenden Ansatz der EU zur Förderung des Ausbaus von EE stellt die Forderung dar, bei der Renovierung und dem Neubau von Häusern die Integration von regenerativen Technologien zu berücksichtigen (vgl. EU 2008a & 2009a). Die Raumrelevanz dieser Vorgabe entspringt hierbei aus der Schonung von Freiflächen, da die Bereitstellung von Energie aus erneuerbaren Quellen für den privaten Bereich in der Regel durch gebäudeintegrierte Lösungen erfolgt. So verbraucht ein PV-Kraftwerk mit einer installierten elektrischen Leistung von 10 MW die Fläche von etwa 50 Fußballfeldern. Der erhebliche Eingriff in die Kulturlandschaft erregt dabei nicht selten große Kritik. Die Verlagerung der PV von der Freifläche auf die Dächer bietet daher die Mög-

lichkeit, Flächennutzungskonflikte zu minimieren (vgl. BOSCH/ PEYKE 2010). *EuPD-Research* hat diesbezüglich eine Studie herausgegeben, in der das Strompotenzial geeigneter Dachflächen in Deutschland (ca. 1.190 km²) auf jährlich 1.113 TWh geschätzt wird. Aufgrund der Tatsache, dass nicht alle Flächen genutzt werden können und der Wirkungsgrad der PV-Technologie nur 15 % erreicht, beträgt das tatsächliche Potenzial jährlich 120 TWh. Dies entspricht immerhin 20 % des deutschen Strombedarfes (vgl. EUPD RESEARCH 2008).

Aus der Vorgabe, dass Planer und Architekten den EE innerhalb ihrer Baupläne mehr Aufmerksamkeit zu widmen haben, erwachsen in erster Linie Vorteile für die Solar-energie, die oberflächennahe Geothermie und die Bioenergie (Biomasseheizkessel). Der Grund hierfür ist, dass sich diese Technologierouten leicht in ein Gebäude integrieren lassen, die ökonomischen Möglichkeiten der Bevölkerung nicht überschreiten und die Energiequellen mit relativ geringem Aufwand erschlossen werden können. Erst bei einem Zusammenschluss mehrerer Bürger können auch größere Projekte, wie bspw. der Bau einer WKA, einer BGA oder eines großflächigen Solarparks realisiert werden. Die Mitgliedstaaten stehen nicht zuletzt in der Pflicht, Anforderungen an die lokalen und regionalen Verwaltungsbehörden zu stellen. Diese müssen nach Auffassung der EU beinhalten, dass beim Bau bzw. der Umgestaltung von Wohn- oder Industriegebieten sowie der Installation von Systemen für die Strom-, Wärme- und Kälteerzeugung die erneuerbaren Energiequellen berücksichtigt werden. Verlangt wird auf jeden Fall ein Mindestmaß an Nutzung von EE. Ausnahmen ergeben sich bei der Errichtung von Passiv-, Niedrigenergie- und Nullenergiehäusern sowie bei örtlichen Beschränkungen hinsichtlich der Verfügbarkeit erneuerbarer Energiequellen. Hier wird betont, dass es bei der Aufstellung von Konzepten hinsichtlich des Standortpotenzials durchaus einer räumlichen Differenzierung bedarf (vgl. EU 2008a & EU 2009a).

Bei dem Entwurf von Planungsvorschriften und -leitlinien sollte darauf geachtet werden, dass sich v. a. kosteneffiziente und umweltfreundliche Geräte zur Wärme-, Kälte- und Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen durchsetzen. Hier werden also zum ersten Mal – zumindest indirekt – Standortansprüche der regenerativen Technologien thematisiert. Die Kosteneffizienz einer Technologie ist auf der einen Seite abhängig vom Standort, denn in Gunsträumen (bspw. hohe Biomasseproduktion, hohe Globalstrahlung) werden größere Energiemengen pro Zeit und Fläche erwirtschaftet, so dass sich

dadurch auch die Kosteneffizienz erhöht. Andererseits weisen bestimmte Technologien an bestimmten Standorten eine bessere Kosteneffizienz auf als andere Technologien. Eine Berücksichtigung der Vorgaben der EU macht folglich eine Differenzierung hinsichtlich der Standortpotenziale der einzelnen Technologien notwendig. Jedoch wird betont, dass Kosteneffizienz nicht der einzige Standortfaktor sein kann, sondern auch die Umweltfreundlichkeit der Technologien zu gewährleisten ist. Die Optimierung bewegt sich also zwischen den Idealen einer Kostenoptimierung sowie der Reduzierung von negativen Umwelteinflüssen.

4.1.6 Versorgungssicherheit

Von großer Raumrelevanz ist die Forderung der EU, Bezugsquellen und Lieferwege noch stärker zu diversifizieren (vgl. EU 2008a & EU 2009a). Es gilt, intensiv genutzte Räume innerhalb Europas vor einem überdimensionierten Ausbau von EE zu bewahren, indem Räume mit geringer bzw. keiner Flächennutzungskonkurrenz außerhalb der EU miteinbezogen werden. Die im Jahr 2009 ins Leben gerufene Energie-Initiative Desertec bietet hierzu einen lukrativen Ansatz (vgl. DESERTEC FOUNDATION 2010; BOSCH 2010a & Punkt 3.1.4).

Entsprechend dieser Strategie würde es auch Sinn machen, auf EE zu setzen, die zwar keinen wesentlichen Beitrag zu einem nachhaltigen Energiesystem zu leisten im Stande wären, jedoch zu einer größeren Bandbreite an Bezugsquellen und damit zu einer größeren Versorgungssicherheit führen würden. Hier geht es folglich nicht um die Optimierung der Energiegewinnung, sondern vielmehr um die Garantie einer sicheren Versorgung und der Verringerung der Energieabhängigkeit. Damit können auch Standortkonzepte gerechtfertigt werden, die eine suboptimale Nutzung der Ressource Raum zur Folge haben. Auch hier stellt sich die Frage, ob es nicht sinnvoller erscheint, die Versorgungssicherheit dadurch zu erhöhen, indem die langfristige Bedeutung einzelner Technologierouten modelliert wird. Hierdurch könnten jene Technologien identifiziert werden, die sich durch eine große Stabilität gegenüber wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Schwankungen sowie technologischen Neuerungen auszeichnen. Dadurch ließe sich die Versorgungssicherheit erhöhen, ohne dabei Geld in Branchen zu investieren, die eine hohe Krisenanfälligkeit aufweisen und damit Versorgungsengpässen Vorschub leisten.

Einen wichtigen Aspekt der Versorgungssicherheit stellen auch die Bemühungen der EU dar, regenerative Energie aus Drittländern zu importieren. Diese Strategie wird auch zu einer erheblichen Schonung von Flächen innerhalb der EU beitragen. Vorteilhaft ist, dass importierter, außerhalb der EU produzierter Strom, auf die Ziele der einzelnen Mitgliedstaaten angerechnet werden kann (vgl. EU 2008a & EU 2009a). Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Produktionsbedingungen vor Ort sozial sowie ökologisch verträglich sind.

4.1.7 Dynamische Betrachtungsweise

Beachtenswert an dem Konzept der EU ist, dass die hohe Dynamik in der technologischen Entwicklung von EE mit berücksichtigt wird (vgl. EU 2008a & 2009a). Zwar besteht das vorrangige Ziel darin, die nächste Generation von regenerativen Technologien zur Marktreife zu bringen. Jedoch ist sich die Kommission darüber im Klaren, dass aus heutiger Sicht noch nicht absehbar ist, welche Technologien im Jahr 2020 die Träger einer regenerativen Energiewende sein werden. Die Konkurrenzfähigkeit von EE gegenüber den fossilen Energieträgern wird zunehmen, jedoch befinden sich die einzelnen Technologien in unterschiedlichen Phasen des Produktlebenszyklus. Auf der einen Seite gibt es Technologien wie Onshore-Windenergie und Wasserkraftanlagen, deren technologische Potenziale bereits zu einem großen Teil ausgeschöpft sind und die sich daher in der Reife- bzw. Sättigungsphase befinden. Die PV-Branche ist hingegen auf dem Weg zu einem standardisierten Massenmarkt mit rapide sinkenden Gestehungskosten (vgl. RENTZING 2011b). Andererseits müssen innerhalb der energiestrategischen Überlegungen auch »junge« Technologien wie Geothermie und Wellenenergie, die sich noch in der Entwicklungs- und Einführungsphase befinden, berücksichtigt werden. Deren zukünftige Bedeutung hängt von mehreren, schwer zu erfassenden Faktoren ab und lässt sich wohl nur mittels einer ausgeklügelten Modellierung darstellen. Zwar sind derartige Modellierungen nicht in der Richtlinie der EU enthalten, jedoch trägt sie diesem Aspekt zumindest dadurch Rechnung, indem sie einräumt, dass bestimmte Formen von EE in späteren Jahren durchaus noch Entwicklungsschübe verzeichnen können. Möglicherweise werden derzeit noch unbedeutende Technologien langfristig einen wichtigen Beitrag zum 20 %-Ziel der EU leisten.

Für die Entwicklung eines Standortkonzeptes ist der Aspekt einer dynamischen Betrachtungsweise von immenser Bedeutung, denn diese ermöglicht eine Anpassung des

Konzeptes an mögliche Veränderungen wirtschaftlicher, gesellschaftlicher und technologischer Art. Würden die unterschiedlichen Reifegrade und Entwicklungspotenziale der regenerativen Technologien keine Berücksichtigung finden, so könnten ein kostenintensiverer Rückbau und das Unterschreiten der Zielvorgaben die Folge sein.

Die Maßnahmen, die die EU aus dieser Erkenntnis ableitet, sind jedoch inkonsequent. Es wird empfohlen, Technologien zu unterstützen, die aufgrund von fehlenden Größenvorteilen kaum technischen Fortschritt verzeichnen und deshalb hohe Investitionskosten beim Ausbau verursachen. Hier läuft die EU jedoch Gefahr, Fehlentwicklungen voranzutreiben und dadurch die Kosten eines Energiesystems durch eine falsche Investitionspolitik zu erhöhen. Es erscheint nicht sinnvoll, »blind« in eine Technologie zu investieren, nur weil sie durch fehlende Größenvorteile einen Nachteil gegenüber anderen Technologien besitzt. Es kann nicht garantiert werden, dass sich derartige Technologien nach der Entfaltung ihrer Größenvorteile zu einer entscheidenden Stütze einer erfolgreichen Energiewende entwickeln werden. Die Lösung sollte vielmehr darin bestehen, dass lediglich jenen Technologien zu Größenvorteilen verholfen wird, deren Potenzial langfristig vielversprechend ist. Hier stellt sich jedoch die Frage, wie diese Technologien zu identifizieren sind. Um hierüber belastbare Aussagen treffen zu können, müssen die Entwicklungspfade aller Technologien in Abhängigkeit von wirtschaftlichen, gesellschaftlichen und technologischen Veränderungen modelliert werden.

Bestünde Kenntnis darüber, welche Technologien sich langfristig durchsetzen werden, so könnte auch eine gezielte Branchenförderung durchgeführt werden. Ein Ziel der EU besteht ja gerade darin, Unternehmen einen Zugang zu weltweiten Spitzenpositionen im Bereich der EE zu ermöglichen. Jedoch wird hier nicht unterschieden zwischen Branchen, die langfristig einen großen bzw. keinen nennenswerten Beitrag zu einem regenerativen Energiesystem zu leisten im Stande sind. Möglicherweise wirken sich die Aktivitäten einer Teilbranche sogar hemmend auf den gesamten Ausbau von EE aus. Ist eine Branche bspw. aufgrund einer günstigen Vergütungsstruktur erfolgreich, der Anteil des von ihr vertretenen Energieträgers am PEV jedoch langfristig gering, so müsste eine Umleitung von Fördergeldern zu Gunsten aussichtsreicherer Branchen erfolgen. Geschieht dies nicht, so wird verhindert, dass sich die potenteren Technologien möglichst rasch herauskristallisieren und eine beschleunigte Energiewende einleiten. **Durch die Förderung aller Branchen – dies liegt im Interesse der EU – wird zwangsläufig**

Geld in Bereiche investiert, von denen langfristig kein wesentlicher Beitrag zu einer nachhaltigen Energieversorgung zu erwarten ist. Eine Modellierung der langfristigen Bedeutung der einzelnen Energiebranchen erscheint daher angebracht.

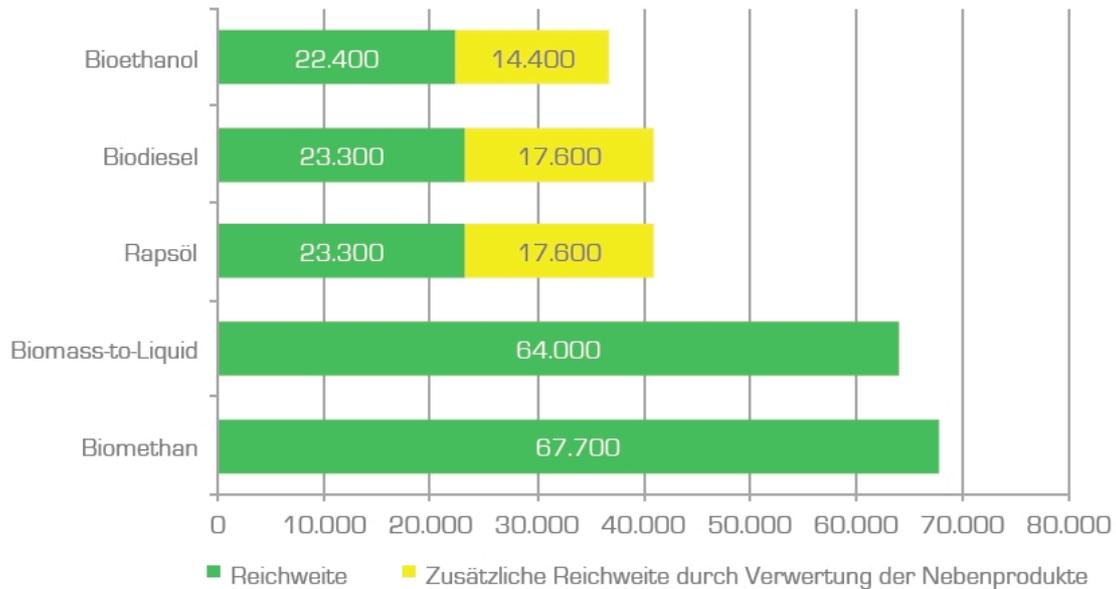
Die EU verlangt in einem Rhythmus von zwei Jahren einen Bericht seitens der Mitgliedstaaten über die Fortschritte beim Ausbau von EE. Hierbei ist von Interesse, wie die Mitgliedstaaten mit Technologien umgehen, die gewisse Vorteile gegenüber anderen Energieformen, jedoch auch höhere Kosten aufweisen. Darüber hinaus wird von den Mitgliedstaaten verlangt, Standorte zu benennen, die für die Gewinnung von Energie aus regenerativen Quellen geeignet sind. Hierbei ist anzumerken, dass das Benennen keine Schwierigkeit darstellen dürfte. Die größere Herausforderung besteht darin, Standorte zu identifizieren, die sich im Hinblick auf die langfristigen Ziele der EU als in höchstem Maße geeignet darstellen. Diesbezüglich gibt es seitens der EU keinerlei konzeptionelle Überlegungen, geschweige denn standortplanerische Umsetzungen. Hierzu ist die Entwicklung von Informationssystemen notwendig, mit deren Hilfe sich die rasch verändernden technologischen Voraussetzungen sowie wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen räumlich abbilden lassen. Eine reine Ausweisung von Flächen vor dem Hintergrund gegenwärtiger ökonomischer, sozialer und ökologischer Bedingungen wird den Erfordernissen einer nachhaltigen Energiepolitik, die die Rahmenbedingungen für die kommenden Jahrzehnte festlegen muss, keineswegs gerecht.

4.1.8 Sonderstellung von Biokraftstoffen

Die Vorgaben der EU zum Ausbau von EE sind weitestgehend oberflächlicher Natur. Angaben, aus denen Erkenntnisse über die Anforderungen der EU an die strategische Ausrichtung der Branchen Windenergie, Solarenergie, Geothermie und Wasserkraft gewonnen werden könnten, fehlen gänzlich. Umso erstaunlicher sind die konkreten und in hohem Maße raumrelevanten Vorgaben für den Bereich Biomasse. Durch die Beschreibung von Raumkategorien sind hier durchaus Ansätze eines Standortkonzeptes zu finden. Dies jedoch nicht als Grundlage einer maximalen Erschließung gegebener Potenziale, sondern als Leitlinie zu einer möglichst umweltschonenden, sensible Flächen berücksichtigenden Rohstoffgewinnung (vgl. EU 2008a & EU 2009a). Im Speziellen stehen dabei die Biokraftstoffe im Blickpunkt des Interesses, deren Produktion die EU nur unter Berücksichtigung strenger Nachhaltigkeitskriterien vorsieht. Dies ist nicht zu-

letzt eine Reaktion auf die unter den EU-Bürgern und Wissenschaftlern kontrovers geführten Diskussionen um die gesamtgesellschaftlichen Auswirkungen einer verstärkten Biokraftstoffproduktion. Abb. 12 zeigt die Leistungsfähigkeit ausgewählter Biokraftstoffe.

Abbildung 12: Reichweite von Biokraftstoffen in km/ ha



Quelle: PEYKE/ BOSCH et al. 2011, S. 35.

Es wird auf die Tatsache verwiesen, dass die Umwandlung von organischem Material in Kraftstoffe nicht die effizienteste Nutzung von Biomasse darstellt. Darüber hinaus glauben viele Bürger einen Zusammenhang zwischen der Biokraftstoffproduktion und den steigenden Lebensmittelpreisen, den weltweiten Hungersnöten sowie der Zerstörung von Regenwäldern zu sehen (JENSEN/ BENSMANN 2008, S. 21). Tatsache ist, dass – global betrachtet – das Angebot an Nahrungsmitteln der Nachfrage seit einigen Jahren nicht mehr entsprechen kann. Allein die Produktion von Biokraftstoffen hierfür in die Verantwortung zu nehmen, würde der großen Herausforderung einer optimalen Verteilung von Nahrungsgütern jedoch nicht gerecht werden. Die entscheidenden Treiber des Wandels sind zum einen das starke Bevölkerungswachstum in den Ländern der Dritten Welt sowie der erhöhte Konsum von Milch- und Fleischprodukten in Indien und China. Nicht zu vernachlässigen sind Dürrekatastrophen und damit einhergehende Ernteausfälle (z. B. Australien), die kurzfristig zu enormen Engpässen in der Nahrungsmittelversorgung führen können. Finanzexperten weisen auch darauf hin, dass der Anstieg der Preise für Agrarrohstoffe innerhalb des letzten Jahrzehntes auf Spekulationen mit Ag-

rarprodukten sowie dem Wertverfall des US-\$ zurückzuführen ist, denn die Agrarpreise werden international in US-\$ bewertet. Darüber hinaus führen steigende Energiepreise (z. B. Ölpreis) zu einer Verteuerung der landwirtschaftlichen Produktionsmittel Kraftstoff sowie Dünger und folglich zu einem Preistrieb bei Lebensmitteln (BENSMANN 2008a, S. 64f.).

HORBELT (2008, S. 16) und OZLEM (2008, S. 24) weisen ebenfalls darauf hin, dass eine Reduzierung der Problematik auf die Frage „*Tank oder Teller*“ an der Komplexität des Themas vorbeigeht und die Bioenergie nicht als alleiniger „*Sündenbock*“ bzw. im anderen Extrem als „*unschuldiger Prügelknabe*“ dastehen dürfe. Die Nutzung von Biomasse zum Zwecke der Energieerzeugung sei keine Errungenschaft der Neuzeit, denn bereits seit Jahrhunderten diene stets ein Teil der landwirtschaftlichen Nutzflächen als Futterbasis (z. B. Anbau von Hafer) für Zugtiere bzw. Transportmittel wie Pferde und Rinder. Darüber hinaus bestehe auch das Problem des Hungers in der Dritten Welt nicht erst seit dem Ausbau der Bioenergie, vielmehr stelle es das Ergebnis eines bereits seit geraumer Zeit sich manifestierenden, globalen Verteilungsproblems – innerhalb dessen Kriege, Korruption, Misswirtschaft und Naturkatastrophen eine erhebliche Rollen spielen – dar.

Dennoch sind die Auswirkungen des Energiepflanzenbaus global betrachtet nicht zu vernachlässigen. Im Besonderen steht dabei die umfangreiche Erschließung landwirtschaftlicher Nutzflächen durch die Vernichtung von Regenwald im Brennpunkt kritischer Auseinandersetzungen. Fatal dabei ist, dass mittels Brandrodung (shifting cultivation) in Ländern wie Brasilien bzw. Malaysia der Anbau von Zuckerrohr bzw. Ölpalmen in Form von Monokulturen zur Gewinnung von Bioethanol bzw. Biodiesel massive ökologische Folgen (z. B. Artensterben) nach sich zieht (vgl. COELHO et al. 2010 & RIST/LEVANG 2010). Auch die in diesem Zusammenhang stehende Trockenlegung von Feuchtgebieten führt zu gravierenden Veränderungen in der Landnutzung. Nicht selten werden die dort lebenden Menschen von ihren angestammten Siedlungsplätzen verdrängt (BENSMANN 2008b, S. 66). O'BRIAN et al. (2010) thematisieren die Auswirkungen der globalen Herstellung von Biokraftstoffen auf die Umwelt und zeigen Wege zu einer nachhaltigen Produktion auf.

Das Wissen um die Brisanz der Thematik Biokraftstoffe spiegelt sich deutlich in den konzeptionellen Überlegungen der EU wider, die im Folgenden näher erläutert und dis-

kutiert werden (vgl. EU 2008a & EU 2009a). Festzuhalten ist, dass Ausschlussflächen für den Anbau von Energiepflanzen zwar nicht ausgewiesen, jedoch immerhin definiert werden. Generell seien Flächen mit einem großen Kohlenstoffbestand in der Vegetation und im Boden zu meiden. Andernfalls bestehe die Gefahr, dass große Mengen an gespeichertem Kohlenstoff freigesetzt und damit klimawirksam werden. Die Treibhausgasreduktion durch die Produktion von Biokraftstoffen könne so durch die Zerstörung von Flächen mit einem hohen Kohlenstoffbestand (z. B. Feuchtgebiete, Waldgebiete) wieder zu Nichte gemacht werden. Der Anbau solle daher auf jenen Flächen vermieden werden, bei denen der Kohlenstoffbestandsverlust durch die Umwandlung der Flächen nicht innerhalb einer kurzen Zeitspanne durch die Einsparung von Treibhausgasemissionen aus der Herstellung von Biokraftstoffen kompensiert werden kann. Konkret handelt es sich dabei um Flächen, die ganzjährig oder zumindest einen beträchtlichen Teil des Jahres von Wasser durchtränkt sind. Auch Torfland stellt hierbei eine schützenswerte Kategorie dar. Darüber hinaus müssen kontinuierlich bewaldete Gebiete verschont werden. Hierunter werden Wälder verstanden, die mehr als einen Hektar einnehmen und deren Bäume mindesten 5 m hoch sind und einen Überschirmungsgrad von 30 % erreichen können.

Aus diesem Grund fordert die EU eine umfassende Bilanzierung der Kohlenstoffströme auf den potenziellen Anbauflächen für Energiepflanzen. Die Vorgabe der EU, den Anteil der Biokraftstoffe am Verkehrssektor bis zum Jahr 2020 auf 10 % zu steigern – dabei ist es auch möglich, bspw. Bioethanol aus Drittländern zu importieren –, darf demnach nur durch die Nutzung jener Flächen erfolgen, die ein Mindestmaß an Treibhausgaseinsparungen versprechen. Im Gegensatz zu herkömmlichen Kraftstoffen muss die Einsparung an Treibhausgasemissionen bei der Nutzung von Biokraftstoffen mindestens 35 % betragen, wobei sich dieser Wert ab dem 1. Januar 2017 bzw. 1. Januar 2018 auf 50 % bzw. 60 % erhöht. Dabei dürfen sie nicht aus Rohstoffen hergestellt werden, die auf Flächen mit anerkannt großer biologischer Vielfalt oder auf hochsensiblen Grünland gewonnen wurden. Zumindest für den Bereich des schützenswerten Grünlandes plant die EU eine konkrete Festlegung sog. geographischer Gebiete. Sollten diese Kriterien nicht eingehalten werden, so drohe der Ausschluss von Steuervergünstigungen. Die EU ist sich darüber im Klaren, dass eine Überwachung des gesamteuropäischen Energiepflanzenbaus kaum möglich sein wird. Dennoch wird sich die Vorgabe, dass der

physische Ursprung jeglicher Biokraftstoffe nachvollziehbar sein muss, in entsprechenden Anpassungen bei der Standortplanung widerspiegeln.

Es muss kritisch angemerkt werden, dass die EU an dieser Stelle – trotz klarer, raumbezogener Forderungen – kein konkretes Standortkonzept darlegt. Sie sieht ihre Pflicht allein darin, Anreizprogramme sowie einen Preisaufschlag für jene Biokraftstoffe anzusetzen, die gemäß den Erfordernissen einer nachhaltigen Produktion auf ökologisch unbedenklichen Flächen gewonnen wurden. Generell sollen für die Biokraftstoffproduktion die gleichen Umweltaforderungen wie für die Landwirtschaft gelten. Es obliege den Mitgliedsländern, mittels nationaler Aktionspläne Biomassepotenziale zu mobilisieren. Zu beachten sei, dass der Nutzungsdruck auf bereits erschlossene Biomasseressourcen nicht stetig erhöht werde, sondern die Erschließung neuer Biomassepfade eine räumliche Diversifizierung ermögliche. In diesem Zusammenhang setzt sich die EU für die Herstellung von Biokraftstoffen aus Reststoffen wie Abfällen, Rückständen, zellulosehaltigem Non-Food-Material und lignozellulosehaltigem Material ein. Deren Beiträge zum EU-Ziel werden doppelt so stark gewichtet wie es bei der konventionellen Verfahrensweise der Fall wäre. Diese Bestimmung ist von großer Raumrelevanz, da der Anbau von flächenintensiven Energiepflanzen dadurch an Bedeutung verliert. Für Reststoffe müssten keine Flächen bereitgestellt werden, da diese quasi nebenbei anfallen.

Von besonderem Interesse sind die sog. Biokraftstoffe der zweiten Generation, wie bspw. BtL. Da deren Rohstoffbasis vor allem auf Reststoffen wie Waldrestholz (z. B. Schwachholz, Schlagabraum) basiert, würde ihr verstärkter Einsatz zur Entlastung von Flächennutzungskonflikten beitragen. Experten rechnen jedoch damit, dass BtL-Kraftstoffe erst nach 2020 einen nennenswerten Beitrag zur Mobilität leisten werden (JENSEN/ BENSMANN 2008, S. 20).

Bemerkenswert ist, dass die EU auf die Möglichkeit verweist, Kraftstoffe auch grenzüberschreitend zu handeln. Diese Forderung erscheint sinnvoll, da hierdurch die Flächen jener Staaten besser ausgenutzt werden könnten, deren Standortpotenzial über die Forderungen der EU hinsichtlich der Pflichterfüllung der jeweiligen Mitgliedstaaten hinausgeht. Interessant ist auch die Tatsache, dass die EU zwar einerseits davon überzeugt ist, das Biokraftstoffziel mit den europäischen Ressourcen erreichen zu können, andererseits jedoch für eine Kombination aus Importen und inländischer Produktion plädiert. Möglicherweise verbirgt sich hinter dieser Forderung die Strategie einer innereuropäischen Flächenschonung, um etwaigen Flächennutzungskonkurrenzen aus dem Weg zu

gehen und gesellschaftlichen Auseinandersetzungen um Nutzungsrechte so vorzubeugen. Das Problem der Nutzungskonkurrenz wird dadurch auf Staaten außerhalb Europas verlagert. Vor diesem Hintergrund wirbt die EU dafür, dass die Mitgliedstaaten mit Hilfe von Informationskampagnen ihre Bürger über die Grenzen und Möglichkeiten der Nutzung von Biokraftstoffen sowie alternativer erneuerbarer Kraftstoffe aufklären.

Weitere Aspekte eines europäischen Standortkonzeptes stellen die Überwachung der Herkunft von Biokraftstoffen sowie die Analyse der Konsequenzen ihrer Produktion auf die Nutzung von Flächen innerhalb der Mitgliedstaaten und innerhalb der wichtigsten Lieferländer dar. Von besonderem Interesse sind dabei die Auswirkungen der Produktion von Biokraftstoffen auf die Rohstoffpreise und die daran gekoppelten Folgen für die Nahrungsmittelproduktion. Das bedeutet, dass der dynamische Charakter eines potenziellen Standortkonzeptes seitens der EU durchaus erkannt wird. Leider erwachsen hieraus keine weiteren Anstrengungen, bspw. in Form der konzeptionellen Erarbeitung dynamischer Standortkonzepte, die auch Preisgefüge mit berücksichtigen.

Im Übrigen ist bis dato nicht absehbar, ob und inwieweit Biokraftstoffe überhaupt einen Beitrag zur zukünftigen Mobilität leisten werden. Experten rechnen eher mit einem Siegeszug der Elektromobilität. In diesem Fall wären sämtliche Bemühungen der EU hinsichtlich der Erarbeitung von Biokraftstoffrichtlinien vergebens. Speziell die Automobilindustrie richtet ihre strategischen Überlegungen an der Überzeugung aus, dass sich mittel- bis langfristig der Elektroantrieb durchsetzen wird. JENSEN (2008, S. 54) spricht diesbezüglich von einem „*Wettrennen der Konzepte*“. Zudem bieten Elektroautos die Möglichkeit, Strom zu speichern. JANZING (2008, S. 62) stellt fest, dass bereits bei einer Anzahl von 4 Mio. Elektroautos – das entspricht in etwa dem Zehntel des Gesamtbestandes in Deutschland – eine Regelleistungskapazität von 20.000 MW zur Verfügung stehen würde. Damit ließe sich – durch intelligente Ausrichtung der Ladezyklen von Elektroautos – die Stromschwankung zwischen einer Flaute und einem Sturmtief ausgleichen.

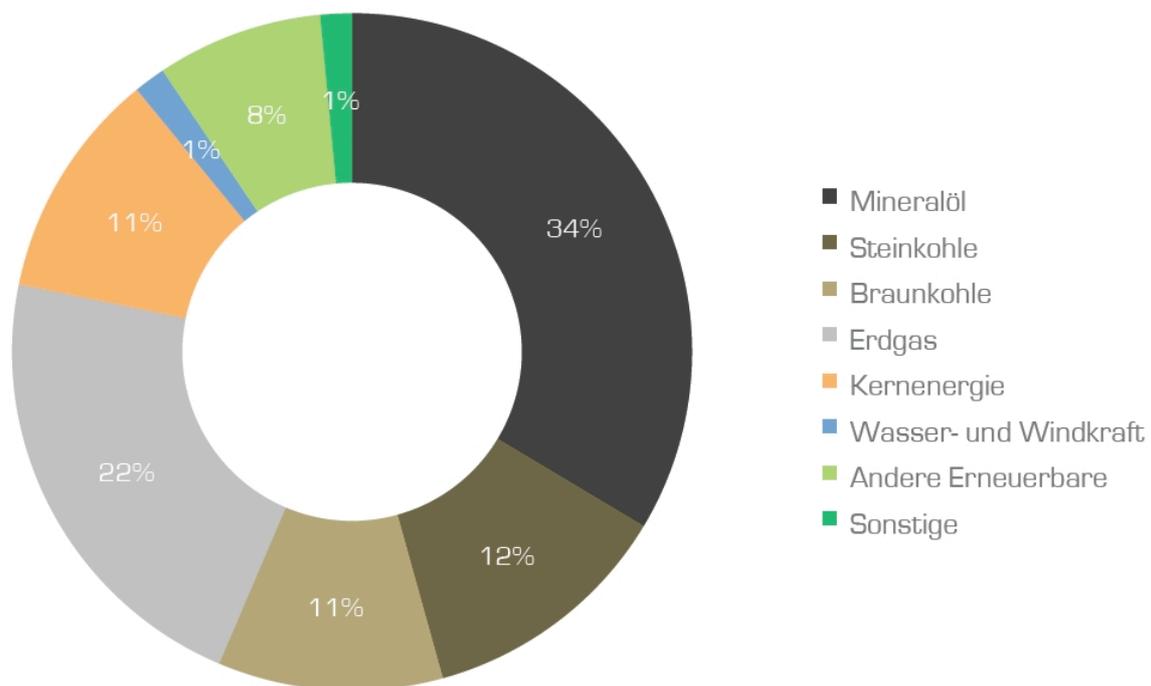
4.2 Räumliche Dimensionen deutscher Energiepolitik

4.2.1 Ambitionierte Ziele

Derzeit haben EE einen Anteil von rund 10 % am PEV (vgl. Abb. 13) sowie einen Anteil von etwa 20 % am Stromverbrauch. Die Zusammensetzung des Anteils von EE am

PEV bzw. Stromverbrauch ist der Abbildung 14 bzw. Abbildung 15 zu entnehmen. Den Anteil von EE am EEV legt Abbildung 16 dar. Für das Jahr 2020 rechnen STERNER et al. (2009, S. 4) mit einer installierten Leistung der Wasserkraft von 6,5 GW, der Photovoltaik von 39,5 GW, der Bioenergie von 9,338 GW, der Geothermie von 0,655 GW, der Onshore-Windenergie von 45 GW sowie der Offshore-Windenergie von 10 GW – d. h. mit einer installierten Gesamtleistung von 110,963 GW. Ziel der Energiebranche ist es, bis 2020 einen Anteil am Stromverbrauch zwischen 30,4 % und 47 % zu erreichen, eine halbe Million Arbeitsplätze zu schaffen sowie jährlich 250 Mio. t an CO₂ zu vermeiden (vgl. Abb. 17). Wird die hohe Innovationsdynamik im Bereich der EE berücksichtigt, so kann davon ausgegangen werden, dass eine umfassende Umstellung des Energiesystems auf regenerative Energieträger bis zum Jahr 2050 realistisch ist.

Abbildung 13: Anteil von EE am PEV in Deutschland 2010

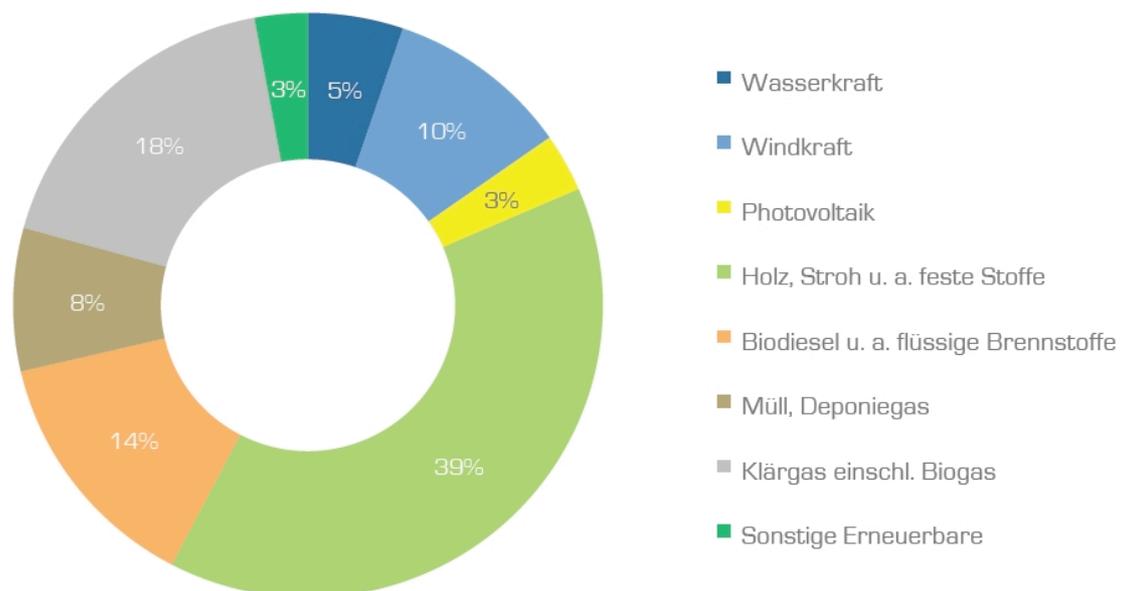


Quelle: PEYKE/ BOSCH et al. 2011, S. 42.

Von entscheidender Bedeutung ist, inwieweit es gelingen wird, einen verlustarmen Stromtransport durch den Aufbau von HGÜ-Netzen im Rahmen eines europäischen Stromverbundes zu gewährleisten. Darüber hinaus müssen geeignete Standorte zur Speicherung des Regenerativstroms identifiziert werden, um fluktuierende Beiträge von Wind und Sonne ausgleichen zu können. In diesem Zusammenhang treten auch chemische Energieträger wie H₂ und CH₄ – die nicht zuletzt aus EE gewonnen werden – in

den Blickpunkt des Interesses, denn diese können in Langzeitspeichern saisonal zur Verfügung gestellt werden. Des Weiteren erscheint es vor dem Hintergrund des Vorrangs von EE aus systemischen Gründen kontraproduktiv, weiter in Großkraftwerke zu investieren, da diese nicht in der Lage sind, adäquat auf die schwankenden Beiträge dezentraler Anlagen zu reagieren. Der Einsatz von Biomasse soll v. a. im Bereich der Produktion synthetischer Kraftstoffe für die Flugzeug- und Schiffsindustrie erfolgen. Der Nutzung von solarer Wärme kommt wiederum bei der Brauchwassererwärmung, Raumheizung, Prozesswärme und Kälteversorgung eine entscheidende Bedeutung zu (vgl. FVEE 2010).

Abbildung 14: Zusammensetzung des Anteils von EE am PEV in Deutschland 2010



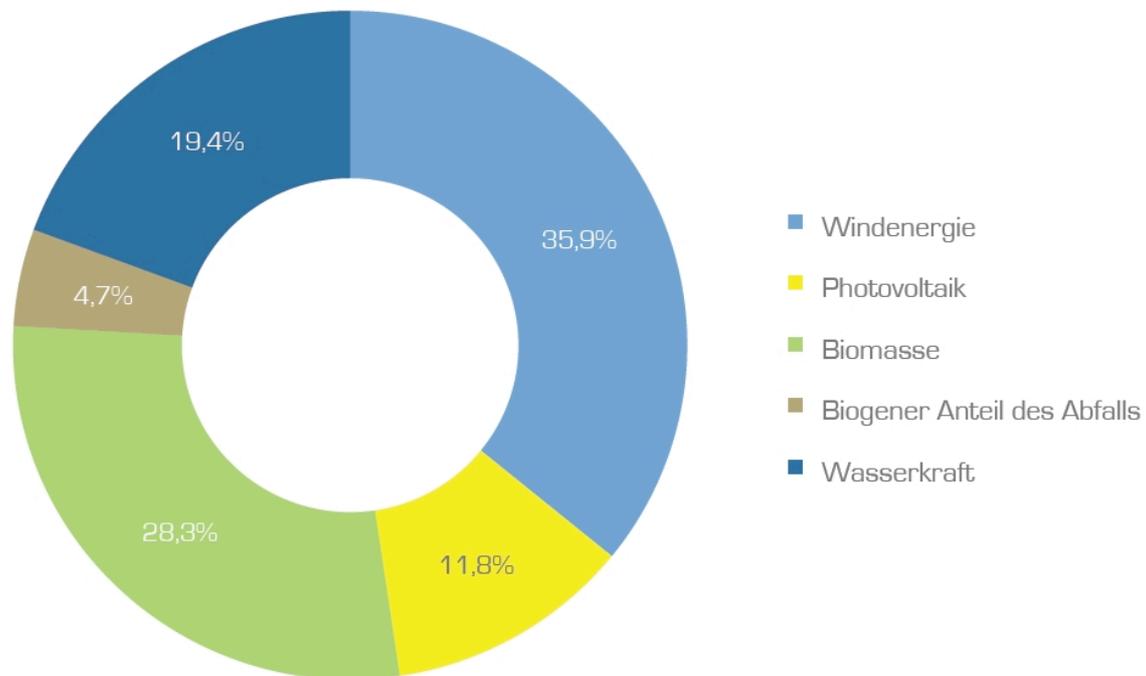
Quelle: PEYKE/ BOSCH et al. 2011, S. 43.

4.2.2 Energiekonzept der Bundesregierung

Nun stellt sich die Frage, mit welchen Maßnahmen die Bundesregierung versucht, einen geeigneten Rahmen zur Etablierung eines regenerativen Energiesystems zu schaffen. Am 28. September 2010 wurde hierzu das erste Energiekonzept der Bundesregierung seit der Ölkrise 1973 beschlossen! Die Finanzierung dieses Konzeptes sollte ursprünglich durch die Kernbrennstoffsteuer (2,3 Mrd. €/a von 2011-2016) sowie den Emissionshandel (2 Mrd. €/a) erfolgen. Es wurde betont, dass es sich bei dem Konzept um ein umfassendes Energiekonzept für den Strom-, Wärme- und Verkehrssektor und keineswegs um ein »Laufzeitverlängerungskonzept« handle (vgl. BMWi 2010a). Im Blickpunkt der Bundesregierung stand in erster Linie das Erreichen der Klimaschutzziele.

Die Kernenergie sollte dabei einen wesentlichen Beitrag leisten. Vor 1980 errichtete Kraftwerksblöcke sollten ursprünglich um 8 Jahre, später ans Netz angeschlossene um 14 Jahre länger laufen (vgl. BODE et al. 2010).

Abbildung 15: Zusammensetzung des Anteils von EE am dt. Stromverbrauch 2010

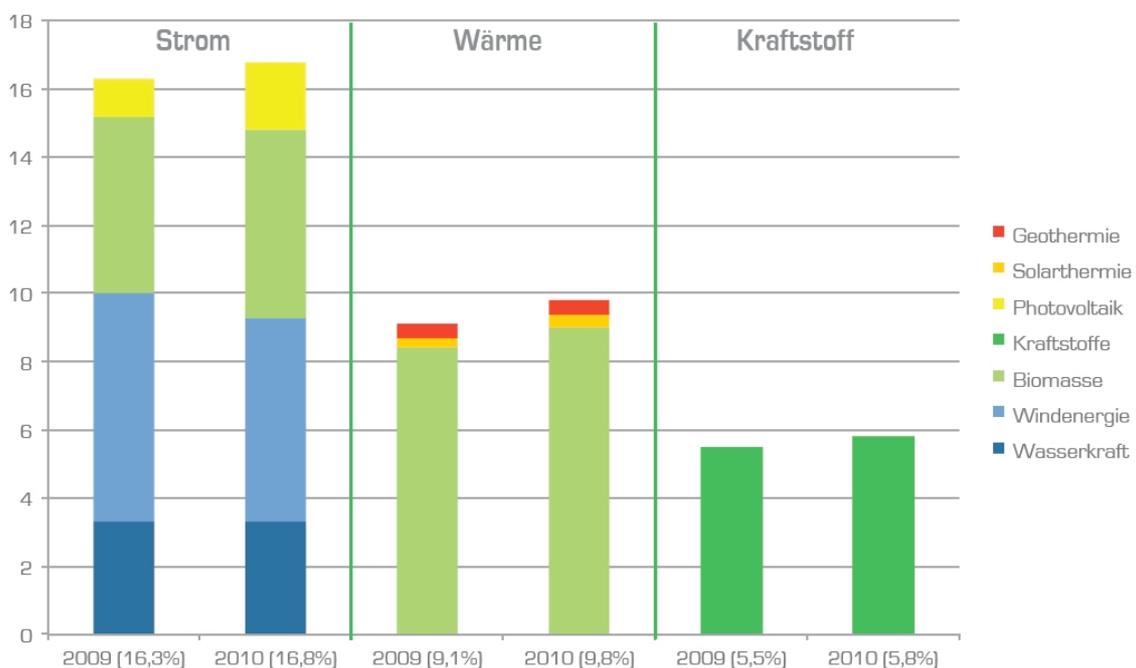


Quelle: PEYKE/ BOSCH et al. 2011, S. 15.

Die Bundesregierung wies darauf hin, dass die längere Nutzung der Kernenergie keineswegs den Ausbau von EE blockieren würde, denn nicht zuletzt hätten sich die großen Energieversorger dazu verpflichtet, einen Teil ihrer Gewinne einem Energie- und Klimafond zur Verfügung zu stellen (vgl. DIE BUNDESREGIERUNG 2010). Die Einzahlung in das Sondervermögen soll u. a. Forschungsbemühungen auf dem Gebiet Energieeffizienz und EE sowie die Markteinführung von regenerativen Technologien finanziell unterstützen (vgl. BMWi 2010a). Darüber hinaus stellten die Energiekonzerne die Behauptung auf, dass sich die grundlastfähigen Kernkraftwerke und die fluktuierenden EE gut ergänzen würden. Dies wird jedoch stark angezweifelt, denn die Stromproduktion kann der Residuallast – die aufgrund der hohen Variabilität von Stromnachfrage und -angebot innerhalb von wenigen Minuten um viele Dutzend Gigawatt schwanken kann – nur entsprechen, wenn flexible Gaskraftwerke und nicht schwerfällige AKW den regenerativen Kraftwerkspark ergänzen (SIMON 2010, S. 24). Festzuhalten ist, dass mittlerweile zumindest wieder an Reaktoren (Laufwellen-Reaktor) geforscht wird, die effizienter und weniger umweltschädlich sind (vgl. STIELER/ WALD 2011).

Mit den Ereignissen in Fukushima 2011 haben sich die Bedingungen schlagartig geändert. Die AKW werden nun früher als bisher geplant vom Netz gehen und einen rascheren Ausbau regenerativer Technologien zur Folge haben. Die EE werden als tragende Säule bezeichnet und ihr kosteneffizienter Ausbau über die Weiterentwicklung des EEG angestrebt. Der Schwerpunkt des Ausbaus wird dabei auf der Windenergie liegen. Mittels KfW-Kreditprogrammen sowie beschleunigten Planungs- und Genehmigungsverfahren steht dabei v. a. der Offshore-Bereich im Fokus. Zur Integration des steigenden Anteils an Regenerativstrom sei es zudem notwendig, den Netzausbau voranzutreiben.

Abbildung 16: Anteil von EE am EEV in Deutschland 2010



Quelle: PEYKE/ BOSCH et al. 2011, S. 16.

Eine Schlüsselstellung kommt neben den EE der Energieeffizienz zu, denn bis zum Jahr 2050 soll der Energieverbrauch – trotz eines sukzessiven Wirtschaftswachstums – halbiert werden (FROITZHEIM 2011, S. 10). Der Markt für Effizienzdienstleistungen muss hierzu ausgebaut werden. Ein weiteres zentrales Handlungsfeld stellt die Sanierung des Gebäudebestandes dar, denn immerhin entfallen 40 % der benötigten Energie auf Gebäude. Um bis 2050 einen klimaneutralen Gebäudebestand vorweisen zu können, gilt es, die Sanierungsrate zu verdoppeln. Durch eine Ausweitung von Fördermaßnahmen sowie durch eine Anpassung im Mietrecht lässt sich dies erreichen. In diesem Zusammenhang spielt auch der Ausbau von Passivhäusern eine bedeutende Rolle (vgl. MÜLLER 2011a). Weitere Handlungsfelder des Energiekonzeptes der Bundesregierung

bilden die Bemühungen zur Erhöhung des Anteils von Biokraftstoffen sowie zur Entwicklung der Elektromobilität (vgl. BMWI 2010a).

Abbildung 17: Ziele des Ausbaus von EE in Deutschland bis 2020

Ziele der gesamten Branchen 2020	
Arbeitsplätze	500.000
Anteil am Stromverbrauch	30,4 % - 47%
Anteil am Endenergieverbrauch	Mehr als 20%
CO ₂ -Vermeidung 2020	250 Mio. t/a
Exportvolumen	80 Mrd. €
Exportquote	Durchschnittlich 70%
Branchenumsatz	40,7 Mrd. €
Einsparung fossiler Brennstoffimporte durch EE	Mind. 22,6 Mrd. €
Vermiedene externe Kosten	6,3 Mrd. €
EEG-Fördervolumen	2,4 – 2,7 Mrd. €

Quelle: PEYKE/ BOSCH 2010, S. 42.

4.2.3 Erneuerbare-Energien-Gesetz

Die Grundlage des »regenerativen Energiekonzeptes« der Bundesrepublik Deutschland bildet das im April 2000 in Kraft getretene EEG. Es löste das seit 1990 bestehende StrEG ab und fördert die EE nach dem Prinzip garantierter Einspeisetarife (Green pricing) (vgl. Abb. 18). Der Anteil des EEG am Strompreis für Privathaushalte bildet neben den Kosten für Stromerzeugung, Netznutzungsentgelt, Konzessionsabgabe, Stromsteuer, Mehrwertsteuer und KWK-G nur einen relativ kleinen Posten (vgl. Abb. 19). Die Erzeuger von Regenerativstrom erhalten seitens der Energieversorgungsunternehmen – dem nächstgelegenen Netzbetreiber – die Garantie, dass dieser für eine im Gesetz festgelegte Zeitspanne (max. 20 a) und mit einem degressiv gestaffelten Vergütungssystem vorrangig abgenommen wird. Die Kosten werden an den Stromverbraucher weitergegeben, der sich mit steigenden Energiepreisen konfrontiert sieht (vgl. IWR 2000;

BMJ 2009 & Abb. 20). Entsprechend den Vorgaben der EU, muss Deutschland bis 2020 zumindest 18 % seines Bruttoenergiebedarfes mit erneuerbaren Quellen zu decken im Stande sein (vgl. EU 2008a & EU 2009a). Mit 242,3 TWh Endenergie aus EE konnte im Jahr 2009 bereits ein Anteil von 10,3 % erreicht und dadurch CO₂-Emissionen in Höhe von 106,8 Mio. t vermieden werden. Das Investitionsvolumen in regenerative Kraftwerke betrug im gleichen Jahr ca. 20 Mrd. € (vgl. MUSIOL et al. 2010).

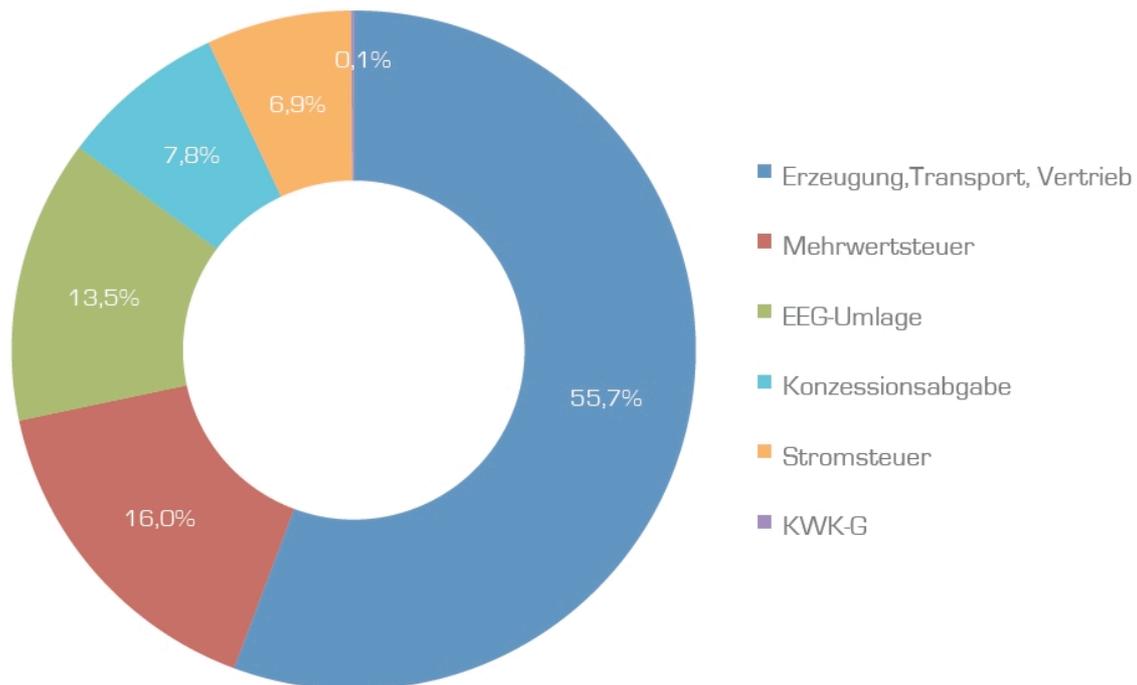
Abbildung 18: Einspeisetarife für EE in Deutschland

EEG-Vergütungen ab dem 1. Januar 2012	
Wasserkraft (bis 500 kW)	12,7 ct/kWh
Wasserkraft (ab 500 kW)	3,4 - 8,3 ct/kWh
Klär-, Gruben-, Deponiegas	3,98 - 8,6 ct/kWh
Biomasse bzw. Güllekleinanlagen	6 - 14,3 bzw. 25 ct/kWh
Geothermie	25 ct/kWh
Wind onshore (Anfangsvergütung für 5 Jahre)	8,93 ct/kWh
Wind onshore (Grundvergütung)	4,87 ct/kWh
Wind offshore (Anfangsvergütung für 12 bzw. 8 Jahre)	15 bzw. 19 ct/kWh
Wind offshore (Grundvergütung)	3,5 ct/kWh
Solare Strahlungsenergie	21,11 - 28,74 ct/kWh

Quelle: PEYKE/ BOSCH et al. 2011, S. 12.

Die ursprüngliche Form des EEG, d. h. so wie es im Jahr 2000 von der Rot-Grünen-Regierungskoalition auf den Weg gebracht wurde, stellt – wenn zusätzlich der damals beschlossene Ausstieg aus der Atomenergie berücksichtigt wird – zweifelsohne einen Meilenstein deutscher, europäischer, ja sogar globaler Energiepolitik dar. Die Verabschiedung des Gesetzes war ein klares Bekenntnis zu einer Nachhaltigkeitsrevolution im Energiebereich und damit beispiellos. Neben dem Klimaschutz war es das primäre Ziel, mittels des degressiv gestaffelten Vergütungssystems die EE hinsichtlich technologischer und preislicher Parameter sukzessive auf Augenhöhe mit fossilen Energieträgern zu bringen, ggf. diese sogar energiewirtschaftlich ins Abseits zu stellen. Mehr als ein Jahrzehnt nach Einführung des EEG ist jedoch Ernüchterung eingetreten, denn nach wie vor wird das deutsche Energieversorgungssystem von fossilen und nuklearen Energieträgern, mit einem Anteil von fast 90 % am PEV, dominiert (vgl. AGE 2011).

Abbildung 19: Zusammensetzung der Stromkosten für dt. Privathaushalte 2011

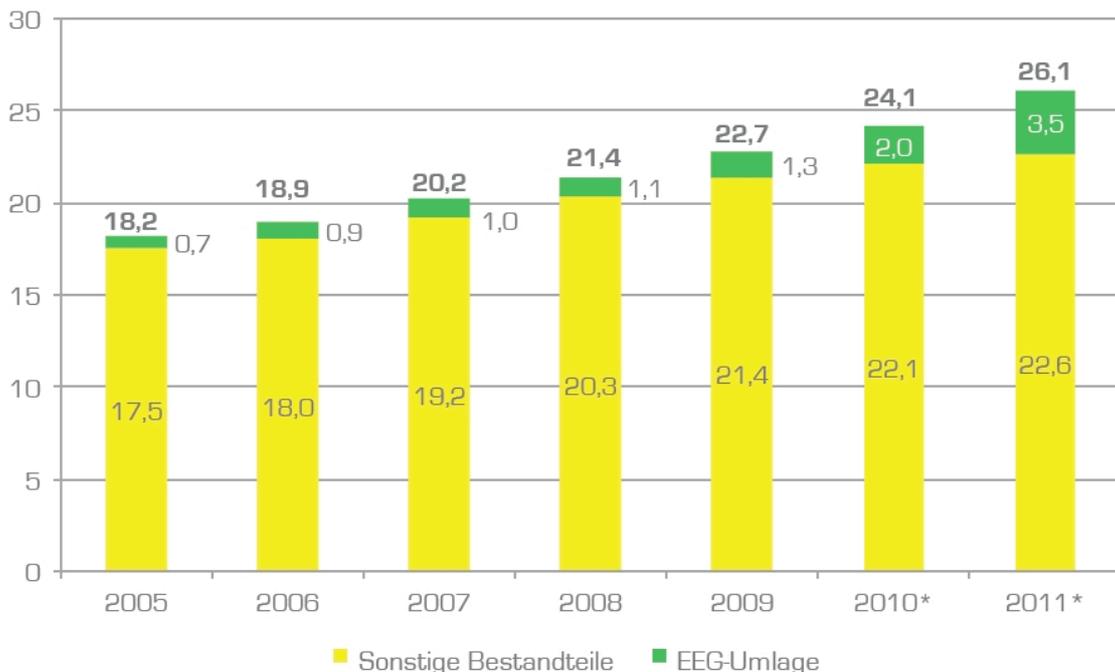


Quelle: PEYKE/ BOSCH et al. 2011, S. 26.

Selbstverständlich benötigen die Umsetzung eines alternativen Energiekonzeptes und die damit einhergehende Substitution konventioneller Energieträger einen Zeitrahmen, der weit über ein Jahrzehnt hinausreicht. Nicht zuletzt weisen MEADOWS et al. (2006) darauf hin, dass neue Technologien mindestens 20 a benötigen, um sich auf globalen Märkten durchsetzen und damit nennenswerte Kostenvorteile durch Massenfertigung erzielen zu können. Angesichts dieser Gesetzmäßigkeiten müssen sich die Verfechter einer raschen Energiewende in Geduld üben und die Entwicklungen abwarten. Dennoch erscheint die Etablierung von EE mit Blick auf die strukturelle Ausarbeitung des EEG keineswegs als gesichert. Anlass zu großer Kritik liefert die Feststellung, dass es sich nicht um ein ausgeklügeltes Energiekonzept handelt. Vielmehr fördert das EEG die regenerativen Technologien nach dem Gießkannenprinzip. Damit besteht die Gefahr, finanzielle Mittel für Technologien bereitzustellen, die langfristig – entsprechend den in Deutschland gegebenen Standortpotenzialen – keinen wesentlichen Beitrag zu einem regenerativen Energiesystem zu leisten im Stande sein werden. Eine Modellierung möglicher Entwicklungspfade aller am Energiemix beteiligten Technologien sowie eine darauf ausgerichtete Förderung könnte hierbei eine Lösung darstellen. Der Gesetzgeber ist sich dieses Problems durchaus bewusst, denn im Zuge zahlreicher Novellierungen musste immer wieder an der Vergütungsstruktur des EEG nachgebessert werden. Au-

genfällig dabei ist, dass die durchgeführten Anpassungen einen starken räumlichen Bezug haben, der in der ersten Fassung des EEG völlig außer Acht gelassen wurde. Doch sukzessive tritt nun die Raumrelevanz eines Energiesystems, das auf EE beruht, in den Blickpunkt konzeptioneller Überlegungen und strategischer Entscheidungen.

Abbildung 20: Entwicklung der monatlichen Stromkosten eines dt. 3-Personen-Haushalts



Quelle: PEYKE/ BOSCH et al. 2011, S. 27.

Die aus räumlicher Sicht bedeutendste Novellierung stellte die Einführung des **Nawa-Ro-Bonus** im Jahr 2004 dar (vgl. BMU 2004; WIEHE/ RODE 2010, S. 18 & ARBACH/ KLAGGE 2010, S. 27). Ab diesem Zeitpunkt konnten Betreiber von BGA in Abhängigkeit von der installierten elektrischen Leistung (6 ct/kWh bei ≤ 500 kW; 4 ct/kWh bei > 500 kW bis ≤ 5 MW) einen zusätzlichen Bonus erwerben, wenn sie nachweisen konnten, dass ausschließlich nachwachsende Rohstoffe aus Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Landschaftspflege oder Gartenbau – Gülle und Schlempe aus der Landwirtschaft inkludiert – die Substratgrundlage für den Fermenter bildeten. Diese Gesetzesänderung führte zu einer Revolution im Energiepflanzenbau, denn zum ersten Mal lohnte es sich für die Landwirte, Energiepflanzen großflächig anzubauen. Der Boom war umso größer, als der Landwirtschaft hierdurch eine alternative Einkommensquelle eröffnete wurde und das EEG, im Gegensatz zu den stark schwankenden Preisen auf den Agrarmärkten, Planungs- und Investitionssicherheit garantierte. Die räumlichen Auswirkungen waren gravierend, denn allein der Anbau von Silomais – die derzeit be-

deutendste Energiepflanze für BGA – erhöhte sich in Deutschland zwischen 2004 und 2009 um 32 % von 1.248.000 ha auf 1.647.000 ha. Dieser Anstieg ist ausschließlich auf die Einführung des NawaRo-Bonus zurückzuführen (vgl. DMK 2010 & LESSNER 2010). Damit einher gehen die Verdrängung von anderen Kulturarten (z. B. Wintergerste, Sommergerste, Speisekartoffel und Raps), die Verengung der landschaftlichen Sichtverhältnisse durch die hochwüchsigen Pflanzen sowie der Verlust an floristischer und faunistischer Biodiversität (BIOGASRAT 2011, S. 13).

Abbildung 21: Überblick Bioenergie Deutschland

Bioenergie 2010	
Installierte Gesamtleistung	6.390 MW
Erzeugte Strommenge	33,5 TWh
Anteil am Stromverbrauch	5,5%
Erzeugte Wärmemenge	127 TWh
Anteil am Wärmeverbrauch	9,0%
Biokraftstoffproduktion	35,9 TWh (3,9 Mio. t)
Anteil am Kraftstoffverbrauch	5,8%
CO ₂ -Vermeidung	65,2 Mio. t
Arbeitsplätze	128.000
Branchenumsatz	12 Mrd. €

Quelle: PEYKE/ BOSCH et al. 2011, S. 7.

Prinzipiell ist davon auszugehen, dass es innerhalb einer Raumeinheit ab einem Maisanteil von 40 % an der Ackerfläche zu einer Reduktion der floristischen Artenzahl kommt. Darüber hinaus bieten Maisstandorte keinen geeigneten Lebensraum für Leitarten wie Wiesenweihe, Kiebitz und Wachtelkönig (ENTRUP/ KIVELITZ 2010, S. 37). All dies hat zu einem schlechten Image der Biogasbranche beigetragen und den Ausbau dieses Technologiepfades erheblich erschwert (vgl. CASARETTO 2010). Die Kritik erscheint jedoch nicht immer berechtigt, da sich im Zuge der Verdrängung von anderen Kulturarten nicht nur Nachteile für Natur und Landschaft ergeben. WIEHE/ RODE (2010, S. 18.ff.) weisen darauf hin, dass in Anbetracht der entscheidenden Indikatoren zur ökologischen Bewertung des Energiepflanzenbaus, wie Anbauverfahren, Bodenbearbeitung, Maschi-

neneinsatz, Humuszehrung, Düngung, Pflanzenschutz und Wasserverbrauch, die Substitution von Sommergerste und Speisekartoffeln durch einen verstärkten Maisanbau nicht zwangsläufig zu einer Verschlechterung der Ökobilanz führt. Zwar fällt die Humusbilanz bei Silomais im Vergleich zur Sommergerste aufgrund eines späten Reihenschlusses entsprechend der phänologischen Phasen schlechter aus. Dafür erfordert der Silomaisanbau einen geringeren Düngemiteleinsatz. Die Speisekartoffel hat im Gegensatz zu Silomais wiederum eine geringere Wuchshöhe sowie eine prächtigere Blüte vorzuweisen. Dies wirkt sich nicht zuletzt positiv auf das Landschaftsbild aus. Demgegenüber erfordert die Speisekartoffel jedoch einen um ein Vielfaches höher liegenden Pflanzenschutzmittel- und Arbeitseinsatz.

In der öffentlichen Wahrnehmung ist eine derart differenzierte Bewertung des Energiepflanzenbaus, wie es von WIEHE/ RODE (2010) gefordert wird, nicht festzustellen. Die Suche nach alternativen Energiepflanzen gestaltet sich äußerst schwierig, da Silomais aufgrund seines hohen Biomassebildungs- und CH_4 -Potenzials, seiner hohen Wassernutzungseffizienz und seines züchterischen Vorsprungs (z. B. Kälteresistenz) kaum zu ersetzen ist (vgl. DÖHLER/ HARTMANN 2010 & SCHÜTTE 2010, S. 7). Bei Mais werden FM-Erträge von durchschnittlich 50 t/ha erzielt, wobei einer BGA davon – aufgrund von Verlusten durch Anschnitt, Atmung und Fehlgärungen – 44 t tatsächlich zur Verfügung stehen. Durch den zukünftigen Einsatz von speziellen Energiemaissorten ist langfristig sogar mit FM-Erträgen um die 70 t/ha und dementsprechend hohen Methanerträgen von bis zu 7.460 m^3 zu rechnen. Jedoch übertrifft allein der gegenwärtige, durchschnittliche Hektarertrag denjenigen konkurrierender Energiepflanzen bereits erheblich. Mittels Getreide-GPS werden 35 t FM und 3.626 m^3 CH_4 , mittels Grassilage nur mehr 25 t FM und 2.514 m^3 CH_4 /ha erzielt. Zwar werden beim Anbau von Zuckerrüben deutlich höhere Flächenerträge generiert, jedoch ist fraglich, welcher Masseanteil davon tatsächlich geerntet und verwertet werden kann. Des Weiteren ist bei Zuckerrüben mit Konservierungsverlusten sowie Reinigungskosten zu rechnen. Bei Betrachtung des CH_4 -Ertrages pro Hektar, liegt Mais mit 4.662 m^3 noch vor den Zuckerrüben mit 4.144 m^3 . Auch mittels Zuckerhirsen können die FM-Erträge von Silomais übertroffen werden, jedoch fallen die TM-Erträge und damit auch die CH_4 -Ausbeute pro Fläche deutlich geringer aus. Lediglich auf trockenen Standorten ist der Einsatz von Hirsen eine lukrative Alternative zum Silomais. Neuerdings erfährt das sog. Ungarische Stepengras (Szarvasi) erhöhte Aufmerksamkeit, da es hohe Flächenerträge verspricht und

nach der Aussaat mehrere Jahre nachwächst. Problematisch ist jedoch, dass bei einem Verzicht auf Vernalisation und einer daraus folgenden Aussaat im Frühjahr das erste Ertragsjahr verloren geht (vgl. BSV 2012).

Zusammenfassend ist zu betonen, dass die Maispflanze sowohl hohe Frischmasse- und Trockensubstanzerträge pro Hektar als auch einen hohen Methangehalt im Biogas garantiert. Darüber hinaus weist Silomais – neben den Getreide-Ganzpflanzensilagen – mit 39 ct/ m³ Methan bzw. 4 ct/ kWh Strom die geringsten Bereitstellungskosten (Kosten für Anbau, Ernte, Logistik, Lagerung und Transport) auf und stellt damit die entscheidende Energiepflanze hinsichtlich der Rentabilität der Bioenergieproduktion dar. In Abhängigkeit von der Standorteignung sowie der Leistung der BGA ist bei Silomais mit Substratbereitstellungskosten von 32-40 €/ t zu rechnen. Auf hervorragenden Standorten ist demnach von Gewinnen um 120.000 €, auf Grenzertragsstandorten – d. h. auf Standorten mit einer Kapitalrentabilität von 8 % – um 50.000 € auszugehen.

Für BGA-Betreiber ist es nahezu unmöglich, mit alternativen Energiepflanzen eine Kapitalrentabilität von 8 % zu erzielen. Die Vergärung von Grassilage, bei der Bereitstellungskosten von 55 ct/ kWh anfallen, ist nur rentabel, wenn der Landschaftspflegebonus und Förderprogramme wie MEKA, KULAP und HEKUL in Anspruch genommen werden oder die Kosten für die Bereitstellung der Grassilage von anderen Akteuren bzw. Betriebszweigen übernommen werden (DÖHLER/ HARTMANN 2010, S. 40ff.). Grund zur Hoffnung hinsichtlich einer Substitution der Maispflanze als Energiepflanze gibt lediglich die aus Nordamerika stammende Energiepflanze »Durchwachsene Silphie (Silphium perfoliatum L.)«. Es werden nicht nur vergleichbare Flächenerträge erzielt, vielmehr ist bei dieser Pflanze von einem hohen Bodenbedeckungsgrad sowie von der zusätzlichen Funktion als Bienenweide auszugehen. Problematisch ist, dass eine Direktsaat bis dato nicht sinnvoll ist, da die Jungpflanzen dem Unkrautdruck nicht Stand halten könnten. Deshalb empfiehlt sich der Einsatz von vorkultivierten Pflanzen. Dieser ist jedoch kostenintensiv und aufwändig, da aufgrund der noch fehlenden Zulassung von wirksamen Pflanzenschutzmitteln die weitere Unkrautbekämpfung durch Maschinenhacke zu vollziehen ist (vgl. FNR 2011).

Der gesamte Energiepflanzenbau für BGA nimmt mittlerweile eine Fläche von 530.000 ha ein (vgl. ENTRUP/ KIVELITZ 2010). Bemerkenswert ist, dass trotz der groß-

zügigen Vergütungsstruktur des EEG und der starken räumlichen Ausweitung des Energiepflanzenbaus die Biogasbranche dennoch 2007 in eine schwere Krise geriet, da sie beim Kampf um die Substrate mit den lukrativen Angeboten aus Nahrungs- und Futtermittelindustrie nicht mehr mithalten konnte. Steigende Preise für Lebensmittel, aufgrund einer starken Nachfrage nach veredelten Lebensmitteln in Indien und China sowie einer expandierenden Bioethanolindustrie in Brasilien, führten zu diesem Ungleichgewicht und trieben viele Anlagenbetreiber, die zuvor jahrelang üppig vom EEG finanziert wurden, in die Insolvenz (vgl. PELLMEYER 2008; OZLEM 2008; BOSCH/ PEYKE 2008 & BOSCH/ PEYKE 2010a).

Darüber hinaus wurden Zweifel an der ökologischen Verträglichkeit einer aus Sicht von Naturschutzverbänden zu einseitigen Ausrichtung der Branche auf die Energiepflanze Silomais laut (vgl. NABU 2010). Um die Verwendung von Reststoffen wieder lukrativ zu gestalten und damit die Ausweitung des Energiepflanzenbaus einzudämmen, wurden im EEG 2009 der Gülle-Bonus und der Landschaftspflegebonus eingeführt. Beim Gülle-Bonus erhalten Anlagenbetreiber eine zusätzliche Vergütung (4 ct/ kWh bei ≤ 150 kW; 1 ct/ kWh bei > 150 kW bis ≤ 500 kW), wenn der Gülleanteil an den verwerteten Substraten mindesten 30 % beträgt. Der Landschaftspflegebonus (2 ct/ kWh) wird gewährt, wenn es sich bei mehr als 50 % des eingesetzten Substrates um Schnittgut aus der Pflege von naturschutzfachlich wertvollen Wiesen handelt (vgl. BMJ 2009). Diese Maßnahmen sind folglich als Reaktion auf die übermäßige räumliche Expansion des Biogassektors zu verstehen und besitzen damit eine große Raumrelevanz.

Erstaunlich ist, dass mit dem EEG 2009 vor allem die Wirtschaftlichkeit von kleinen Anlagen Berücksichtigung fand und dadurch erneut ein Boom im Anlagenbau ausgelöst wurde (vgl. KRAUS 2010). So wurde die ohnehin höchste Grundvergütung, die lediglich jenen Anlagen zu Gute kommt, die eine Leistung von max. 150 kW aufweisen, zusätzlich um einen Cent auf 11,67 ct/ kWh angehoben. Auch der Gülle- und Landschaftspflegebonus rückten speziell kleinere Anlagen in den Fokus der Ausbaubemühungen des Gesetzgebers. Des Weiteren wurde Anlagen bis max. 500 kW die Möglichkeit eingeräumt, durch Umrüstung auf neue Filtertechnologien den sog. Luftreinhaltebonus in Höhe von 1 ct/ kWh erwerben zu können. Ziel dabei ist es, die Emissionen der giftigen und möglicherweise krebserregenden chemischen Verbindung Formaldehyd (Methanal) auf unter 40 mg/ m³ zu begrenzen.

Alle diese Korrekturen an der Gesetzgebung sind ein deutlicher Beleg dafür, dass es sich beim EEG um ein eher schlecht durchdachtes energiepolitisches Konzept handelt. Der Gesetzgeber hat nicht nur die ökonomische, sondern auch die ökologische Tragweite seiner Bestimmungen aus dem Jahr 2000 allenfalls zum Teil erfasst und damit zu einem erheblichen Imageschaden von EE sowie der Verschwendung monetärer Ressourcen beigetragen. Gerade im Bereich Bioenergie sind mittlerweile deutliche Erosionsprozesse an der strukturellen Ausgestaltung des Energiekonzeptes festzustellen. Die letzten Jahre haben gezeigt, dass die Rentabilität der Bereitstellung von Biomasse für den Energiesektor in ein komplexes Netz globaler Zusammenhänge eingebettet ist. Die bedeutsamen Interdependenzen innerhalb des Teilsystems Bioenergie wurden jedoch im Zuge der Gesetzgebung nicht berücksichtigt. So war nicht absehbar, dass eine steigende Nachfrage nach Milch- und Fleischprodukten in China zu einem Kollaps der deutschen Biogasbranche führen würde. Eine Systemanalyse hätte diese Verstrickungen offenbaren und zu einer entsprechenden Anpassung in der Gesetzgebung führen können. Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es deshalb, eine derartige Dynamik mittels eines innovativen Standortkonzeptes abbilden zu können. Allein dadurch lassen sich kostenintensive Fehlentwicklungen vermeiden.

Aus Abbildung 21 sind abschließend die wesentlichen Kenngrößen der Bioenergie zu entnehmen.

Abbildung 22: Überblick Photovoltaik Deutschland

Photovoltaik 2010	
Stromproduktion	12 TWh
Installierte Leistung	17,2 GWp
Anteil am Stromverbrauch	1,9%
Wirkungsgrad	Dünnschichtmodule: 5 - 13%
	Dickschichtmodule: 13 - 24%
Arbeitsplätze	130.000
CO ₂ -Vermeidung	6,4 Mio. t
Exportquote	50%
Wertschöpfung in Deutschland	10 Mrd. €

Quelle: PEYKE/ BOSCH et al. 2011, S. 47.

Abbildung 23: Überblick Solarthermie Deutschland

Solarthermie 2010	
Wärmeproduktion	5,2 TWh
Installierte Leistung	9,8 GW [therm.]
Installierte Kollektorfläche	14 Mio. m ²
Anteil am Wärmeverbrauch	< 1%
CO ₂ -Vermeidung	> 1 Mio. t
Wertschöpfungsanteil Inland	> 75%

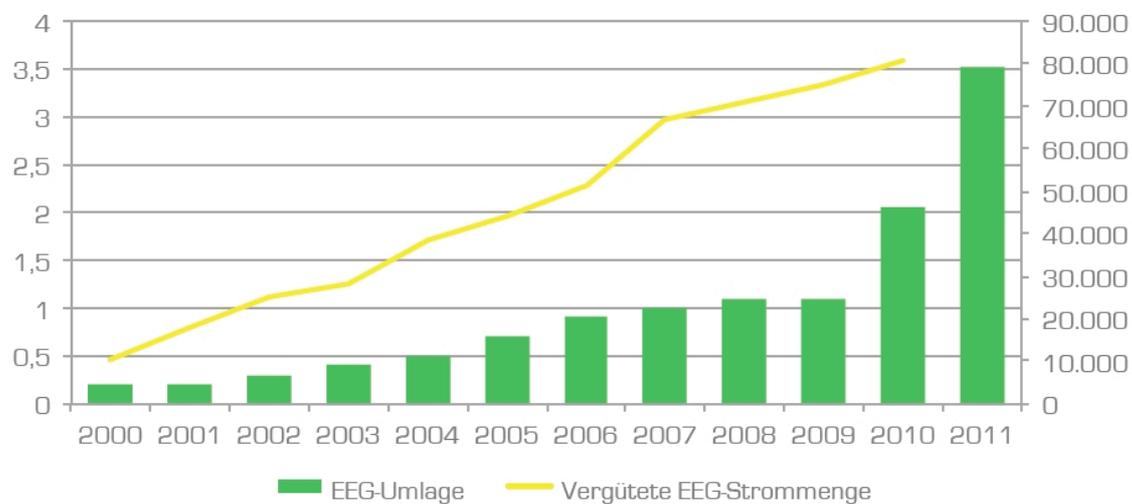
Quelle: PEYKE/ BOSCH et al. 2011, S. 47.

Auch im Bereich der gesetzlichen Regelungen zur Solarenergie (Überblick vgl. Abb. 22 u. 23) wurden die Schwachstellen der deutschen Energiestrategie bereits aufgedeckt. Im Zuge der dramatischen Veränderungen auf den internationalen Finanzmärkten im Jahr 2008, dem Wegfall des spanischen Marktes sowie der zunehmenden Konkurrenz aus China entwickelte sich die PV-Industrie zu einem Angebotsmarkt. Es kam zu einem Überangebot an PV-Modulen, so dass zwischen 2006 und 2009 ein Preisverfall von 25 % je Modul festzustellen war und sogar Angebote von 3.000 €/ kW für Endkunden möglich wurden (vgl. PV-MAGAZIN 2009a; PV-MAGAZIN 2009b & BECKER 2009). Der Trend zu immer preiswerteren Modulen konnte auch nach 2009 aufrechterhalten werden, denn polykristalline PV-Module sind heute bereits ab 2.000 €/ kW erhältlich (HS ONLINEMARKETING GMBH 2012). Viele Hausbesitzer und Projektentwickler wussten diese günstigen Bedingungen für sich zu nutzen und errichteten PV-Anlagen auf ihren Dächern bzw. in der Freifläche, um in den Genuss der EEG-Förderung zu kommen. So erhöhte sich die Nachfrage nach Modulen in einer Weise, wie es Politik und Wirtschaft nicht für möglich gehalten hatten. Die räumlichen Auswirkungen dieser Entwicklung waren enorm, denn weithin sichtbare Freiflächenanlagen und von Modulen überzogene Dachflächen prägten mehr und mehr das Landschaftsbild.

Die gesellschaftliche Kritik an einem derart starken Eingriff in historisch gewachsene Kulturlandschaften sowie die Überbauung von Flächen, die eigentlich der Nahrungsmittel- und nicht der Energieproduktion dienen sollten, ließ nicht lange auf sich warten. So wurden die politischen Akteure erneut von den komplexen Systemzusammenhängen

überrascht und konnten nur noch im Rahmen einer kontrovers diskutierten gesetzlichen Nachbesserung, die nicht zuletzt ein hohes ökonomisches Risiko für die Solarbranche barg, reagieren. Im Rahmen der Novellierung des EEG 2010 – deren Ziel es war, die Vergütung für Solarenergie an die zu erwartenden Kosten- und Preisentwicklungen anzupassen (SCHRÖDTER/ KURAS 2011, S. 144) – wurde schließlich festgelegt, dass die Einspeisevergütung zunächst um 13 ct/ kWh (ab 01.07.2010) und drei Monate später um weitere 3 ct/ kWh zurückgesetzt wird. Ackerflächen fielen gänzlich aus der Vergütungsstruktur des EEG heraus (vgl. BMU 2010).

Abbildung 24: EEG-Umlage in ct/ kWh und vergütete Strommenge in GWh



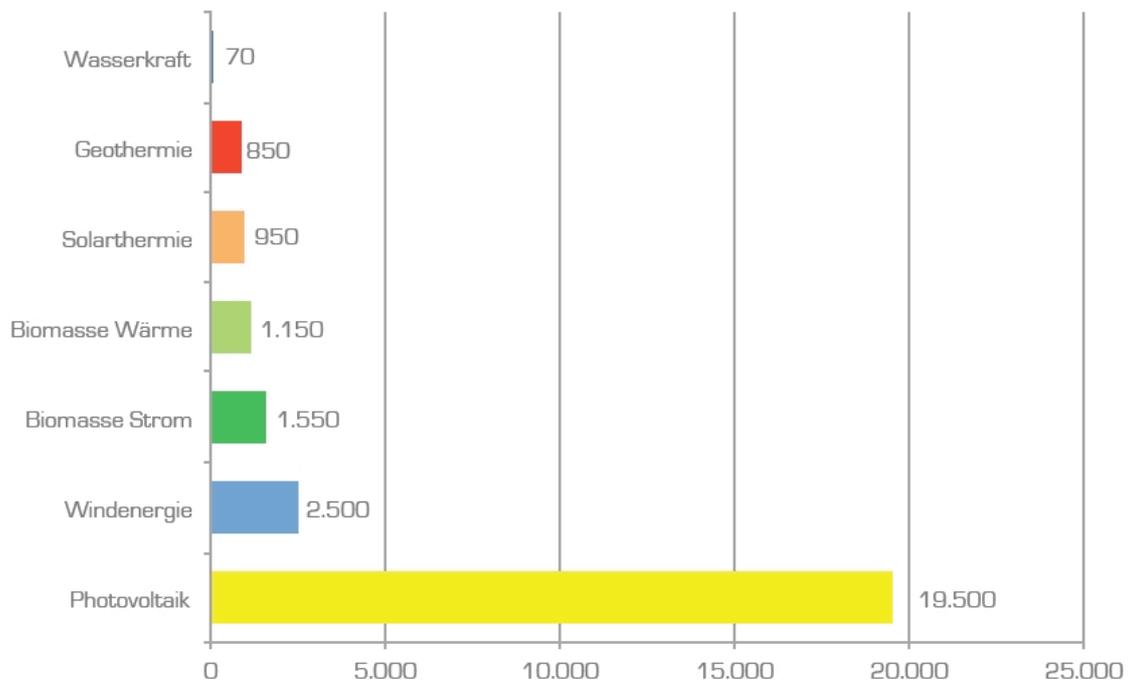
Quelle: PEYKE/ BOSCH et al. 2011, S. 11.

Die Kritik am EEG richtete sich vor allem auf die Tatsache, dass der Photovoltaik – die lediglich einen Anteil von 12 % am Ökostrommix hat – 40 % der gesamten EEG-Umlage (3,5 ct/ kWh) zukommen (vgl. Abb. 24). Allein dadurch lassen sich die hohen Investitionen in die Errichtung von PV-Anlagen (vgl. Abb. 25) und die damit einhergehende rasante Leistungssteigerung erklären (vgl. Abb. 26). Selbst der Bundesverband Solarwirtschaft erkennt im EEG eine Bevorteilung der Solarbranche und stimmt einer Nachbesserung zu.

Problematisch erscheint die Tatsache, dass sich aufgrund des EEG eine Entkopplung von Angebot und Nachfrage ergeben hat (vgl. MÜLLER 2011b). Die bisherige Form des EEG lässt einen grenzenlosen Ausbau von regenerativen Kraftwerken zu und vergütet diesen sogar üppig. Beim Umbau des Energiesystems ist jedoch auch zu berücksichtigen, welche Flächen zur Bedarfsdeckung tatsächlich benötigt werden und welche nicht.

Dabei darf nicht außer Acht gelassen werden, dass die Solarbranche in Deutschland einen wichtigen Arbeitgeber darstellt (vgl. HEUP/RENTZING 2011; HEUP 2011a; RENTZING 2011a & RENTZING 2011c).

Abbildung 25: Investitionen in die Errichtung von EE in Deutschland 2010 in Mio. €

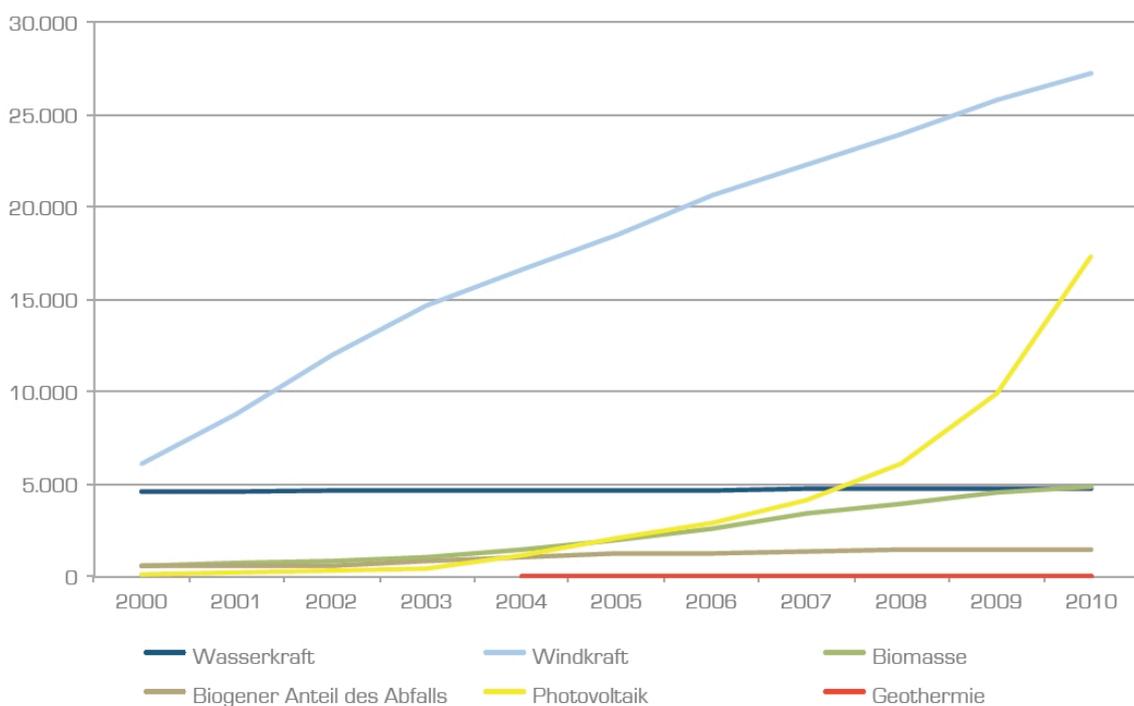


Quelle: PEYKE/ BOSCH et al. 2011, S. 24.

Raumrelevante Neuerungen des EEG im Bereich Windenergie sind ebenfalls zahlreich vorhanden. Bedeutend in jüngster Zeit (EEG 2009) ist bspw. die Gewährleistung des **Repowering-Bonus** von 0,5 ct/ kWh für Neuanlagen, die die Altanlagen (mindestens zehn Jahre am Netz) ersetzen und in diesem Zusammenhang zumindest eine Verdoppelung der installierten Leistung generieren bzw. maximal die fünffache Leistung aufweisen. Trotz dieses finanziellen Anreizes ist der Leistungszuwachs durch Repowering noch marginal. In den ersten sechs Monaten des Jahres 2010 wurden lediglich acht Windenergieanlagen, mit einer Leistung von insgesamt 2,88 MW, durch 3 Anlagen, mit insgesamt 6,9 MW, substituiert. Neben langwierigen Planungsprozessen und der Berücksichtigung der Flugsicherheit bilden v. a. raumordnungsrechtliche Unwägbarkeiten, wie die Unklarheit über die langfristige regionale Festlegung von Vorrang- und Abstandsflächen, einen Hemmfaktor bei den Bemühungen um Repowering. In Abhängigkeit von diesen Einflussfaktoren sowie von der zulässigen Gesamthöhe von WKA wird der Ausbau der Windenergie im Onshore-Bereich erheblich schwanken. Studien gehen

bis zum Jahr 2020 von mindestens 23.000 MW (das würde aus heutiger Sicht einem massiven Leistungsrückgang aufgrund von Rückbau, Höhen- und Flächenbeschränkungen entsprechen) und von maximal 45.000 MW installierter Leistung (durch Repowering und neu ausgewiesene Flächen) aus. Es ist zu erwarten, dass sich v. a. die Neuregelung hinsichtlich der Verteilung der Gewerbesteuer positiv auf den Ausbau der Windenergie auswirken wird. Vor dem 1. Januar 2009 hatte bei Errichtung eines Windparks lediglich jene Gemeinde Anspruch auf die Gewerbesteuer, in der sich der Sitz der Betreibergesellschaft befand. Mittlerweile erhält die Standortgemeinde 70 % der Steuereinnahmen (vgl. BOEING 2011). Die Akzeptanz von WKA in unmittelbarer Nähe zum Wohnort dürfte sich damit erhöhen.

Abbildung 26: Entwicklung der installierten Leistung von EE in Deutschland in MW



Quelle: PEYKE/ BOSCH et al. 2011, S. 23.

Die Beispiele aus Bio-, Solar- und Windenergie verdeutlichen, dass die energiepolitischen Entscheidungsträger mit dem Aufbau eines Vergütungssystems, das einen Zusammenhang zwischen dem langfristigen Potenzial eines Energieträgers innerhalb eines Untersuchungsraumes sowie seiner monetären Würdigung herstellt, überfordert sind. Der Gesetzgeber läuft den Entwicklungen auf globaler, nationaler und regionaler Ebene hinterher und ist nur noch in der Lage, mittels kurzfristiger Anpassungen im Gesetzestext auf Strukturbrüche zu reagieren. Eine vorausschauende Kraftwerkseinsatzplanung,

die nicht zuletzt auch Planungs- und Investitionssicherheit für Unternehmen und Anlagenbetreiber schafft, ist dadurch nicht möglich. Die vorliegende Arbeit ist in diesem Zusammenhang als Versuch zu verstehen, diese Blockade zu lösen.

4.2.4 Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz

Einen weiteren Pfeiler deutscher Energiepolitik stellt das EEWärmeG dar. Es besteht die Absicht, bis zum Jahr 2020 14 % des EEV für Wärme mittels regenerativer Technologien sicherzustellen. Im Fokus steht dabei die Bereitstellung von Warmwasser, Prozess-, Raum- und Kühlwärme. Von wesentlicher Bedeutung seit dem Jahr 2009 ist, dass bei Neubauten die Integration von regenerativen Technologien (z. B. Wärmepumpe, Holzpellettheizung) zur Warmwassergewinnung und Heizung Pflicht ist. Der Umfang des Einsatzes von EE wird für Bauherren vorgeschrieben: Wird die Wärme mittels Festbrennstoffen oder Heizöl bereitgestellt, muss ein Anteil der EE von mindestens 50 % gegeben sein. Bei der Verwendung von Gas gilt es wiederum, zumindest 30 % mittels Biogas zu decken. Die Mineralöl- bzw. Gaswirtschaft muss dieser Forderung gleichermaßen entsprechen. Dies geschieht einerseits durch die Beimischung von Bioölen zum Heizöl, andererseits durch die Integration von Biomethananlagen in die Erdgasnetzinfrastruktur. Bevorzugt der Bauherr den Einsatz solarthermischer Anlagen, so müssen damit 15 % seines Wärmebedarfes bereitgestellt werden. Hinsichtlich der Inwertsetzung von Umwelt- und Erdwärme schreibt der Gesetzgeber vor, dass eine spezifische Jahresarbeitszahl zu garantieren ist. Dies bedeutet, dass – in Abhängigkeit von der Wärmequelle – je eingesetzter Kilowattstunde Strom ein mehrfaches an Kilowattstunden Wärme zu erzeugen ist (vgl. JANZING 2011a).

JANZING (2011, S. 95) betont, dass – im Gegensatz zur Bioenergie – der Einsatz von solarthermischen Anlagen den Vorteil der Unabhängigkeit von Energiepreisen bietet. Durch den Einsatz von Wärmepumpen bestehe hingegen die Gefahr, in die Abhängigkeit von örtlichen Stromanbietern zu kommen. Des Weiteren sei zu überlegen, ob nicht auch im Bereich Altbauten bundesweit Regelungen zur Integration von Ökowärme getroffen werden sollten. Bis dato habe diesbezüglich lediglich Baden-Württemberg Vorgaben gemacht.

4.3 Fazit zur Energiepolitik

Die Analyse der konzeptionellen Ansätze zum Ausbau von EE auf Ebene der EU und Deutschlands hat deutlich gezeigt, dass die Ressource Raum in unzureichendem Maße

Berücksichtigung findet. Auf europäischer Ebene werden räumliche Aspekte lediglich für den Bereich Biokraftstoffe näher thematisiert. Die Formulierungen des EEG und des EEWärmeG sowie das 2010 verfasste Energiekonzept der Bundesregierung besitzen zwar eine große Raumrelevanz, jedoch wird die Ressource Raum hinsichtlich der Ausgestaltung der Vergütungsstruktur nur in der Weise berücksichtigt, wie es einen überdimensionierten Ausbau einer bestimmten regenerativen Technologie zu verhindern bzw. eine bislang wenig bedeutsame regenerative Technologie zu unterstützen gilt. Die Gestaltung des Ausbaus von EE entsprechend der regionalen Besonderheiten von Teilräumen ist nicht zu erkennen.

Mit der Einführung des EEG im Jahr 2000 wurde seitens der Politik der Versuch unternommen, das Fundament für eine umfassende Energiewende zu legen. Zwar können die starken Zuwachsraten beim Ausbau von dezentralen Kraftwerken innerhalb der letzten zwölf Jahre generell als Beleg für den Erfolg der deutschen Energiestrategie angesehen werden. Dennoch erkannte der Gesetzgeber bereits nach wenigen Jahren die Notwendigkeit, erhebliche Korrekturen am Gesetzestext vornehmen zu müssen (vgl. SCHRÖDTER/ KURAS 2011). Für manche Technologien stellten der Einspeisevorrang sowie der spezifische Vergütungssatz keinen ausreichenden Anreiz zur räumlichen Diffusion dar. Neue Anreize wie die Einführung von Bonus-Vergütungen mussten gesetzt werden. Andere Technologien erfuhren hingegen einen Ausbau, der zu neuen Dimensionen von Flächennutzungskonkurrenz beitrug und ein Überdenken des Energiekonzeptes als angebracht erscheinen ließ.

Die Raumwirksamkeit des EEG wurde schlichtweg unterschätzt und führt den politischen Akteuren auch heute noch die räumlichen Grenzen ihres Handelns deutlich vor Augen. War die Politik im Zuge der Erarbeitung der ersten Fassung des EEG noch die treibende Kraft beim Ausbau von EE, so geriet sie im Zuge der darauffolgenden EEG-Novellierungen mehr und mehr in die Defensive. Es entstand der Eindruck, als ob der Raum nun zum entscheidenden und damit bestimmenden Faktor innerhalb der deutschen Energiestrategie emporgestiegen sei. Mit seinen begrenzt zur Verfügung stehenden Flächen, seinen überlasteten Senken und gefährdeten Ökosystemen sowie der in ihm lebenden Menschen, die einer zu starken Technisierung von Kulturlandschaft kritisch gegenüberstehen, engte er die Initiative der Politik zusehends ein. Die raumordnungsrechtliche Integration von EE, d. h. die Schaffung von gebietsbezogenen Nut-

zungsregelungen für alle Technologien – nicht nur für die Windenergie –, könnte die Politik wieder in eine aktive Rolle führen.

Nach Bearbeitung der Fragestellung 1 wird nun tiefer in das Wesen eines raumverträglichen Standortkonzeptes vorgedrungen. **Dabei ist zu hinterfragen, ob Gesetzgebung im Bereich von EE nur mehr als eine Reaktion auf in räumlichen Strukturen und Prozessen sich manifestierenden Fehlentwicklungen zu verstehen ist oder ob ihr nicht auch noch die Möglichkeit einer aktiven räumlichen Gestaltung – evtl. im Bereich der Raumplanung – innewohnt.** In jedem Fall gilt es, in der Standortplanung für EE neue Wege zu gehen und der Politik alternative Planungskonzepte zur Seite zu stellen. Hierzu wird im folgenden Kapitel ein innovativer Ansatz im Bereich der Standortplanung für EE vorgestellt und erläutert.

5 Ganzheitlicher Ansatz zur räumlichen Integration von EE

Im Folgenden gilt es, die in Kapitel 1.3 formulierten Thesen 2 und 3 zu überprüfen. Dabei geht es zunächst um die Frage, inwieweit bei der Verortung von EE die Raumverträglichkeit im Mittelpunkt des standortplanerischen Kalküls steht. In einem weiteren Schritt gilt es zu untersuchen, ob ein raumverträglicher Ausbau tatsächlich realisiert werden kann, wenn der Fokus allein auf die Ansprüche der Technologie gerichtet ist. Zum weiteren Verständnis ist es jedoch zunächst erforderlich, zentrale Begriffe näher zu erläutern.

5.1 Begriffsdefinitionen

5.1.1 Standortfaktor und Standort

Die Begriffe »Standort(s)faktor«, »Standort« und »Potenzial« sind im Rahmen der vorliegenden Arbeit von zentraler Bedeutung und bedürfen daher einer exakten Erläuterung.

Bereits mit WEBER (1909, S. 16) rückte die Kostenfrage in den Fokus der Standortplanung, denn er versteht *„unter einem Standortfaktor einen seiner Art nach scharf abgegrenzten Vorteil, der für eine wirtschaftliche Tätigkeit dann eintritt, wenn sie sich an einem bestimmten Ort oder auch generell an Plätzen bestimmter Art vollzieht. Einen Vorteil, d. h. eine Ersparnis an Kosten und also für die Standortlehre der Industrie eine Möglichkeit, dort ein bestimmtes Produkt mit weniger Kostenaufwand als an anderen Plätzen herzustellen; noch genauer gesagt: den als Ganzes betrachteten Produktions- und Absatzprozeß eines bestimmten industriellen Produkts nach irgend einer Richtung billiger durchzuführen als anderswo.“*

SMITH (1971) und DIEDERICH (1979, S. 137) erweiterten diesen Ansatz, indem sie betonten, dass Standortfaktoren, je nach dem Ort der Unternehmung, nicht nur die Kosten sondern auch die Erlössituation beeinflussen können. BRÜCHER (1982, S. 36) richtet die Aufmerksamkeit hingegen auf die physische, politische, ökonomische, soziale sowie kulturelle Natur von Standortfaktoren und weist auf ihre positiven sowie negativen Konsequenzen für eine neue Unternehmung auf jedem Punkt der Erdoberfläche hin. Wesentlich ist, dass Standortfaktoren an bestimmte Standorte gebunden sind. Doch hier stellt sich die Frage, welche räumliche Ausdehnung ein Standort tatsächlich erfahren

kann. BROCKFELD (1997, S. 29) betont in diesem Zusammenhang, dass es sich bei einem Standort sowohl um eine konkrete, eng begrenzte Stelle im Raum als auch um eine beliebig große Region handeln kann. BATHELT/ GLÜCKLER (2002, S. 47) unterstützen die Ansicht, dass der Standortbegriff ein relativer ist, da er von der jeweils gewählten räumlichen Maßstabsebene – lokal, regional, national, supra-national und global – abhängt. Aus globaler Perspektive sei es durchaus zulässig, einen einzelnen Staat als Standort zu bezeichnen. Charakteristisch für einen konkreten Standort ist, dass seine quantitative und qualitative Ausstattung mit Standortfaktoren von jener Ausstattung konkurrierender Standorte abweicht. Dadurch werden diese voneinander unterscheidbar. BÖKEMANN (1982, S. 31) konkretisiert dies:

„Standorte sind in räumlichen Koordinaten geometrisch eindeutig definierbar und sind Träger von Ressourcen“.

Welche standortgebundenen Ressourcen tatsächlich von Bedeutung sind, hängt von der Art der Unternehmung ab. In jedem Fall ist es möglich, dass ein ursprünglich optimaler Standort seine Attraktivität aufgrund der Veränderung von Standortfaktoren verliert bzw. ein ursprünglich suboptimaler Standort eine Aufwertung hin zu einem optimalen Standort erfährt (BROCKFELD 1997, S. 57). Bei der vorliegenden Arbeit spielt gerade diese Dynamik eine bedeutende Rolle, denn es wird untersucht, ob und inwieweit die Eignung eines Standortes hinsichtlich der räumlichen Integration von regenerativen Technologien Schwankungen unterliegt, wenn variierende Rahmenbedingungen technischer, wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Natur zu Grunde gelegt werden.

5.1.2 Potenzial

Im Energiebereich wird hinsichtlich des Potenzialbegriffes zwischen theoretischem, technischem, wirtschaftlichem und erschließbarem Potenzial unterschieden. Das **theoretische Potenzial** beinhaltet dabei das innerhalb eines Untersuchungsraumes physikalisch vorhandene Angebot an Energie über einen bestimmten Zeitraum hinweg (z. B. die auf die Erdoberfläche jährlich eintreffende Strahlungsenergie der Sonne). Technologische, ökologische, strukturelle und administrative Einschränkungen führen jedoch dazu, dass lediglich ein geringer Teil des theoretischen Potenzials erschlossen werden kann. Der Anteil des theoretischen Potenzials, der unter den gegebenen technischen Rahmenbedingungen tatsächlich realisierbar ist, wird als **technisches Potenzial** bezeichnet. Das

technische Potenzial lässt sich bspw. durch die Steigerung von Wirkungsgraden sukzessive erhöhen. Angebot und Nachfrage legen wiederum fest, welcher Anteil des technischen Potenzials ökonomisch sinnvoll zu erschließen ist. In diesem Fall wird vom **wirtschaftlichen Potenzial** gesprochen. Das wirtschaftliche Potenzial kann nun durch administrative Restriktionen (z. B. Ausschlussgebiete für Windenergie, FFH-Gebiete, Vogelschutzgebiete) eingeschränkt bzw. durch Fördermechanismen (z. B. StromEinspG, EEG, EEWärmeG) erweitert werden. In beiden Fällen wird vom **erschließbaren Potenzial** gesprochen. In den meisten Fällen ist dieses kleiner als das wirtschaftliche Potenzial (KALTSCHMITT et al. 2006, S. 20ff.).

Die angeführten Begriffe lassen sich am Beispiel der geothermischen Stromerzeugung in Deutschland erläutern: Das technische Standortpotenzial wird dort auf ca. 300.000 TWh geschätzt. Ausgehend von einem Erschließungszeitraum von 1.000 Jahren ergibt sich daraus ein jährliches technisches Angebotspotenzial von 300 TWh (vgl. PASCHEN et al. 2003). Dies entspricht in etwa der Hälfte des deutschen Bruttostrombedarfs. Von einer Inwertsetzung dieses Potenzials ist Deutschland jedoch noch weit entfernt. Dies ist in erster Linie den aufwändigen Tiefenbohrungen geschuldet, die zu sehr hohen Investitions- und Gestehungskosten führen. Fatal ist darüber hinaus, dass trotz ausgeklügelter Exploration keineswegs garantiert werden kann, dass die vermuteten hydrothermalen Quellen tatsächlich vorhanden bzw. ergiebig sind. Dieses Fündigkeitsrisiko ist ein wesentlicher Grund dafür, dass die installierte geothermische Kraftwerksleistung in Deutschland derart gering ausfällt (vgl. Abb. 26). Eine massive Kostensenkung durch Massenproduktion und Standardisierung konnte noch nicht eingeleitet werden. Die Tiefengeothermie befindet sich daher jenseits der Wirtschaftlichkeit. Allein durch die Stützung des EEG war es überhaupt möglich, die ersten Kraftwerke in Deutschland zu errichten (vgl. Abb. 28). Damit fällt das erschließbare Potenzial größer aus als das wirtschaftliche Potenzial.

Während in wissenschaftlichen Abhandlungen der Fokus i. d. R. auf den theoretischen und technischen Potenzialen liegt – nicht zuletzt aus dem Grund, dass theoretische und technische Potenziale nur geringen Schwankungen unterliegen –, gilt das Interesse im Rahmen der vorliegenden Arbeit den sich vergleichsweise schnell wandelnden wirtschaftlichen und erschließbaren Potenzialen. Ziel ist es, die wirtschaftlichen und erschließbaren Potenziale in räumlicher Perspektive zu begreifen und ihre Sensibilität ge-

genüber Veränderungen technologischer, wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Natur zu erfassen.

5.1.3 Kulturlandschaft, Ländlicher Raum, Heimat und Raumverträglichkeit

Da es bei der vorliegenden Arbeit auch um die Fragestellung geht, inwieweit sich EE in die Landschaft integrieren lassen, gilt es abschließend noch die Begriffe »Kulturlandschaft«, »Ländlicher Raum«, »Heimat« und »Raumverträglichkeit« zu definieren.

Es ist anzumerken, dass hinsichtlich des Begriffes Kulturlandschaft oftmals eine spezifische Deutung vollzogen wird. Generell ist Kulturlandschaft nichts anderes als eine vom wirtschaftenden Menschen genutzte und dabei überformte Naturlandschaft. Bei der Handhabung des Begriffes besteht jedoch die Gefahr einer romantischen Verklärung, wenn dieser auf eine vorindustrielle, bäuerliche Landschaft reduziert und die ästhetische Funktion überbewertet wird (DIX/ SCHENK 2007, S. 819). Die Kulturlandschaft ist vielmehr Träger zahlreicher Funktionen, deren Bedeutung und Raumwirksamkeit sich im Laufe der Zeit wandeln und dabei zu unterschiedlichen Ausprägungen von Kulturlandschaft führen.

Bei der Definition des Begriffes »Ländlicher Raum« tritt die Vielfalt an Funktion deutlich in Erscheinung. HENKEL (2004, S. 39) betont, dass dem ländlichen Raum neben einer Erholungs-, Ökologie- und Agrarproduktionsfunktion auch eine **Standortfunktion** zukommt. Standorte für Gewerbe, Müllplätze, Sonderdeponien, Flugplätze, Straßen- und Bahntrassen, Rohstoffabbaugebiete und eben auch Kraftwerke stellen damit eine legitime Nutzung ländlicher Raumpotenziale dar. BÄHR/ JÜRGENS (2009, S. 26) weisen darauf hin, dass die Funktionen des ländlichen Raumes oftmals komplementär zu jenen urbaner Räume sind. Dabei Sorge gerade die flächenintensive, „*sperrige Infrastruktur*“, die zwar im ländlichen Raum verortet wird, jedoch in erster Linie der Versorgung der städtischen Bevölkerung dient, für ein erhebliches Konfliktpotenzial. Letztlich obliegt es der Raumordnung, für einen adäquaten Interessenausgleich zwischen konkurrierenden Flächennutzungen zu sorgen (vgl. SPITZER 1995 & WEILAND/ WOHLLEBER-FELLER 2007).

LIENAU (2000, S. 10ff.) versteht unter dem ländlichen Raum ein Gebiet, das überwiegend land- und forstwirtschaftlich genutzt wird. Des Weiteren seien eine geringe Größe der Siedlungen sowie eine geringe Bebauungs- und Einwohnerdichte als typische

Merkmale anzusehen. Daraus resultiere nicht zuletzt eine geringe Arbeitsplatzdichte. Des Weiteren schränke die geringe Industriedichte die Bandbreite der im ländlichen Raum auftretenden Berufsgruppen erheblich ein. Schließlich befinde sich der ländlichen Raum – in Bezug auf die Versorgung mit hochwertigen Dienstleistungen und Gütern – in einer großen Abhängigkeit von der Stadt.

Nach KÜHNE (2011, S. 292) stand der Begriff Heimat zwischen dem 18. und 20. Jh. für eine emotionale Bindung an einen bestimmten Raum, der sich anhand ästhetischer physischer Objekte deutlich von einem zu stark industrialisierten sowie verstädterten Raum absetzte. Neben dieser eher romantisierenden und verklärenden Betrachtung bezieht der Begriff heutzutage eher den Umweltschutzgedanken sowie die Erhaltung von Denkmälern mit ein. Auch die regionale Identität spielt in diesem Zusammenhang eine bedeutende Rolle, denn das Heimatgefühl ist nicht zuletzt ein Treiber der regionalen Entwicklung. Für die vorliegende Arbeit ist von Bedeutung, dass in der öffentlichen Wahrnehmung zumindest teilweise eine Unvereinbarkeit von Heimat und dem Ausbau von EE gesehen wird. Folgendes Zitat liefert hierfür eine plausible Erklärung und ist im Rahmen eines innovativen Standortkonzeptes stets zu berücksichtigen:

„Wesentlich für den Bezug der Konstrukte von Heimat und Landschaft aufeinander ist der individuelle Erwerb der Konstruktion heimatlicher Normallandschaft im Rahmen der Sozialisation. Diese fungiert als Vergleichsmaßstab und beinhaltet eine normative Persistenzerwartung. Infolge dieser Persistenzerwartung werden Veränderungen der physischen Grundlagen von Landschaft als Bedrohung wahrgenommen. Vor dem Hintergrund des Ziels einer nachhaltigen Entwicklung ist es aber nötig, die physischen Grundlagen, die sozial zu Landschaft synthetisiert werden, gegebenenfalls auch zu verändern. Eine wesentliche Aufgabe des künftigen Umgangs mit Landschaft besteht darin, die physischen Repräsentanzen des Heimatlichen so zu gestalten, dass eine negative Konnotation als Heimatverlust minimiert wird.“ (KÜHNE 2011, S. 292)

Abschließend gilt es noch, den Begriff Raumverträglichkeit zu erfassen. Dabei geht es um die *„Verträglichkeit der abschätzbaren Auswirkungen einer Maßnahme mit Naturraum, Siedlungsstrukturen, Wirtschaft, Einrichtungen für öffentlichen und individuellen Verkehr, Einrichtungen für Ver- und Entsorgung, Fremdenverkehr, Erholung und dgl.; bei der Abschätzung der Verträglichkeit sind die Ziele und Maßnahmen betroffener ört-*

licher und überörtlicher Raumordnungsprogramme sowie die Bestimmungen dieses Gesetzes zu berücksichtigen.“ (POMAROLI o. J., S. 1)

Nachdem die zentralen Begriffe erläutert wurden, gilt es im Folgenden, in den Kernbereich der vorliegenden Arbeit vorzustoßen. Im Blickpunkt des Interesses stehen dabei zunächst die Signale eines deutlichen Akzeptanzverlustes gegenüber dem Ausbau von EE sowie die Nachteile einer teilbranchenorientierten Standortplanung.

5.2 Signale eines deutlichen Akzeptanzverlustes

Allgemein betrachtet besteht ein großer gesellschaftlicher Konsens über die Notwendigkeit einer möglichst raschen Energiewende. Immerhin sind 80 % der Bevölkerung der Auffassung, dass der Ausbau von EE sehr wichtig ist (vgl. Abb. 27). Dennoch ist festzustellen, dass sich regional bisweilen heftiger Widerstand gegen einen forcierten Ausbau regenerativer Technologien regt. Beispielhaft stehen hierfür die Aktionen der *Arbeitsgruppe Landschaftsschutz Buchenberg*, die mit folgendem Slogan an die Öffentlichkeit trat:

„Warum das Allgäu keine weiteren Windräder braucht“. (SPONSEL 2009, S. 1)

Derartige Kampagnen bleiben keineswegs ohne Wirkung auf den Ausbau von EE, denn Bürgerinitiativen agieren z. T. mit Erfolg gegen die Errichtung von EE. Durch die Mobilisierung von Anwohnern konnte bspw. in Markt Schwaben der Bau einer BGA verhindert werden. Wesentliche Erfolgsfaktoren waren dabei ein professioneller Internetauftritt, die Sammlung von Unterschriften gegen die Errichtung der Anlage, regelmäßige Treffen im Rahmen von Bürgerversammlungen sowie die Verteilung eines Informationspapiers mit dem Titel:

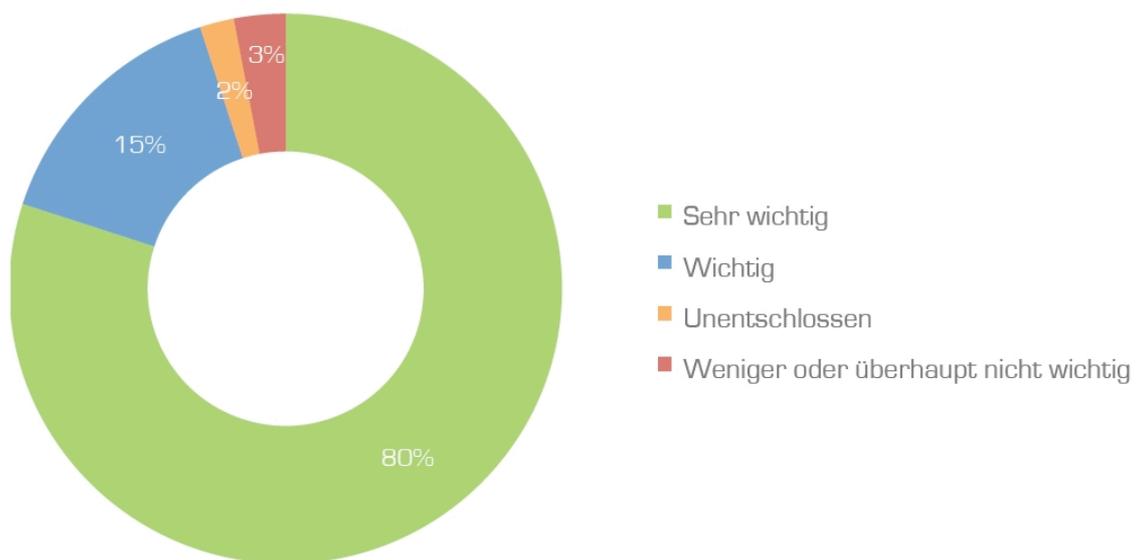
„Keine Bio-Gasanlage an diesem Standort!!“ (MENDL et al. 2010, S. 1)

An Schärfe gewann der Konflikt durch den Versuch der Bürgerinitiative, mittels der Verbreitung von unsachlichen Informationen in Form von Übertreibungen die Bevölkerung zu polarisieren. So war auf dem Informationspapier Folgendes zu lesen:

„Geht es den Menschen so gut oder schlecht, dass Lebensmittel verbrannt werden müssen?“ (MENDL et al. 2010, S. 1)

Hierzu ist einerseits zu sagen, dass im Fermenter einer BGA Vergärungs- und nicht Verbrennungsprozesse ablaufen. Lediglich im BHKW der Anlage kommt es zur Verbrennung von Methan. Andererseits bildet der Gärrest einen hochwertigen Dünger, der auf den Ackerflächen ausgebracht werden kann und dadurch kosten- und energieintensiven Wirtschaftsdünger substituiert (vgl. FNR 2004).

Abbildung 27: Bewertung des Ausbaus von EE aus Sicht der dt. Bevölkerung 2009



Quelle: PEYKE/ BOSCH et al. 2011, S. 30.

Der Erfolg von derartigen, bewusst oder unbewusst herbeigeführten Verzerrungen in der Wahrnehmung von EE gibt einen ersten Hinweis auf die Mängel bei Standortplanungsprozessen. Anscheinend gelingt es den Projektentwicklern nicht immer, die Anwohner in ausreichendem Maße über die Grenzen und Möglichkeiten sowie über technische Details spezifischer Technologierouten zu informieren. Möglicherweise kann im Rahmen eines einzelnen Projektes dieser Verantwortung auch nicht Rechnung getragen werden, so dass die Überwindung von Zielkonflikten vielmehr mittels eines gesamtgesellschaftlichen Aufklärungskonzeptes, das Barrieren zwischen Mensch und Technik überwindet, zu realisieren ist. In diesem Zusammenhang kommt der Lehre an Schulen und Universitäten sicherlich eine große Bedeutung zu, denn dort können junge Menschen bereits frühzeitig mit derartigen Problemstellungen konfrontiert werden.

Es wird jedoch eindringlich davor gewarnt, die Lösung des Problems allein in der Optimierung von Aufklärungsarbeit zu suchen. Eine bessere Aufklärung der Bevölkerung über die Möglichkeiten und Grenzen von EE – oftmals von Bürgerinitiativen, Politikern, Heimatpflegern und Wissenschaftlern gefordert – stellt angesichts derartiger Verwerfungen keinen ausreichenden Lösungsansatz dar. GUTSCHER (2007, S. 1) hat zu dieser Thematik wie folgt Stellung genommen:

„'Aufklärungsdiskurse', konzipiert nach dem Muster 'Fachleute informieren – Laien fragen nach', führten weder zu einer erkennbaren Verbesserung naturwissenschaftlicher Kenntnisse in der breiten Bevölkerung, noch zur Veränderung von Akzeptanzmustern.“

Frappierend ist, dass sich die einzelnen Technologierouten hinsichtlich der Akzeptanz in der Bevölkerung deutlich voneinander unterscheiden. Im Besonderen trifft die Verwendung von Biomasse zu energetischen Zwecken auf nur wenig Verständnis, obwohl diese Nutzungsrouten keineswegs ein neues Phänomen darstellen: Als in der Landwirtschaft noch Pferde als Zugtiere eingesetzt wurden, waren etwa 30 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche mit Hafer – quasi der vorindustriellen Form des Treibstoffes – belegt (WARTNER 2010, S. 168). Bereits die Weizenanbaugebiete des Römischen Reiches in Spanien und Nordafrika können als Energielandschaft angesehen werden, denn die Erträge bildeten in Form von pflanzlicher Energie schließlich die Grundlage für das Energiesystem der Antike – die Arbeitsenergie der Sklaverei – (BRÜCHER 2008, S. 5 & BRÜCHER 2009, S. 43ff.).

Davon abgesehen ist der Begriff Energielandschaft in der Hinsicht als irreführend zu bezeichnen, wie er den Eindruck erweckt, als würden regenerative Technologien flächendeckend den Raum beanspruchen und eine Bepflanzung durch alternative Nutzungen unmöglich machen. Zwar treten heutzutage die EE in Form von großen technischen Anlagen deutlich in Erscheinung, dennoch werden ihre Flächenansprüche seitens der Politik bisweilen stark reglementiert (BOSCH/ PEYKE 2011b & BOSCH/ PEYKE 2011c). Von einer »Vermassung« (CASARETTO 2010, S. 54), »Verspargelung« (NOHL 2010, S. 4), »Verspiegelung« (KOOP 2006, S. 1) bzw. »Verstadelung« (HEUP 2011b, S. 61) der Landschaft zu sprechen, gleicht daher eher einer »Hexenjagd« und »Denunzierung« als einer nüchternen Betrachtung regionalplanerischer Realität. Dies lässt sich mit Statisti-

ken belegen: Silomais für BGA wird derzeit auf 380.000 ha angebaut (ENTRUP/ KIVELITZ 2010, S. 36). Dies entspricht einem Anteil von nur 2,24 % an der landwirtschaftlich genutzten Fläche Deutschlands. Hinsichtlich der Ausweisung von Flächen für die Windenergie liegt die obere Zielmarke der Bundesländer derzeit bei lediglich 2 % (ZIMMERMANN 2011a, S. 37f.). Das Standortpotenzial der Solarenergie wird wiederum in erheblichem Maße, nicht nur durch die Vorgabe, PV-Freiflächenanlagen an eine Siedlung anbinden zu müssen, eingeschränkt (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM DES INNERN 2009, S. 2). Einen viel stärkeren Einschnitt in die räumlichen Möglichkeiten der PV-Branche stellte vielmehr die Novellierung des EEG 2010 und die damit einhergehende Verringerung der Einspeisevergütung um 16 ct/ kWh sowie den Ausschluss von Ackerflächen aus der Vergütungsstruktur dar (BMU 2010, S. 1f. & SCHRÖDTER/ KURAS 2011, S. 144ff.). BOSCH/ PEYKE (2011b) und BOSCH/ PEYKE (2011c) weisen sogar darauf hin, dass angesichts der zahlreichen räumlichen Restriktionen, mit denen sich die regenerative Energiebranche konfrontiert sieht, diese zu einem Rückzug bzw. Ausweichen auf alternative Räume wie Offshore-Standorte, Wüstengebiete, Dach- sowie Konversionsflächen genötigt wird.

Die Gefahr einer unsachgemäßen Informationspolitik, wie sie seitens Bürgerinitiativen z. T. betrieben wird, besteht letztlich darin, dass Räume, innerhalb derer der Ausbau von EE tatsächlich jenseits der Verträglichkeit liegt, von Akteuren aus der Energiebranche nicht mehr wahrgenommen bzw. ignoriert werden. Manche Regionen sind durchaus unter den Druck eines forcierten Ausbaus von dezentralen Kraftwerken geraten, wobei v. a. die Biogasbranche für negative Schlagzeilen sorgte. Sogar der Präsident des Fachverbandes Biogas e. V. *Josef Pellmeyer* räumte ein, dass der Ausbau in einigen Regionen ein bedenkliches Ausmaß angenommen habe:

„Wie bei der Ausbreitung jeder neuen Technik entstanden in den vergangenen zwei Jahren auch Probleme im Zusammenhang mit Biogasanlagen‘ [...]. Diese seien jedoch überwiegend in Regionen mit hohen Viehhaltungsdichten und folglich großen Güllemengen zu beobachten.“ (DANY 2011, S. 38)

Dieses Eingeständnis der Biogasbranche offenbart, dass die **regionalen Besonderheiten** bei der Verortung von EE nicht ins Standortkalkül mit einbezogen wurden. Exakt an dieser Stelle klafft eine erhebliche Forschungslücke, deren Schließung im Interesse der

Biogasbranche liegen dürfte, denn in Landkreisen wie Donau-Ries, Ansbach und Rothenburg (Wümme), innerhalb derer ein massiver Kraftwerksausbau festzustellen war, hat sich das Image der Biogasproduktion erheblich verschlechtert. Nicht zuletzt ist dies auf die negativen Umweltwirkungen des Energiepflanzenbaus, wie bspw. der Verlust an Biodiversität, zurückzuführen (BOSCH 2008, S. 126f.; LESSNER 2010c, S. 77 & RÖHLING 2007).

Doch auch die räumliche Integration von Windkraft- und PV-Freiflächenanlagen konnte den regionalen Besonderheiten nicht immer Rechnung tragen und führte so zu einer Kluft zwischen Projektentwicklern und Anwohnern. Diese Kluft hat ihren Ausdruck in der Entstehung von zahlreichen Bürgerinitiativen gefunden, die gezielt gegen die Realisierung von Projekten vorgehen. Für derartige Ambitionen gibt es sogar übergreifende Interessenverbände, wie bspw. eine europäische Plattform gegen WKA (vgl. EPAW 2011). Auch innerhalb Deutschlands gibt es mehrere Initiativen, die sich dem Ausbau der Windenergie entgegenstellen. Beispielhaft steht hierfür ein Zusammenschluss aus 18 Bürgerinitiativen im Land Brandenburg, die »Volksinitiative Gegen Windräder«.

Die Thematisierung der scheinbaren Dichotomie von Kulturlandschaft und EE im Rahmen von Essays und wissenschaftlichen Abhandlungen hat ihrerseits zu einer großen Skepsis gegenüber der regenerativen Energieproduktion beigetragen. Die Titel der Aufsätze von SCHEIDLER (2010, S. 525) – „*Verunstaltung des Landschaftsbildes durch Windkraftanlagen*“ –, WARTNER (2010, S. 167) – „*Solarfelder – Verschandelung oder Gewinn für die Kulturlandschaft?*“ – und BOSCH/ PEYKE (2011b, S. 105) – „*Gegenwind für die Erneuerbaren – Räumliche Neuorientierung der Wind-, Solar- und Bioenergie vor dem Hintergrund einer verringerten Akzeptanz sowie zunehmender Flächennutzungskonflikte im ländlichen Raum*“ – verdeutlichen die Kontroverse in der Debatte um die räumliche Verträglichkeit von EE. Speziell an der Windenergie, die gewöhnlich zu einer starken Beeinträchtigung des Landschaftsbildes führt, wird bisweilen harsche Kritik geübt (vgl. NOHL 2010). Dennoch gibt es auch Anhänger dieser Technologieroute. Nicht zuletzt spricht BOEING (2011, S. 30) im Zusammenhang mit dem Ausbau der Windenergie in Norddeutschland vom „*Windenergiewunder*“ und einer „*Erfolgsstory*“.

Sicherlich ist es fraglich, ob – angesichts eines langsam eintretenden Gewöhnungseffektes – die Bedenken von Heimatpflegevereinen gegenüber einer Technisierung von Kul-

turlandschaft durch EE nicht ohnehin einem Wandel unterliegen werden. Eine derartige Veränderung in der Haltung von Heimatpflegern würde kein neues Phänomen darstellen. So gibt es bspw. Bestrebungen, alte Kamine bzw. historische Schloten vor einem Abriss zu bewahren. Diese werden als „[...] *Kirchtürme der Industriestadt* [...]“ bezeichnet (KNAB 2011, S. 1). Ein derartiger Sinneswandel in der Wahrnehmung von industrieller Bausubstanz könnte sich mittel- bis langfristig daher auch gegenüber den regenerativen Technologien vollziehen.

Auch wenn die Notwendigkeit eines Ausbaus von EE seitens der Heimatpflegevereine zumindest partiell auf Anerkennung stößt, so sind deren Vorschläge bzgl. der korrekten Errichtung von dezentralen Kraftwerken oftmals mit hohen Anforderungen und starken räumlichen Einschränkungen verbunden (vgl. FASSL 2009 & WARTNER 2010). Bürgerinitiativen verfolgen wiederum die Strategie, anderen Regionen die Verantwortung für eine nachhaltige Energiewende zu übertragen. Die *Arbeitsgruppe Landschaftsschutz Buchenberg* bspw. leitete eine Passage ihrer Informationsbroschüre mit folgender Überschrift ein:

„*Das passt: Wo Windkraftnutzung hingehört*“. (SPONSEL 2009, S. 9)

Damit wurde zum Ausdruck gebracht, dass für den Ausbau der Windenergie in erster Linie flache Landschaftseinheiten sowie leer geräumte und landwirtschaftlich intensiv genutzte Gebiete in Frage kommen und eben nicht das heimatliche Allgäu. Die »Bürgerinitiative Markt Schwaben« hat nicht einmal den Versuch unternommen, die von ihr empfohlene Wahl von möglichen Standorten außerhalb der eigenen Gemeinde sachlich zu begründen. So heißt es im Informationspapier:

„...*gibt es einen geeigneteren Standort???*“ (MENDL et al. 2010, S. 1).

GÖTZ (2011, S. V2/ 2) bestätigt die Einschätzung, dass EE oftmals nur dann akzeptiert werden, wenn sie in entfernt liegenden Regionen errichtet werden und verweist in diesem Zusammenhang auf die z. T. egoistische Haltung von Menschen, die nach dem »Sankt-Florians-Prinzip« bzw. nach dem »Not-in-my-backyard-Prinzip« zu handeln scheinen. OWENS (1990, S. 54) bestätigt diesen Eindruck wie folgt:

„On a more local scale, NIMBY resistance to new energy supply facilities has grown rapidly, making their location in some areas almost a political impossibility.“

Es besteht die Frage, welche Befürchtungen sich hinter einer derart massiven Gegenwehr breiter Bevölkerungsschichten verbergen. Die ungleiche Verteilung von Erlösen zwischen den Hauptakteuren *Betreiber, Projektentwickler* und *Kommune* könnte womöglich ausschlaggebend sein. Nicht zuletzt sind die Kommunen, die schließlich die Nachteile von EE wie Verkehrsbelastung und Lärm zu tragen haben, oftmals benachteiligt worden (GÖTZ 2011, S. V2/ 2).

Einen weiteren Einflussfaktor stellt darüber hinaus die Art der kommunalen Bevölkerungsstruktur dar. Es wird behauptet, dass der Bevölkerungsteil, der – aufgrund einer langen lokalen Verwurzelung – in hohem Maße mit landwirtschaftlichen Prozessen vertraut ist und ein eher ökonomieorientiertes Verständnis von Natur hat, Biomassekraftwerke eher akzeptieren wird als jener Bevölkerungsteil, der aus zugewanderten sowie dem Stress von urbanen Räumen entfliehenden Menschen besteht, die ein eher romantisches Naturverständnis aufweisen (GÖTZ 2011, S. V2/ 2).

Diese Einschätzung bedarf jedoch einer Korrektur, denn es greift zu kurz, die Angst vor einer technischen Überformung von kulturhistorisch bedeutsamen Landschaftsräumen und die damit einhergehende Degradierung historisch gewachsener Landschaftsbilder auf zugewanderte Bevölkerungsschichten zu reduzieren. Längst haben sich lokal stark verwurzelte Naturschutzverbände und Heimatpflegevereine des Themas »EE und Kulturlandschaft« angenommen, und dies in äußerst kritischer Art und Weise (vgl. BOSCH/ PEYKE 2011b & BOSCH/ PEYKE 2011c). *Martin Wölmüller*, Geschäftsführer des *Bayerischen Landesvereins für Heimatpflege e. V.*, beschreibt das Dilemma, in dem sich die EE befinden:

„Warum wenden sich Menschen in großer Zahl gegen die Errichtung von Windkraftanlagen, wo doch anscheinend alles dafür spricht? Möglicherweise ist eine Antwort [...] im nicht immer sorgsamem Umgang mit Baukultur, Städtebau und Landschaft [zu finden]. (WÖLZMÜLLER 2010, S. 2)

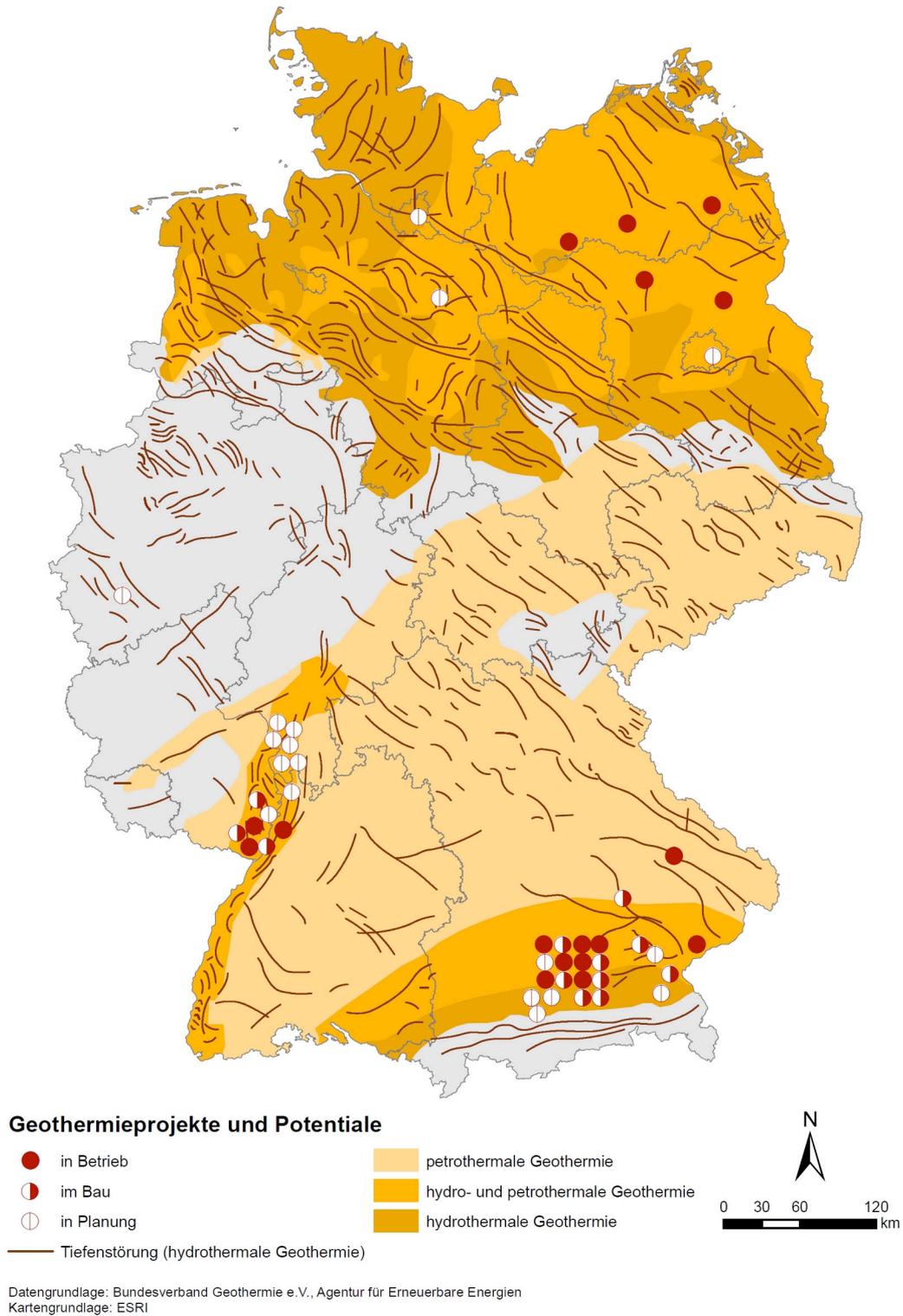
Hieraus wird ersichtlich, dass die Notwendigkeit regenerativer Energieerzeugung durchaus anerkannt wird. Anscheinend haben jedoch die herkömmlichen Verfahren zur Integration von Technologien in den ländlichen Raum zu einer Diskreditierung von EE beigetragen. STOCK (1994) betont, dass sich der Widerstand bspw. gegen die Windenergie nicht aus Windkraftgegnern, sondern aus Windkraft-Standortgegnern zusammensetzt. Mit Blick auf die gängigen Methoden zur Standortplanung für EE erwächst daher die Vermutung, dass die »Erosionserscheinungen an der grünen Energiebranche« systemimmanent sind.

Nachdem die Fragestellung 2 ausführlich behandelt wurde, ist fraglich, wie denn nun eine höhere Akzeptanz gegenüber dem Ausbau von EE zu erreichen ist. In Schleswig-Holstein soll bspw. die Akzeptanz der Windenergie dadurch erhöht werden, dass bei der Überarbeitung der Teilregionalpläne die Bevölkerung mit einbezogen wird. Hier besteht jedoch die Gefahr, dass sich der Ausbau von EE erheblich verzögert (ZIMMERMANN 2011b, S. 47). Das Problem muss daher »an der Wurzel gepackt« werden, d. h. am Mechanismus der Standortplanung. In den folgenden Kapiteln wird hierzu ein innovativer Ansatz entwickelt. Eines ist jedoch an dieser Stelle bereits zu konstatieren: Mittlerweile stellt die »Akzeptanz« einen entscheidenden Standortfaktor beim Ausbau von EE dar. Die Optimierung von technologischen Parametern im Zuge von FuE ließ die Bedeutung der natürlichen Standortfaktoren innerhalb der letzten Jahre sukzessive in den Hintergrund rücken. Die verschiedenen Technologierouten haben allesamt einen hohen Reifegrad erreicht. Prinzipiell kann jede Technologie an jedem Standort in Deutschland wirtschaftlich eingesetzt werden, solange die Akzeptanz gegeben ist. Es ist davon auszugehen, dass sich dieses Phänomen in den kommenden Jahren sogar noch verstärken wird. ZIMMERMANN (2011b, S. 49) bestätigt die große Bedeutung der Akzeptanz für eine rasche Energiewende: *„Ein Schlüssel für beschleunigte Verfahren ist eine hohe lokale Akzeptanz.“*

Am Beispiel des Standortpotenzials der Tiefengeothermie ist ersichtlich, dass sich die geeigneten Standorte über einen Großteil des Bundesgebietes erstrecken (vgl. Abb. 28). Für die konkurrierenden EE ergeben sich gleichermaßen flächendeckende Gunstgebiete. Daraus folgt zwangsläufig, dass es zu großflächigen Standortüberschneidungen kommt, die die Eindeutigkeit einer Technologieverortung in Frage stellen. An dieser Stelle erwächst folglich das Verlangen nach einer ausgeklügelten Methode, die – vor dem Hin-

tergrund des Standortfaktors Akzeptanz – v. a. die Raumverträglichkeit in den Fokus standortplanerischer Konzeption rückt.

Abbildung 28: Standortpotenzial der Tiefengeothermie in Deutschland (Stand 2011)



Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

5.3 Problem einer nicht-integrierenden Standortplanung

Verbesserungen im Bereich der Standortplanung für EE können dadurch erreicht werden, dass wirtschaftliche, technische und theoretische Potenziale mittels Produkt- und Prozessinnovationen besser ausgeschöpft werden. Auf dieser Möglichkeit liegt jedoch nicht der Fokus der vorliegenden Arbeit. Im Blickpunkt des Interesses steht vielmehr der Versuch, das erschließbare Potenzial durch die Erhöhung der Akzeptanz zu erweitern. Hierzu gilt es, einen Paradigmenwechsel in der Standortplanung einzuleiten, der sich durch die Abkehr von einer aufwändigen und dadurch gesellschaftliche Kräfte zehrenden Optimierung fehlgesteuerter Planungssysteme auszeichnet.

Abbildung 29: Elemente des Systems dt. Windenergiebranche

	Windenergie
Verbände	Bundesverband Windenergie e.V. (BWE)
	Stiftung Offshore-Windenergie
	Offshore Forum Windenergie
	Windenergie-Agentur Bremerhaven/Bremen e.V. (WAB)
	European Wind Energy Association (EWEA)
Tagungen und Messen	Fachtagung Windenergie
	Fachtagung Offshore Windenergie
	Husum WindEnergy - The Leading Wind Energy Trade Fair
	Europäische Offshore-Windkonferenz & Messe
Forschungseinrichtungen	Deutsches Windenergie-Institut (DEWI) (Cuxhaven)
	Stiftungslehrstuhl Windenergie (SWE) (Stuttgart)
	ForWind - Zentrum für Windenergieforschung (Oldenburg)
	Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (München)
Fachzeitschriften	Windblatt - Enercon Magazin für Windenergie
	Windenergie
Unternehmen	ENERCON GmbH
	Repower Systems AG
	Bard Engineering GmbH
	W.S.D. Windsysteme
Projekt	Bürgerwindpark Gnannenweiler

Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

An dieser Stelle steht die Konfrontation mit dem gegenwärtigen Paradigma bei Standortplanungsprozessen im Bereich EE aus. Bemerkenswert ist, dass sich das System Energiebranche aus Elementen zusammensetzt, die unterschiedliche, miteinander in Konkurrenz stehende Technologierouten verfolgen. Beispielhaft steht hierfür eine Stellungnahme des **Fachverbandes Biogas e. V.** zum EEG-Erfahrungsbericht des BMU aus dem Jahr 2007, in der eine Anhebung der Grundvergütung – speziell für kleine BGA – eingefordert wird (vgl. BMU 2007 & FACHVERBAND BIOGAS 2007d). Tatsäch-

lich wurde mit der Novellierung des EEG im Jahr 2009 diesem Wunsch Rechnung getragen, indem die Grundvergütung für BGA mit einer Leistung von max. 150 kW um einen Cent auf 11,67 ct/ kWh angehoben wurde (vgl. KRAUS 2010).

Abbildung 30: Elemente des Systems dt. Solarbranche

	Solarenergie
Verbände	Bundesverband Solarwirtschaft e.V. (BSW)
	Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V. (DGS)
	Solarenergie-Förderverein Deutschland e.V. (SFV)
	Photovoltaik-Verband
	Forschungsverbund Sonnenenergie (FVS)
	European Photovoltaic Industry Association (EPIA)
	SolarPACES
	ESTELA
	Solar-Agentur
	Tagungen und Messen
Fachtagung Solarthermie	
Forschungseinrichtungen	DLR - Institut für technische Thermodynamik (ITT) (Stuttgart)
	Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung (ZSW) (Stuttgart)
	Photovoltaik-Abteilung (Universität Konstanz)
	Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE)
	Institut für Solarenergieforschung GmbH (ISFH)
Fachzeitschriften	Photovoltaik
	PHOTON - Das Solarstrom-Magazin
	Sonnenenergie
	Solarthemen
Unternehmen	SolarWorld AG
	Deutsche Solar AG
	Conergy Deutschland AG
	Q.CELLS SE
	SCHOTT Solar AG
Projekt	Solarpark Lieberoser Heide

Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

Auch der **Bundesverband WindEnergie e. V. (BWE)** ist stets darum bemüht, sich mit Positionspapieren für die raumplanerische Besserstellung der »eigenen Technologie« – in diesem Fall die WKA – einzusetzen. So kritisiert der BWE Landesverband Berlin-Brandenburg den Mangel an rechtlich abgesicherten Eignungsflächen und fordert Nachbesserungen seitens der Politik (vgl. BWE 2010a). Des Weiteren wurde im Positionspapier zur anstehenden EEG-Novelle 2012 gefordert, die Anfangsvergütung bei WKA auf mindestens 8,93 ct/ kWh, die Grundvergütung auf mindestens 4,87 ct/ kWh festzulegen (vgl. BWE 2010b). Darüber hinaus werden die Abschaffung von Höhenbegrenzungen, der Vorrang gegenüber anderen öffentlichen Belangen sowie eine Mindestfläche für WKA von 2 % der jeweiligen Landesfläche gefordert (ZIMMERMANN 2011b,

S. 49). Die Solarindustrie wiederum wird argumentativ stets vom **Bundesverband Solarwirtschaft e. V.** (BSW) gestützt, der bspw. die Absenkung der Grundvergütung um 16 % im Rahmen der EEG-Novellierung 2010 als zu hoch empfunden hat. In einem Auszug heißt es:

„Die nun beschlossene Förderabsenkung war in den letzten Monaten jedoch vom Bundesverband Solarwirtschaft [...] wiederholt als zu hoch kritisiert worden. [...] Die vereinbarte dreimonatige Verschiebung von 3 Prozentpunkten [...] ist nach Einschätzung des BSW-Solar lediglich ein 'kosmetischer Eingriff', der für die deutsche Solarindustrie keine nennenswerte Unterstützung im Rahmen der Herausforderung darstellt, auch in Zukunft nachhaltig Wertschöpfung in Deutschland betreiben zu können.“ (BSW 2010b, S. 1)

Die Abbildungen 29-33 gewähren einen Einblick in die Aufspaltung der EE in voneinander getrennte, autarke Systeme, deren Zweck allein darin besteht, die Etablierung der eigenen Technologie voranzutreiben und ihre Interessen – auch *nicht* im Sinne einer möglichst raschen und nachhaltigen Energiewende – vehement gegen andere Technologierouten durchzusetzen. Diese an der eigenen Technologie ausgerichtete Interessenvertretung ist von großer räumlicher Relevanz, denn sie bleibt nicht ohne Wirkung auf die Standortplanung: Die bisherige Integration von EE in den ländlichen Raum zeichnete sich durch eine starke Fokussierung auf die Ansprüche der jeweiligen Technologie aus. In Abhängigkeit vom gewählten Technologiepfad – betraf es nun die Wind-, Biomasse- oder Solartechnologie – wurde ausschließlich nach Standorten für WKA (vgl. BRÜCHER 2008 & KNIES 2010) bzw. nach Standorten für Biomassekraftwerke (vgl. URBAN et al. 2007a; URBAN et al. 2007b & PLATA 2008) oder nach Standorten für PV-Freiflächenanlagen (vgl. ZINK 2010) gesucht.

Es war stets das Ziel, Standorte zu identifizieren, auf denen *allein* die potenzielle Leistung des jeweils *zuvor bereits gewählten* Technologiepfades möglichst umfassend ausgeschöpft werden konnte. Die Frage, ob sich der jeweilige Untersuchungsraum nicht besser für andere Technologierouten eignen würde oder ob es nicht sogar angebracht wäre, diesen Raum von jeglicher Technologie frei zu halten, wurde in keiner der Arbeiten erörtert, ja nicht einmal in Erwägung gezogen. **Die Standortplanung tritt folglich mit einer von vornherein festgelegten Technologie an den Raum heran und sucht nach Wegen zu ihrer Verortung.** Ein derartiges Vorgehen muss als unsensibel be-

zeichnet werden und könnte als Ursache für zahlreiche Konflikte bei der Errichtung von EE in Frage kommen, Konflikte, die v. a. ökologischer und sozialer Natur sind (vgl. Fragestellung 3). In den Arbeiten von BOSCH/ PEYKE (2010, S. 925) wird diese Herangehensweise und Planungsperspektive angeprangert, denn „[...] *die energiestrategischen Alleingänge einzelner Branchen verzerren den Blick auf die Möglichkeiten der jeweils eigenen Technologien. Dies mündet in einer diffusen Gemengelage an Energiekonzepten, die das eigentliche Ziel – den optimalen Ausbau von Erneuerbaren Energien – aus den Augen verloren haben.*“

Abbildung 31: Elemente des Systems dt. Bioenergiebranche

	Bioenergie
Verbände	Bundesverband Bioenergie e.V. (BBE)
	Bundesverband Pflanzenöle e.V. (BVP)
	Bundesverband der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften e.V. (BLB)
	Verband der Deutschen Biokraftstoffindustrie e.V. (VDB)
	Fachverband Biogas e.V.
	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)
	Bioenergie-Agentur
Tagungen und Messen	Jahrestagung Fachverband Biogas e.V. mit Biogas Fachmesse
	Fachtagung Biomasse
	Fachkonferenz Biokraftstoffe der 2. Generation
	Internationale Konferenz für Biodieselersteller
Forschungseinrichtungen	Deutsches Biomasse-Forschungszentrum (DBFZ) (Leipzig)
	UMSICHT - Fraunhofer Institut Umwelt-, Sicherheits-, Energietechnik (Oberhausen)
	Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt
Fachzeitschriften	Biogas Journal
	Top Agrar
	Mais
	Raps
	Zuckerrübe
Unternehmen	Biogas Nord AG
	Schmack Biogas AG
	KWS Saat AG
	BioConstruct GmbH
Projekt	Bioerdgasanlage Graben

Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

Aus unternehmerischer Sicht ist es durchaus nachvollziehbar, dass die Vertreter der einzelnen Energiebranchen in erster Linie daran interessiert sind, der jeweils *eigenen* Technologie neue Standorte und damit auch Absatzmärkte zu erschließen. Für Teilbranchen können sich mittels dieser Strategie durchaus positive Wachstumsschübe ergeben. Dennoch besteht für das Gesamtsystem Energiebranche die Gefahr eines unwirtschaftlichen Wachstums, da Folgendes doch offensichtlich erscheint: **Die Standortakquise zu**

Gunsten einer spezifischen Technologieroute kann u. U. zu Lasten der gesamternergiewirtschaftlichen Standortakquise ausfallen. Inwieweit es sich dabei um unwirtschaftliches räumliches Wachstum handeln kann, wird im anschließenden Kapitel exakt erläutert.

Abbildung 32: Elemente des Systems dt. Geothermiebranche

	Geothermie
Verbände	GtV - Bundesverband Geothermie e.V. (GtV-BV) International Geothermal Association (IGA) European Geothermal Energy Council (EGEC) Geothermal Energy Association (GEA)
Tagungen und Messen	Geothermische Fachtagung Wärmepumpen-Fachtagung
Forschungseinrichtungen	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) Geunion Alfred Wegener-Stiftung Geothermie-Zentrum Bochum Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA) Helmholtz-Zentrum Potsdam Deutsches Geoforschungszentrum (GFZ) Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (Hannover)
Fachzeitschriften	Geothermische Energie
Unternehmen	Süddeutsche Geothermie-Projekte GmbH & Co. KG GEO-THERM Erdwärme GmbH & Co. KG Geoenergie Bayern GmbH 360plus Consult GmbH
Projekt	Erdwärmekraftwerk Unterhaching

Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 33: Elemente des Systems dt. Wasserkraftbranche

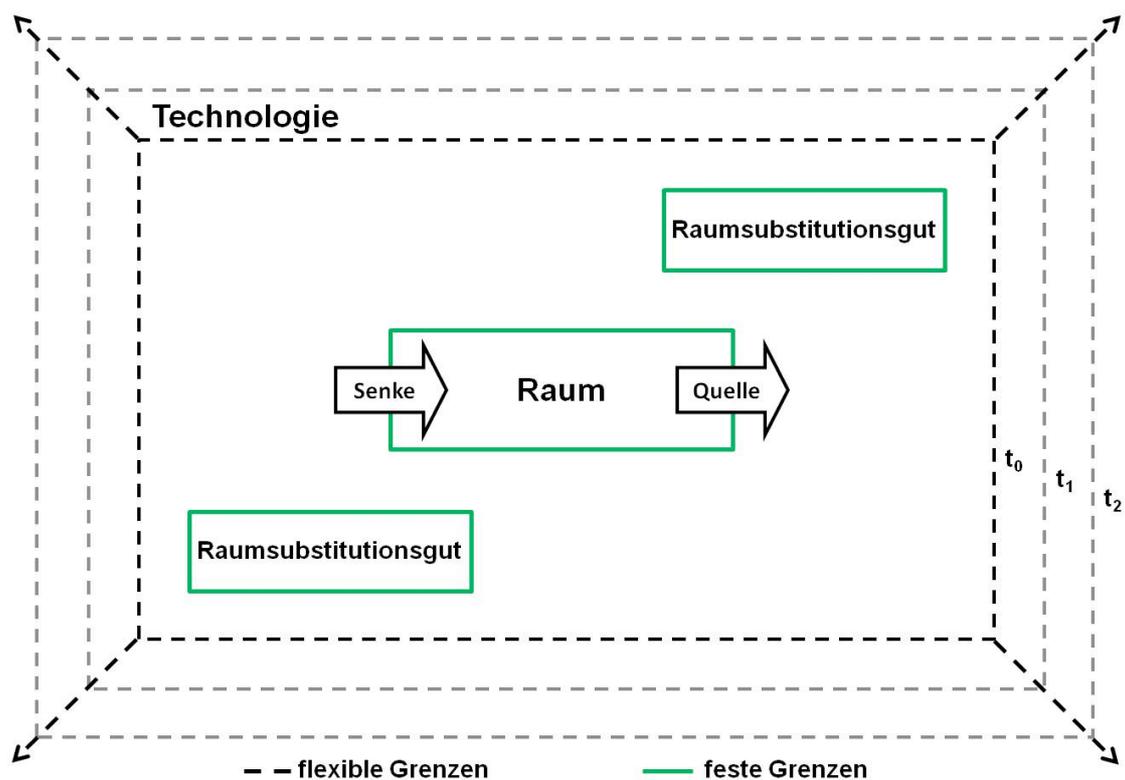
	Wasserkraft
Verbände	Bundesverband Deutscher Wasserkraftwerke e.V. (BDW) Arbeitsgemeinschaften Wasserkraftwerke Deutschland (AWK-D) European Small Hydropower Association (ESHA) Meeresenergie-Forum European Heat Pump Network (EHPN) Bundesverband Wärmepumpe e.V. (BWP)
Tagungen und Messen	Internationale Wasserkraft-Fachausstellung mit Kongress
Forschungseinrichtungen	Lehrstuhl und Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft TUM
Fachzeitschriften	Wassertriebwerk Wasserkraft und Energie
Unternehmen	HydroWatt GmbH Wasserkraft Volk AG Bega Wasserkraftanlagen GmbH B. Maier Wasserkraft GmbH Anlagenbau
Projekt	Wasserkraftwerk Walchensee

Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

5.4 Erneuerbare Energien in einer »vollen Welt«

Die Probleme, die mit einer nicht-integrierenden Standortplanung einhergehen, lassen sich anhand von Erkenntnissen aus der Betriebswirtschaftslehre veranschaulichen. Hierzu wird die Theorie DALY's (1992 & 2001) von der »leeren und der vollen Welt« (From empty-world economics to full-world economics) auf den Ausbau von EE übertragen.

Abbildung 34: Verhältnis zwischen Raum und Technologie (ökonomische Ökonomik)



Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

DALY (1992 & 2001) führt in seinen Studien die Möglichkeit eines unwirtschaftlichen Wachstums innerhalb der derzeit bestehenden Gesellschaftssysteme auf zwei wesentliche Gründe zurück: Zum einen werde das Verhältnis der Makroökonomie zum Ökosystem falsch eingeschätzt, zum anderen ignoriere der Mensch schlichtweg die Grenzen der Tragfähigkeit der Erde. Werden die zentralen Begriffe seiner Theorie – »Wirtschaft« und »Ökosystem(-sektor)/ Natur« – durch die für die hier vorliegende Arbeit so bedeutenden Begriffe – »(regenerative) Technologie« und »Raum« – ersetzt, so lässt sich das gegenwärtige Paradigma bei der Standortplanung für EE, dem ein ganz bestimmtes Bild des Verhältnisses zwischen Raum und Technologie zu Grunde liegt, gut beschreiben:

„[...] Die [Technologie] wird einfach nicht als Subsystem des [Raumes] angesehen, sondern vielmehr im Gegenteil – [der Raum] als Subsystem der [Technologie]. [Der Raum] ist lediglich der Abbau- und Müllablagerungssektor der [Technologie]. Auch wenn dessen Leistungen zur Mangelware werden, kann das Wachstum ewig weitergehen, da uns die Technologie ermöglicht, um den [Raum] 'herumzuwachsen' [...]. [Der Raum] ist tatsächlich nichts anderes als ein Lieferant unzerstörbarer Bausteine, die ersetzbar und im Überfluss vorhanden sind. Die einzige Wachstumsgrenze liegt in der Technologie [...].“ (DALY 2001, S. 7f.)

Aus dieser technokratischen Perspektive erscheint die Technologie als das relevante Ganze und der Raum als Subsystem, als Teil dieses Ganzen (vgl. Abb. 34). Die Technologie stellt Anforderungen an den Raum, d. h. dem Raum kommt nur insofern Bedeutung zu, wie er im Stande ist, den Technologieanforderungen mittels seiner räumlichen Voraussetzungen gerecht zu werden (vgl. Abb. 35). BRÜCHER (2008, S. 8f.) tritt bei der Standortanalyse für WKA bspw. mit der Anforderung an den Raum heran, Standorte mit einer Windhöflichkeit von mindestens 5 m/s in 50 m Höhe bereitstellen zu können. BOSCH/ PEYKE (2008, S. 452f.) wiederum suchen bei ihrer GIS-gestützten Standortanalyse für BGA nach Räumen, die zwischen Mai und September eine Temperatur von mehr als 14,5°C, eine Sonnenscheindauer von mehr als 950 h sowie eine Niederschlagsmenge von mindestens 350 mm aufweisen. **Der Raum wird damit zum Lieferanten abgewertet und stellt quasi lediglich einen »Erfüllungsgehilfen der Technologie« dar.** Aus der Perspektive eines Unternehmers ist der Raum nur mehr *eine* Resource unter mehreren und aus standortkonzeptioneller Sicht dadurch von sekundärer Bedeutung. Die Aufgabe des Raumes besteht allein darin, Flächen mit geeigneten natürlichen sowie infrastrukturellen Voraussetzungen bereitzustellen. Limitiert wird der Ausbau scheinbar nur durch technologische Parameter, wie bspw. Wirkungsgrade, nicht aber durch räumliche Grenzen. Der technologische Fortschritt wird damit zur entscheidenden Variable, um Hemmnisse beim Ausbau von EE überwinden zu können.

Da in dieser Vorstellung die Technologie das große Ganze und der Raum lediglich ein Subsystem darstellt, kann der Ausbau der dezentralen Kraftwerke keineswegs zu Lasten, sondern vielmehr zum Wohle der Gesellschaft erfolgen. Der Technologiezuwachs erhöht sukzessive den Anteil an nachhaltig produzierter Energie – ein erklärtes Ziel der Bundesregierung! Es gilt jedoch zu berücksichtigen, dass, wenn die Technologie und

nicht der Raum als das relevante Ganze betrachtet wird, konkurrierende Flächennutzungen keine Rolle spielen können und sich dadurch auch keinerlei Einschränkungen beim Ausbau ergeben. Flächennutzungskonkurrenz kommt allein innerhalb des Subsystems Raum zum Tragen.

Abbildung 35: Alte Perspektive bei Standortplanungsprozessen für EE



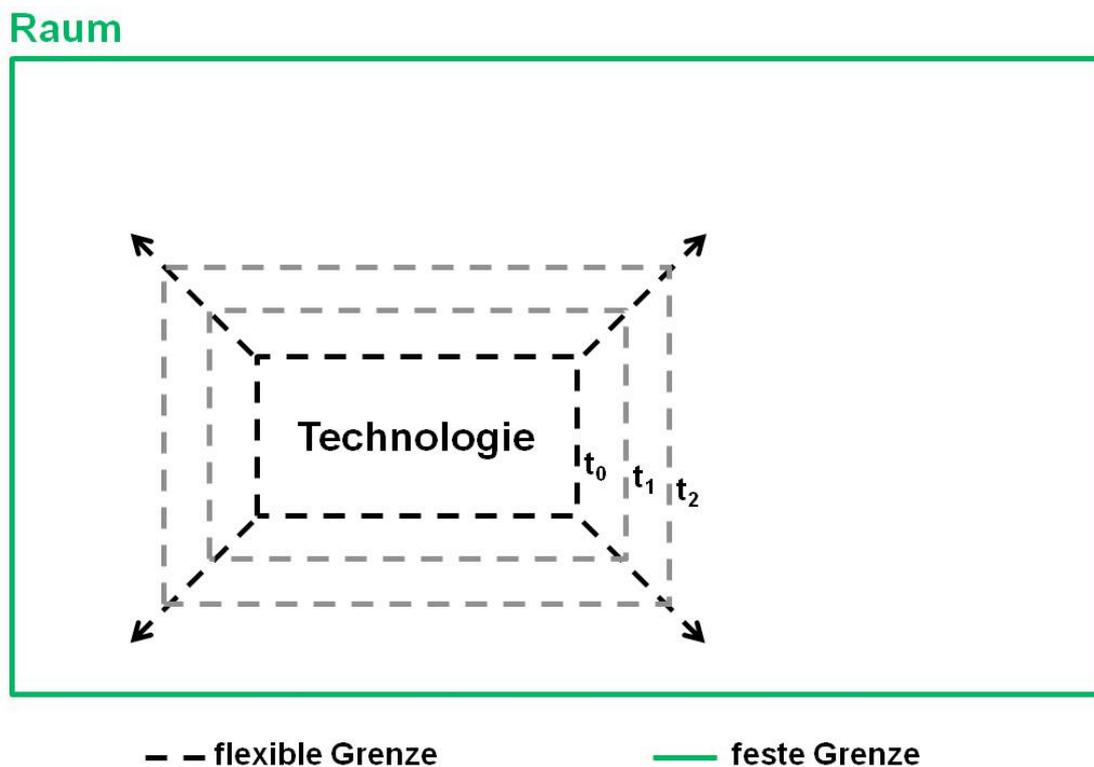
Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

Sollte es tatsächlich einmal zu einer Verknappung der Ressource Raum kommen, werden andere Subsysteme adäquaten Ersatz liefern und – nach dem Wortlaut von *H. E. Daly* – ein »herumwachsen« der Technologie um dieses Problem der Raumverknappung ermöglichen. In begrenztem Umfang ist dies durchaus möglich, wenn bspw. durch gebäudeintegrierte Lösungen für EE ein Rückzug der Photovoltaik aus der Fläche ermöglicht wird. Auch durch Repowering, d. h. den Ersatz von alten, leistungsschwachen durch neue, leistungsstarke WKA, kann die Energiebereitstellung vor dem Hintergrund eines verringerten Flächenanspruches erheblich gesteigert werden. Für Deutschland ist in der Tat davon auszugehen, dass sich die Anzahl an WKA innerhalb der nächsten Jahre deutlich reduzieren wird, hingegen der Anteil der Windenergie an der Stromproduktion durch Steigerung der Flächenerträge massiv anwachsen wird.

Reichen derartige Maßnahmen nicht aus, so besteht in der Erfindung, Einführung und Etablierung neuer Technologien eine weitere Alternative, um der Verknappung der Ressource Raum zu begegnen. Hierbei ist bspw. an Kernfusion (vgl. BULLIS & STIELER 2011) oder auch an Strom aus dem All (vgl. VERSECK 2011) zu denken, die zweifelsohne mit einer Reduzierung des Flächenanspruches einhergehen würden. Diese technolo-

gischen Optionen werden jedoch kurz- bis mittelfristig nicht zur Verfügung stehen. Ein »herumwachsen« der Technologie um das Problem der Raumverknappung ist daher nur langfristig als Option anzusehen. Da sich die vorliegende Arbeit um eine kurz- bis- mittelfristige Perspektive für den Ausbau von EE bemüht, gilt es folglich, einen anderen, neuen Weg zu beschreiten. Dieser neue Ansatz wird, nachdem die Fragestellung 4 nun ausführlich behandelt wurde, im Folgenden genau erläutert.

Abbildung 36: Verhältnis zwischen Raum und Technologie (ökologische Ökonomik)



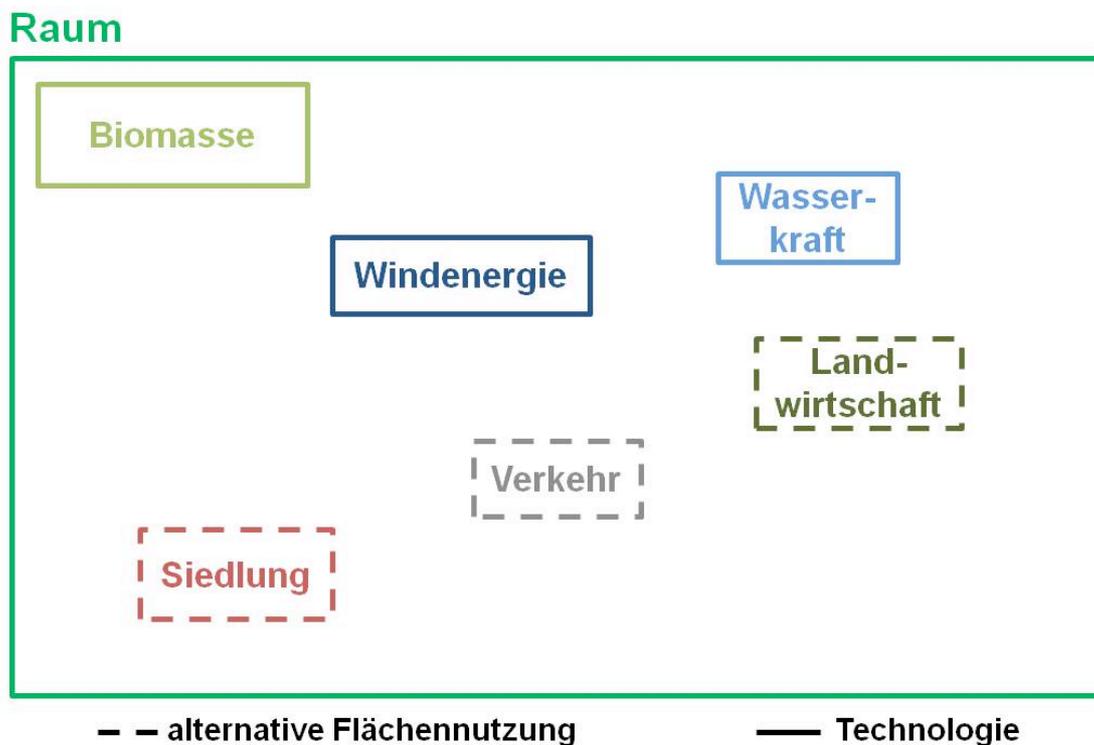
Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

Entsprechend des Paradigmas einer ökologischen Ökonomik nach DALY (1992 & 2001) kann auch eine Perspektive eingenommen werden, die den *Raum* als das relevante Ganze, die Technologie diesmal als Subsystem begreift (vgl. Abb. 36). Von entscheidender Bedeutung ist, dass neben dem Subsystem Technologie – darunter sind die EE zusammengefasst – weitere Subsysteme wie Industrie, Verkehr, Erholung, Naturschutz, Militär, Siedlung und Landwirtschaft, mit z. T. großen Flächennutzungsansprüchen, in Erscheinung treten (vgl. Abb. 37 & 38). Sie alle »buhlen« quasi um die »Gunst des Raumes«, wobei ein Großteil der Flächenbelegung durch die Vorgaben der Raumordnung erfolgt (vgl. SPITZER 1995 & WEILAND/ WOHLLEBER-FELLER 2007).

Charakteristisch an dieser Vision ist, dass mit dem Wachstum des Technologiemarkt ein Verlust an Raumkapital einhergeht. Da der Raum nicht vermehrbar ist, ergibt sich zwangsläufig eine Wachstumsgrenze für die Technologie (vgl. Abb. 36). Hinsichtlich der Annäherung an diese Grenze und der Fähigkeit des Menschen, den Annäherungsgrad einschätzen zu können, wird erneut eine Aussage von DALY (2001, S. 4/ 6) herangezogen. Auch in diesem Zitat werden die zentralen Begriffe entsprechend der oben beschriebenen Vorgehensweise substituiert.

„Ökologische Ökonomen haben [...] darauf hingewiesen, dass die [Technologie] nicht das relevante Ganze ist, sondern ihrerseits ein Subsystem, ein Teil des [Raumes] [...]. Die [...] präanalytische Vision der ökologischen Ökonomik [beinhaltet] – [dass] die [Technologie] als Subsystem eines größeren Ökosystems, das Grenzen hat, nicht wächst und stofflich geschlossen ist [, angesehen werden muss]. [Der Raum] ist offen in Bezug auf einen Fluss solarer Energie, aber dieser ist seinerseits begrenzt und ohne Wachstum.“

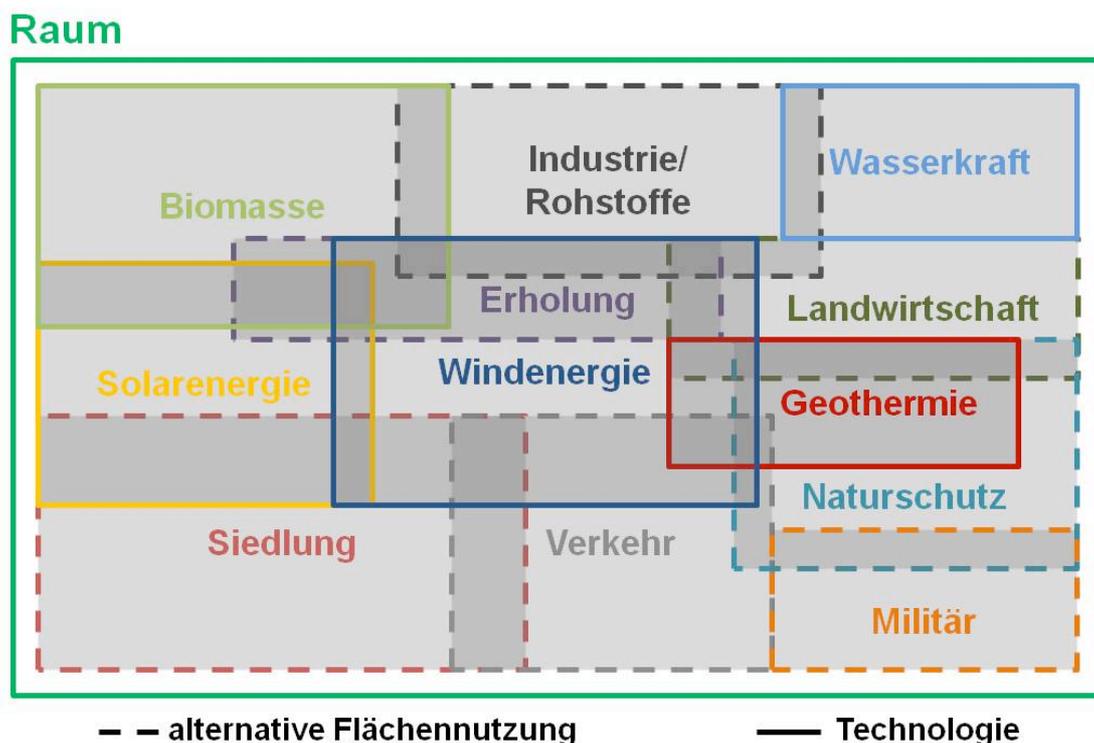
Abbildung 37: Verhältnis zwischen Raum und Technologie in einer leeren Welt



Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

Demnach bildet der Raum eine feste Grenze aus, die seitens der Technologie nicht überschritten werden kann. Es ist sogar davon auszugehen, dass bereits eine Annäherung an diese Grenze zu konflikträchtigen Aushandlungsprozessen um die Ressource Raum führen könnte. Dies umso mehr, wenn nicht nur die Flächenansprüche der konkurrierenden Technologien, sondern jene sämtlicher, gesellschaftlich relevanter Nutzungen mit ins Standortkalkül einzubeziehen sind. Da dem Subsystem Technologie im Rahmen der Raumordnung bisher nur wenig Aufmerksamkeit zu Teil wurde – ganz im Gegensatz zu den Flächennutzungen Industrie, Verkehr, Erholung, Naturschutz, Militär und Siedlung – stehen ohnehin nur noch Restkategorien von Räumen zur Integration von EE in den ländlichen Raum zur Verfügung. **Die Herausforderung besteht also darin, das optimale Ausmaß der Technologie im Verhältnis zum Raum zu ermitteln.**

Abbildung 38: Verhältnis zwischen Raum und Technologie in einer vollen Welt



Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

DALY (2001, S. 6) versteht unter dem optimalen Zustand jenen Punkt im Zusammenspiel der wirtschaftlichen Kräfte, bei dem das gesamtgesellschaftliche Wohlergehen am größten ist. Diese Auffassung stellt auch das Leitmotiv der vorliegenden Arbeit dar. Dabei ist es hilfreich, von der präanalytischen Vision der ökologischen Ökonomik auszugehen, d. h. den Raum als das relevante Ganze und die Technologie schlicht als ein

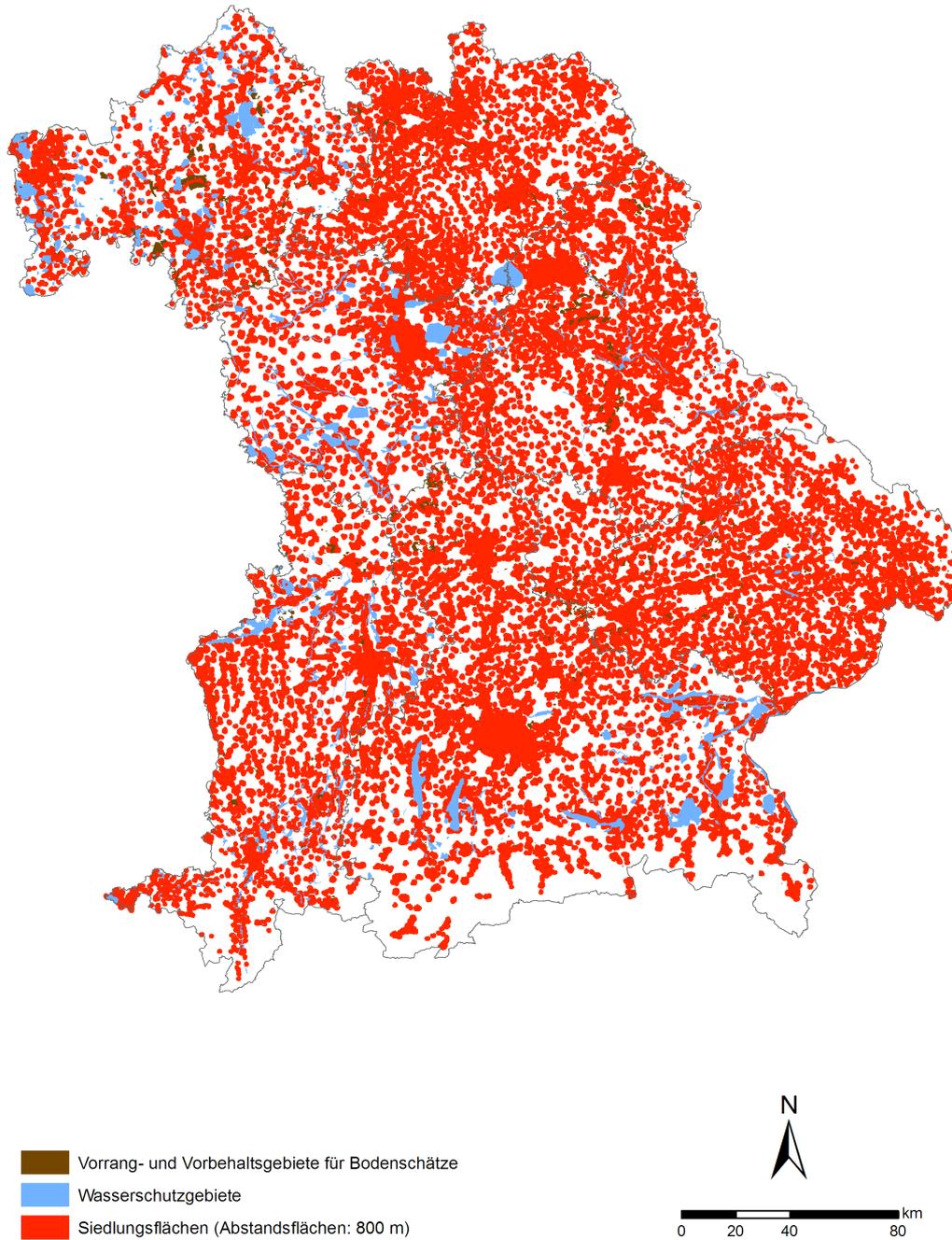
Subsystem zu betrachten (vgl. Abb. 36). Ausgehend von dieser Vorstellung stellt sich zwangsläufig die Frage, in welchem Ausmaß der Raum bereits mit Technologien und konkurrierenden Flächennutzungen angefüllt ist bzw. welchen Raumanspruch die einzelnen Subsysteme derzeit aufweisen. Hierzu ist es notwendig, sich zweier weiterer Begriffe aus der Theorie von DALY (1992 & 2001) zu bedienen und auf den Sachverhalt der vorliegenden Arbeit zu übertragen: Es geht dabei um die Begriffe »leere Welt« und »volle Welt« (DALY 2001, S. 6).

Von dieser grundlegenden Vision [der ökologischen Ökonomik] gibt es zwei Versionen: jene der 'leeren Welt' und jene der 'vollen Welt'. Das zeigt uns, dass die Vertreter des selben Paradigmas infolge verschiedener Interpretationen 'der Tatsachen' zu unterschiedlichen Meinungen über die Dringlichkeit kommen können. Jedoch werden beide Seiten zustimmen, dass das Ziel in einem optimalen Ausmaß der [Technologie] im Verhältnis zum [Raum] liegt. Das optimale Ausmaß ist jenes, bei dem das Wohlergehen am größten ist.“

In einer sog. leeren Welt – um die Begrifflichkeit von DALY (1992 & 2001) aufzugreifen – innerhalb derer kaum konkurrierende Flächennutzungsinteressen bestehen, stellt der Raum noch keinen begrenzenden Faktor dar (vgl. Abb. 37). Flächen sind vielmehr im Überfluss vorhanden und »Peak space« noch weit entfernt. Damit kann jede Technologie ohne Probleme räumlich expandieren und zum gesamtgesellschaftlichen Wohlergehen beitragen, ohne dabei eine Einschränkung für konkurrierende, möglicherweise besser geeignete Technologien darzustellen. In einer sog. vollen Welt ist dies nicht mehr ohne Weiteres der Fall, denn ein Großteil des Raumes wird sowohl von regenerativen Technologien als auch von Nutzungen beansprucht, die jenseits der Energieproduktion liegen (vgl. Abb. 38). Das bedeutet, dass mit zunehmendem Wachstum des Subsystems Technologie dieses einen immer größeren Anteil am Gesamtsystem Raum einnehmen und dabei zu einer Verschärfung der Flächennutzungskonkurrenz beitragen wird. Zahlreiche Indikatoren verweisen bereits heute auf das große Ausmaß an Flächennutzungskonkurrenz im ländlichen Raum. Beispielhaft stehen hierfür die regional z. T. erheblich steigenden Pachtpreise für Ackerland in veredelungsintensiven Landkreisen (z. B. Emsland, Cloppenburg, Diepholz). Verantwortlich dafür ist die Ausweitung des Energiepflanzenbaus und die damit einhergehende Erhöhung des Nutzungsdruckes auf die

landwirtschaftlichen Nutzflächen (vgl. BREUSTEDT/ HABERMANN 2010 & ENTRUP/ KIVELITZ 2010, S. 37).

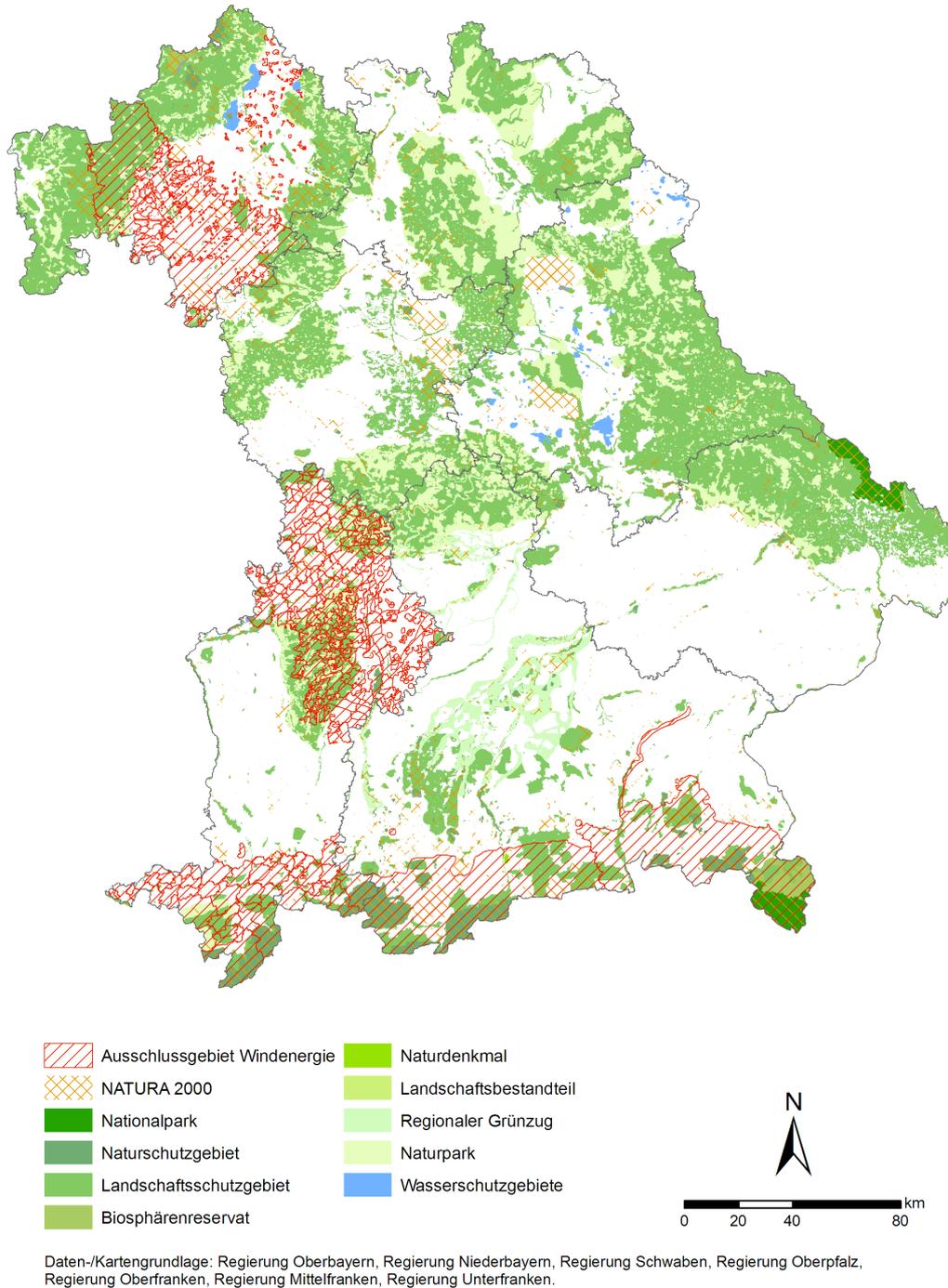
Abbildung 39: Windenergie in Bayern - Ausschlussgebiete (Restriktionsfläche I)



Daten-/Kartengrundlage: Regierung Oberbayern, Regierung Niederbayern, Regierung Schwaben, Regierung Oberpfalz, Regierung Oberfranken, Regierung Mittelfranken, Regierung Unterfranken.

Quelle: BOSCH/ PEYKE 2011e, S. 35.

Abbildung 40: Windenergie in Bayern - Ausschlussgebiete (Restriktionsfläche II)



Quelle: BOSCH/ PEYKE 2011e, S. 35.

Auch im Bereich Windenergie sind die räumlichen Grenzen bereits deutlich zu spüren, wie die Beispiele Bayern und AWZ zeigen. Im Freistaat Bayern spielte der Ausbau von WKA bis zum Reaktorunglück von Fukushima und den daraus abgeleiteten Konse-

quenzen für die bayerische Energiepolitik – nicht zuletzt aufgrund schlechter Windverhältnisse und eines dadurch traditionell kaum verankerten Technologiepfades Windenergie – eine eher untergeordnete Rolle (BOSCH/ PEYKE 2009, S. 45). In den kommenden Jahren ist in Bayern jedoch mit einer massiven Erhöhung der installierten elektrischen Leistung zu rechnen (BOSCH/ PEYKE 2011b, S. 110). Bei der AWZ handelt es sich ebenfalls um einen Raum, der sich erst spät dem Ausbau der Windenergie geöffnet hat (vgl. ALPHA VENTUS 2010; GILLE 2010 & BOSCH/ PEYKE 2011b). Die Windverhältnisse im Offshore-Bereich sind jedoch ungleich günstiger als im windschwachen Bayern, denn Windparks auf Offshore-Standorten generieren im Durchschnitt 50 % mehr Ertrag als jene im Binnenland (LESSNER 2010b, S. 18).

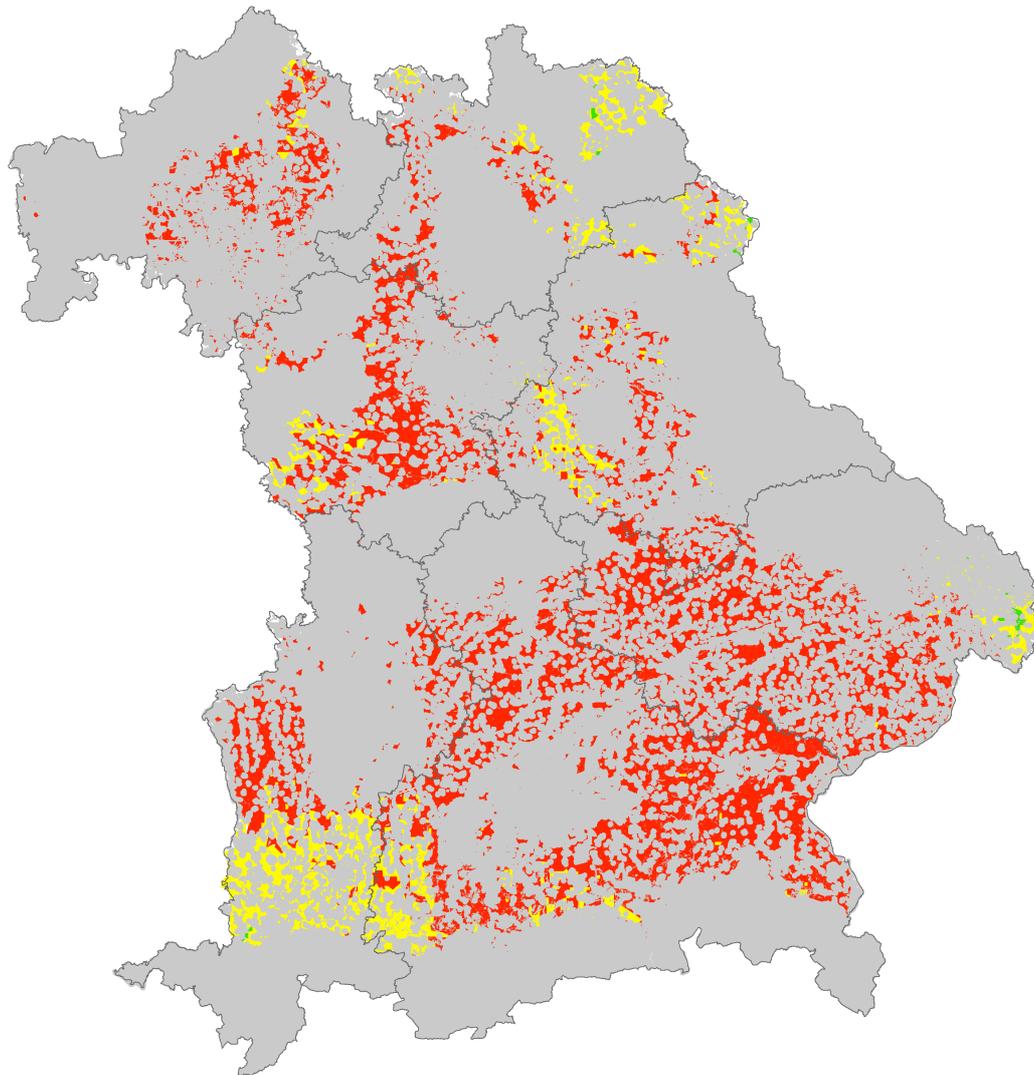
Grundsätzlich erfahren WKA eine baurechtliche Privilegierung im Außenbereich von Gemeinden. Dadurch wird verhindert, dass sich etwaige störende Wirkungen von WKA (z. B. Schattenwurf, Geräuschemissionen) negativ auf die Lebensqualität im Siedlungsbereich auswirken (vgl. JURISTISCHER INFORMATIONSDIENST 2010). Aus diesem Grund wurde bei der Standortanalyse für Bayern ein Mindestabstand der WKA zum Siedlungskörper von 800 m eingehalten (vgl. Abb. 39).

Die Abbildung 39 verdeutlicht eindrucksvoll, dass bereits durch den Ausschluss von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten für Bodenschätze sowie von Siedlungsflächen das Standortpotenzial der Windenergienutzung erheblich eingeschränkt wird. Allein damit sind noch längst nicht alle Restriktionsflächen erfasst. Die Ausweisung von ausgedehnten Ausschlussgebieten für Windenergie, National- und Naturparken, Landschafts- und Naturschutzgebieten, Biosphärenreservaten etc. sorgen zusätzlich dafür, dass dem Ausbau der Windenergie nur ein schmaler Korridor verbleibt (vgl. Abb. 40). Zusätzlich verschärft wird der räumliche Engpass dadurch, dass, angesichts der Windhöufigkeit in Bayern, nur wenige der ausschussfreien Gebiete zur Initiierung von Windenergieprojekten geeignet sind (vgl. Abb. 41).

Angesichts derartiger Restriktionen auf Binnenstandorten könnte eine mögliche Strategie darin bestehen, auf Offshore-Standorte in Nord- und Ostsee auszuweichen. Die Annahme, dass der Flächennutzungsdruck auf hoher See geringer ausfällt, ist jedoch keineswegs korrekt (vgl. Abb. 42). Vorranggebiete für Windenergie erscheinen auch hier lediglich als Restgröße innerhalb eines Raumes, der bereits stark von der Seeschifffahrt sowie von Schutzgebieten beplant ist. Die ausschussfreien Flächen werden nicht zuletzt

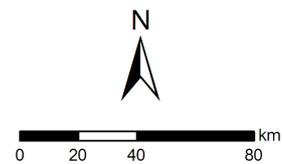
aus Gründen des Raummangels intensiv von der Windenergiebranche genutzt (vgl. Abb. 43).

Abbildung 41: Windenergie in Bayern - Standortpotenzial



Standortpotential Windenergie

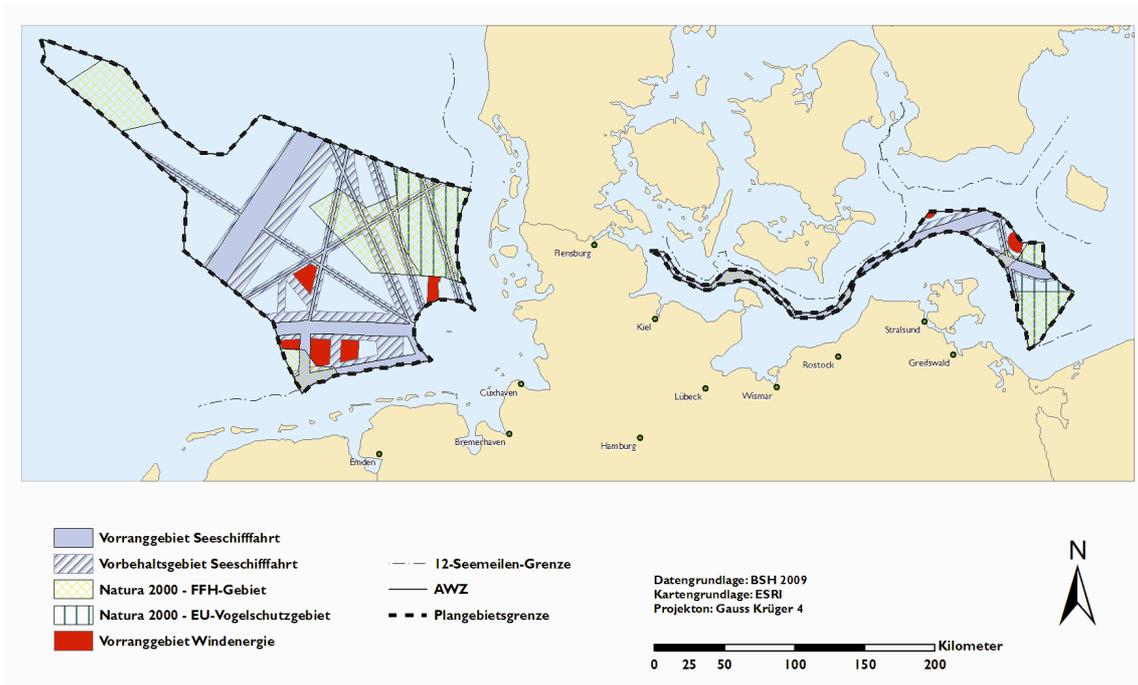
- Optimal
- Gut
- Mäßig
- Restriktionsflächen I + II



Daten-/Kartengrundlage: Regierung Oberbayern, Regierung Niederbayern, Regierung Schwaben, Regierung Oberpfalz, Regierung Oberfranken, Regierung Mittelfranken, Regierung Unterfranken.

Quelle: BOSCH/ PEYKE 2011c, S. 54.

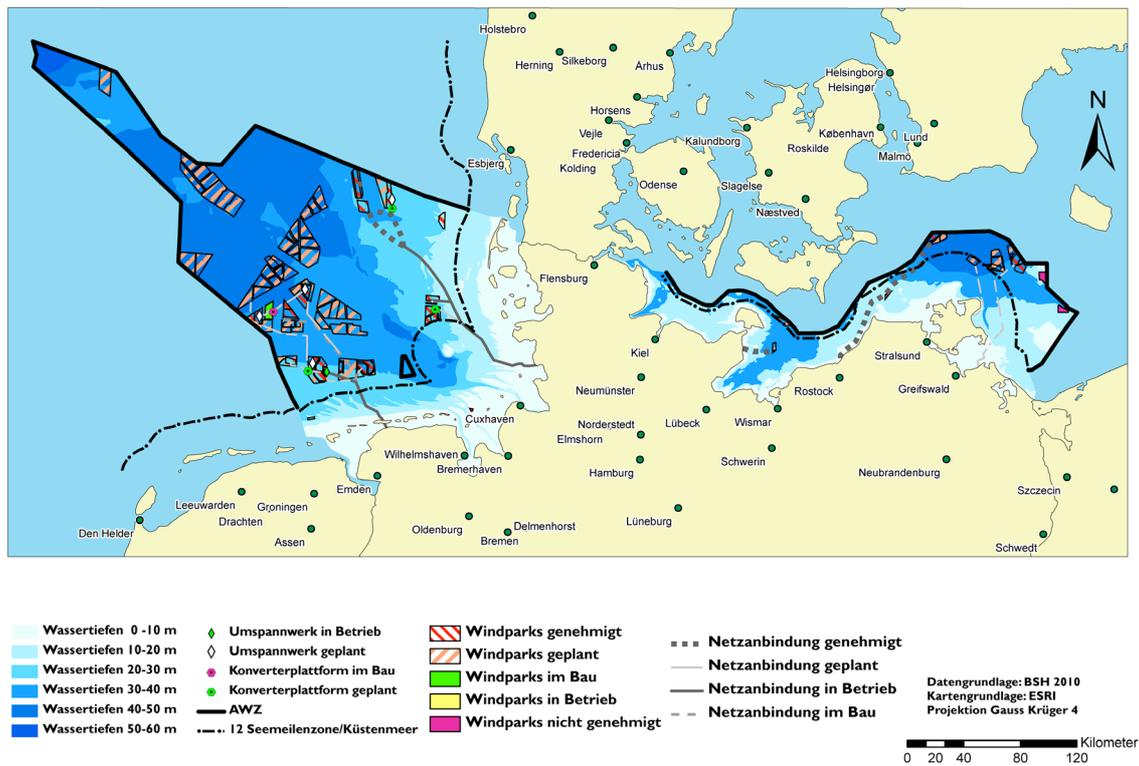
Abbildung 42: Integration der Windenergie in die AWZ



Quelle: BOSCH/ PEYKE 2011c, S. 55.

Indikatoren wie Pachtpreise sowie die oben visualisierten räumlichen Möglichkeiten der Windenergie sind ein Beleg dafür, dass hinsichtlich des Ausbaus der EE von einer vollen Welt auszugehen ist. Zwar gibt es jenseits der Windenergie noch keine weiteren gebietsbezogenen Nutzungsregelungen in Form von Vorranggebieten, jedoch offenbaren sich bei genauerer Betrachtung auch bei der Solarenergie erhebliche räumliche Einschränkungen, die das Bild von einer vollen Welt bestätigen. Allein aus der Vorgabe, dass PV-Freiflächenanlagen an Siedlungskörper anzubinden sind (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM DES INNERN 2009, S. 2), um einer etwaigen Zersiedelung der Landschaft vorzubeugen, erwachsen erhebliche räumliche Einschränkungen für die Solarindustrie (vgl. ARGE PV-MONITORING 2005 & BOSCH/ PEYKE 2011b). Darüber hinaus werden einerseits Ackerflächen seit dem 1. Juli 2010 nicht mehr in der Vergütungsstruktur mitberücksichtigt, andererseits die Vergütungssätze in Etappen gekürzt (vgl. BMU 2010). Bedeutende räumliche Potenziale für die PV-Industrie sind nunmehr in erster Linie innerhalb eines 110- bzw. 100-Meter-Streifens entlang von Bahntrassen und Autobahnen zu finden (vgl. SCHRÖDTER/ KURAS 2011). Des Weiteren ist der im Rahmen der DII geplante Ausbau von solarthermischen Kraftwerken in den Wüstengebieten der MENA-Region, der mit einer Entlastung ländlicher Räume in Europa einhergehen würde, noch fragwürdig (vgl. BOSCH 2010a).

Abbildung 43: Geplante und genehmigte Windparks in der AWZ



Quelle: BOSCH/ PEYKE 2011c, S. 55.

Mit Blick auf die von der AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN (2009) veröffentlichten Vorgaben zum Ausbau von EE ist zu erwarten, dass sich speziell im Bereich Bioenergie Probleme aufgrund einer »vollen Welt« ergeben werden. Um bis 2020 jährlich 54,3 Mrd. kWh Strom, 150,3 Mrd. kWh Wärme und 111,3 Mrd. kWh Kraftstoff liefern zu können, müsste der Bioenergie ein Anteil von 21,9 % an der landwirtschaftlich genutzten Fläche zugestanden werden. Dies würde in etwa einer Fläche von 3,7 Mio. ha entsprechen (vgl. Abb. 44). Ein derartiges Ausmaß dürfte sich aufgrund widerstrebender Raumnutzungsinteressen als äußerst konfliktträchtig darstellen. Die Bioenergie steht nicht zuletzt in starker Flächennutzungskonkurrenz zum Anbau von Nahrungs- und Futtermitteln und sieht sich darüber hinaus – aufgrund eines aus ökologischer Sicht bedenklichen Anbaus von Energiepflanzen (Monokulturen, Bodenerosion, Eutrophierung, Verlust an Biodiversität etc.) – mit einer schwindenden Akzeptanz in der Bevölkerung konfrontiert (vgl. JENSSEN 2010; LESSNER 2010c; NABU 2010 & BOSCH/ PEYKE 2011b). Ohnehin können sich nur 42 % der Bevölkerung vorstellen, in unmittelbarer Nähe einer Biomasseanlage zu wohnen (vgl. Abb. 45). Die Bioenergie besitzt damit das schlechteste Image unter den EE. Als Gründe werden v. a. Geruchsbelästigung sowie

ein erhöhtes Verkehrsaufkommen durch den Transport von Substraten – i. d. R. Silomais, Grassilage und Roggen – angegeben. Die Bioenergie scheint demnach bereits zum jetzigen Zeitpunkt an die Grenzen des Raumes zu stoßen, wobei fraglich ist, ob ein raumverträgliches Standortkonzept nicht auch neue Raumpotenziale freisetzen könnte.

Abbildung 44: Potenzial und Flächenverbrauch von EE in Deutschland bis 2020

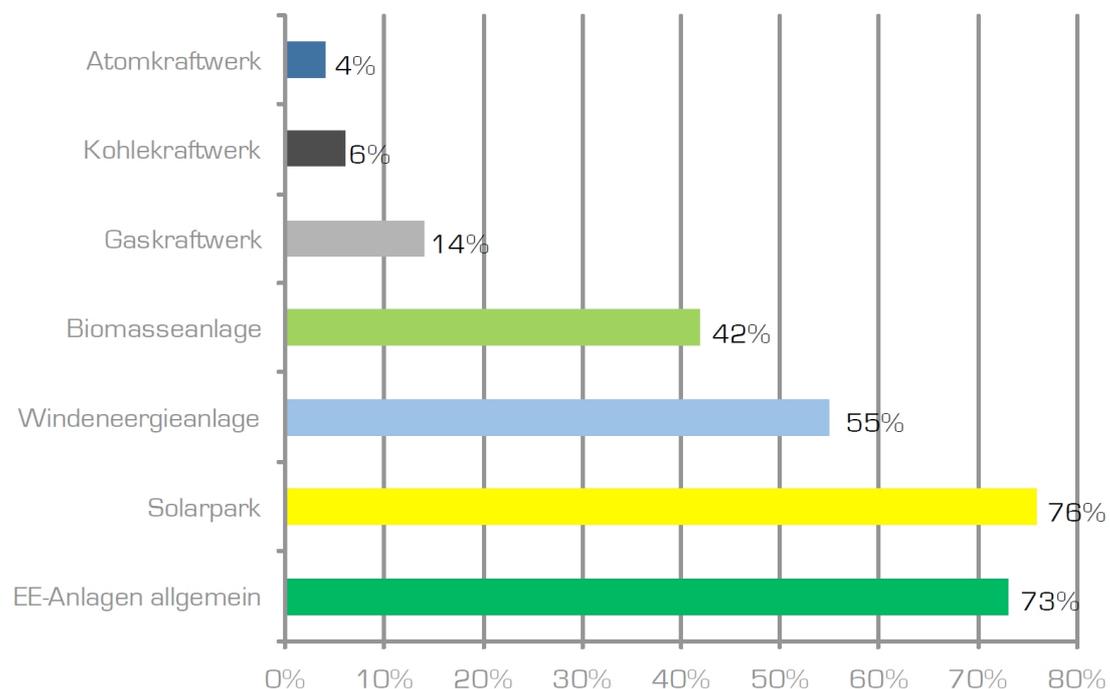
Energieträger	Potential 2020	Flächenverbrauch
Windenergie	Strom: 18,8%	270.000 ha
Solarenergie	Strom: 6,6%	Freifläche: 10.500 ha
	Wärme: 2,6%	Gebäude: 37.000 ha
Geothermie	Strom: 0,6%	960.000 ha (unterirdisch)
	Wärme: 3,6%	
Bioenergie	Strom: 9,1%	3,7 Mio. ha
	Wärme: 13,1%	
	Kraftstoff: 21,4%	
Wasserkraft	Strom: 5,4%	

Quelle: PEYKE/ BOSCH et al. 2011, S. 36.

Eines ist nun deutlich geworden: Die Zeiten einer leeren Welt sind längst vorbei. In vorindustrieller Zeit, in der die Nutzung regenerativer Quellen – v. a. Biomasse – bereits eine große Bedeutung innehatte (vgl. BRÜCHER 2008 & BRÜCHER 2009), waren Flächen noch in ausreichendem Maße vorhanden. Zwar wurde die Energie vom Raum bezogen (energy from space), jedoch fiel die Verbreitung von dezentralen Kraftwerken aufgrund eines geringen technologischen Reifegrades sehr gering aus. Des Weiteren traten kaum konkurrierende Flächennutzungen auf. Wirtschaftliches Wachstum und räumliche Expansion waren durch die Verwendung von äußerst primitiven Technologien wie Windmühlen und Brennholzöfen nicht möglich. Darüber hinaus konnte die Biomasse nicht weit transportiert werden. Damit fanden Energieerzeugung und -verbrauch oftmals am gleichen Standort statt. Diese technologische und wirtschaftliche Stagnation bei den regenerativen Energieträgern wurde schließlich durch die Verwendung von Steinkohle sowie durch Basisinnovationen wie Dampfmaschine, Koks und Eisenbahn überwunden. Hinsichtlich der Energiebereitstellung spielte der Raum während der Industrialisierung lediglich eine untergeordnete Rolle, denn das Energiesystem hing von der Ergiebigkeit weniger, ungleich verteilter Lagerstätten und nicht von der Verfügbarkeit von Flächen

ab. Der Raum spielte allein bei der Verteilung der Energie eine Rolle, denn ausgehend von wenigen großen Kraftwerken musste der gesamte Raum mit Energie beliefert werden. BRÜCHER (2008, S. 4) beschreibt ein derartiges Energiesystem treffend mit »**energy for space**«. Mit dem Beginn des »Erdölzeitalters« verstärkte sich der zentrale Charakter dieses Systems noch. Von diesem Zeitpunkt an reduzierte sich der Flächenverbrauch auf nur mehr punktuelle Standorte wie Rohöl- und Erdgaslagerstätten, deren Reservoirs sich unter der Erdoberfläche befanden (vgl. BRÜCHER 2009).

Abbildung 45: Akzeptanz von dt. Kraftwerken in unmittelbarer Nachbarschaft 2009



Quelle: BOSCH/ PEYKE 2011b, S. 113.

Die Endlichkeit von fossilen und nuklearen Energieträgern, die zunehmende Abhängigkeit von wenigen Lieferländern (REMPEL 2008, S. 23ff.) sowie die negativen Umweltwirkungen führen nun zu einer Renaissance von »**energy from space**« (BRÜCHER 2008, S. 4). Die technologischen Standards und der technologische Fortschritt sind jedoch nicht mehr mit vorindustriellen Verhältnissen vergleichbar. Längst befassen sich FuE mit der Optimierung technischer Parameter und bringen so standardisierte Spitzentechnologien mit hohen Wirkungsgraden hervor. Der wirtschaftliche Fortschritt und das Bevölkerungswachstum der Nachkriegszeit haben jedoch dazu geführt, dass sich die Nutzungsansprüche an den Raum verstärkt und einer »vollen Welt« den Weg geebnet haben. Zahlreiche Interessengruppen wie Naturschutzverbände, Tourismusverbände, Hei-

matpflegevereine, Industrieverbände und Militär wollen die noch freien Flächen beplanen. Der Raum wird dadurch zusehends zum eigentlichen limitierenden Faktor eines regenerativen Energiesystems. In einer Zeit, in der sich der Ausbau von EE auf Wüstengebiete, Offshore-Bereiche, Konversionsflächen sowie Gebäudefassaden zu beschränken scheint bzw. zum Ausweichen gezwungen wird (vgl. BOSCH/ PEYKE 2011b & BOSCH/ PEYKE 2011c), um dadurch den ländlichen Raum möglichst vor einer zu starken Technisierung zu bewahren, scheint die Annäherung an die räumlichen Grenzen bereits spürbar geworden zu sein. **Daraus erwächst die Notwendigkeit, jeglichen weiteren Ausbau von dezentralen Kraftwerken kritisch zu hinterfragen und auf seine Notwendigkeit und Raumeignung hin zu überprüfen. Ziel muss es sein, aus möglichst wenig Fläche möglichst viel Energie zu generieren bzw. den notwendigen Ausbau auf ein Minimum an Fläche zu beschränken.** Es stellt sich schlicht die oben bereits erwähnte Frage nach dem optimalen Ausmaß der Technologie im Verhältnis zum Raum.

5.5 Ursachen des suboptimalen Ausbaus von Erneuerbaren Energien

Ausgehend von einer vollen Welt – dies ist entsprechend den Ergebnissen des vorhergehenden Kapitels angebracht –, innerhalb derer sich eine Energiewende auf ein Minimum an Flächen beschränken muss, ist es notwendig, von einem neuen Paradigma in der Standortplanung auszugehen. Wie bereits erwähnt wurde, muss hierzu der Raum in das Zentrum standortkonzeptioneller Überlegungen gerückt werden. Allzu oft liegt der Fokus jedoch auf der Technologie. Im Folgenden wird erörtert, welche Gründe hierfür verantwortlich sind. Dies bedeutet, dass nochmals auf Fragestellung 3 näher eingegangen wird.

Es ist davon auszugehen, dass persönliche Präferenzen von Unternehmern eine gewichtige Rolle bei der räumlichen Verteilung von EE spielen. Einerseits ist hierbei die Sympathie für einen spezifischen Technologiepfad, andererseits die Wahl des entsprechenden Standortes zu betrachten. Geht man von einem **geodeterministischen Menschenbild** aus, so zwingen die lokalen bzw. regionalen natürlichen Voraussetzungen den Unternehmer zur Wahl eines ganz bestimmten Technologiepfades. Der Unternehmer besitzt keine Wahlfreiheit, da die standortspezifischen Voraussetzungen, wie bspw. eine hohe solare Einstrahlung, eine hohe Windhöufigkeit oder eine hohe Biomasseproduktion, ihn auf eine PV-Freiflächenanlage, WKA oder BGA festlegen. Besitzt der Unter-

nehmer hingegen vollkommene Wahlfreiheit, weil er nicht an Natur- sowie andere Standortfaktoren gebunden ist, so wird von **Voluntarismus** gesprochen. Damit wird die Entscheidung für eine WKA, PV-Freiflächenanlage oder BGA der Abhängigkeit von natürlichen Voraussetzungen wie Windhöffigkeit, Globalstrahlung oder Bodenqualität enthoben und hängt allein vom Willen des Unternehmers ab. Geodeterminismus und Voluntarismus stellen nach Ansicht von BATHELT/ GLÜCKLER (2002, S. 24) Extreme dar und können die Realität nur unzureichend beschreiben. Hilfreich erscheint da der von *Vidal de la Blache* schon früh geprägte Begriff des **Possibilismus**, der die Welt als ein System auffasst, innerhalb dessen die Natur zwar Einfluss auf das Handeln des Menschen ausübt, dieser jedoch ein gewisses Maß an Wahlfreiheit besitzt. Übertragen auf die EE bedeutet dies, dass spezifische natürliche Standortvoraussetzungen zwar Wettbewerbsvorteile für spezifische Technologien schaffen, der Unternehmer jedoch auch suboptimale Lösungen, die dennoch einen wirtschaftlichen Betrieb ermöglichen, in Betracht ziehen kann.

Darüber hinaus ist es möglich, dass fehlendes Natur-Kapital durch den Einsatz von menschengemachtem Kapital kompensiert werden kann. Beispielhaft steht hierfür die auf Düngemaßnahmen beruhende, sukzessive Aufwertung eines ursprünglich ertragsarmen Bodens, um diesen für den Anbau von Energiepflanzen aufzubereiten. Zusätzlich ist zu bedenken, dass bei der Wahl des Standortes – speziell bei kleineren Unternehmungen – das **mikrosoziale Umfeld** eine wesentliche Rolle spielen kann (KLANDT 1984, S. 59). Oftmals schließen die Unternehmer von Beginn an Standorte aus, die jenseits des lokalen bzw. regionalen **Aktionsraumes** liegen, nicht zuletzt da sie v. a. einen guten Informationsstand bzgl. der jeweils lokalen bzw. regionalen Standortvoraussetzungen besitzen (vgl. FRITSCH 1990; KIRSCHBAUM 1982 & LLOYD/ MASON 1983). Des Weiteren ist es angesichts der **limitierenden Faktoren Information, Geld und Zeit** schlichtweg nicht möglich, alle Standorte in die Überlegungen mit einzubeziehen (SCHMUDE 1994, S. 78). Im Extremfall lassen Betreiber die EE sogar auf dem eigenen privaten Grundstück – wie es bspw. bei den zahlreichen Hofanlagen in der Biogasbranche oder bei gebäudeintegrierten PV-Modulen der Fall ist – errichten. **Subjektive Wertvorstellungen, persönliche Präferenzen** aber auch **Zufall** und die **Nachahmung erfolgreicher Standortentscheidungen** müssen ebenfalls in Betracht gezogen werden (SCHÄTZL 2001, S. 60/ 63).

Davon abgesehen ist zu betonen, dass bei wirtschaftlichen Entscheidungen auch **soziale Regeln** und **Reziprozität** bedeutende Faktoren sein können (vgl. BATHELT/ GLÜCKLER 2001 & FEHR/ GÄCHTER 1998). Das »**Konzept der embeddedness**« besagt, dass ökonomisches Handeln stets in ein System sozialer Beziehungen eingebettet ist (vgl. GRANOVETTER 1985 & GRANOVETTER 1990). Nicht zuletzt geht die **Münchener Schule der Sozialgeographie** davon aus, dass der Mensch – als Träger von Funktionen – stets im Kontext der Werte, Motive und Bewertungsmaßstäbe einer sozialen Gruppe handelt (vgl. MAIER et al. 1977). Derartige Einflüsse können sich in einer Abweichung vom Standortoptimum äußern, wenn – je nach sozialer Zugehörigkeit – ein unterschiedlicher Bewertungsmaßstab bei der Integration von EE in den ländlichen Raum herangezogen wird.

Nicht zu unterschätzen ist auch die Tatsache, dass Energieunternehmen und Anlagenbauer **machtvolle Institutionen** darstellen, die das Standortverhalten und damit die Marktchancen anderer, konkurrierender Akteure beeinflussen können. BATHELT/ GLÜCKLER (2002, S. 173) betonen, dass Standortfaktoren wie Infrastruktur, Steuern und Löhne keineswegs festgelegte Größen sind, vielmehr befinden sie sich im Brennpunkt wiederkehrender Aushandlungsprozesse. Das zentrale Anliegen eines Unternehmens sei dabei das Streben nach Wachstum. Dieses lasse sich v. a. durch die Kontrolle über Ressourcen erreichen. Auch die Ressource Raum wird dabei zum »Spielball« konkurrierender Interessen und muss sich unternehmensspezifischen Zielen unterordnen. Gesamtgesellschaftliche Interessen rücken dabei möglicherweise in den Hintergrund, bspw. wenn Standorte mit Technologien besetzt werden, die nicht der optimalen Nutzung der Standortpotenziale, sondern vielmehr dem Wachstumsstreben von Unternehmen entsprechen. BRÜCHER (2008, S. 11) weist darauf hin, dass der von den Ölkonzernen BP und Shell sowie vom großen französischen Energieversorger EDF zu beobachtende Einstieg in den Bereich der EE nicht nur auf den Versuch zurückzuführen ist, sich ein umweltfreundliches, grünes und modernes Image anzueignen. **Vielmehr sei es das versteckte Ziel, die etablierten zentralen Entscheidungsstrukturen aufrechtzuerhalten und den Ausbau von EE möglichst zu blockieren.** Nicht zuletzt besteht die Vermutung, dass die Errichtung der ersten WKA in Deutschland – mit dem Namen GROWIAN – ein gezielter Schachzug der großen, kernenergiefreundlichen Energieversorger war, um die Windenergie massiv zu diskreditieren (DOHMEN/ HORNIG 2004, S. 83).

Nun stellt sich die Frage, wie sich diese zahlreichen, soeben beschriebenen Einflussfaktoren auf den Ausbau von EE auswirken können. Folgendes ist dabei festzuhalten: Allen diesen Ansätzen ist zu eigen, dass dem spezifischen Potenzial eines Raumes nicht die Bedeutung beigemessen wird, die zu einem optimalen Ausbau von EE notwendig wäre, denn die Primatstellung hinsichtlich standortkonzeptioneller Überlegungen kommt eindeutig der Technologie zu. Daraus können u. U. erhebliche Probleme erwachsen. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Standortplaner nicht zwangsläufig dazu genötigt werden, die Identifizierung von optimalen Standorten mit ins Kalkül einbeziehen zu müssen. Suboptimale Standorte, die vor dem Hintergrund der Stützung durch das EEG oder EEWärmeG zumindest einen soliden wirtschaftlichen Betrieb regenerativer Kraftwerke ermöglichen, sind bereits ausreichend. D. h., es werden lediglich **Mindestanforderungen** an den Raum gestellt, wie bspw. bei BRÜCHER (2008, S. 8), der nach Standorten mit einer Windhöflichkeit von mindestens 5 m/ s in 50 m Höhe sucht.

Im Sinne der **Marginalschule der industriellen Standortlehre**, die auf SMITH (1971) zurückgeht, erfolgt der Ausbau von EE damit nach dem Prinzip einer **flächenbezogenen Standortbewertung**. Im Vordergrund steht nicht zwangsläufig die Identifizierung des optimalen Standortes und damit das Ziel der Gewinnmaximierung – entsprechend dem rationalen Verhalten eines homo oeconomicus (REICHART 1999, S. 31) –, als vielmehr das reine Streben nach Gewinn. Es wird folglich von räumlichen Gewinnzonen ausgegangen. Innerhalb dieser sog. *Margins* besteht eine gewisse Flexibilität hinsichtlich standortplanerischer Entscheidungen (BATHELT/ GLÜCKLER 2002, S. 130f.; DICKEN/ LLOYD 1999, S. 83ff. & SCHÄTZL 2001, S. 52ff.). Die Frage, ob andere Technologien nicht eine bessere Eignung innerhalb dieser Gewinnzonen besitzen würden, wird – wie bereits erwähnt – nicht gestellt. Hierzu müsste eine **punktbezogene Standortbewertung** erfolgen, wie sie bspw. bei WEBER (1909) durch die Ermittlung des »tonnenkilometrischen Minimalpunktes« vorliegt. Diese Herangehensweise schien jedoch bereits mit PRED (1967) überholt. Er verdeutlichte mittels einer **behavioristischen Matrix**, dass die Frage, ob ein Unternehmen einen Standort innerhalb oder außerhalb der Gewinnzone wählen würde, in entscheidendem Maße von der Quantität und Qualität der verfügbaren Informationen sowie von den Fähigkeiten abhängt, diese Informationen auch nutzen zu können (vgl. BATHELT/ GLÜCKLER 2002, S. 131f. & SCHÄTZL 2001, S. 59ff.). Allan Pred hält es für möglich, dass trotz eines Mangels an Informationen und suboptimaler Informationsverarbeitungsfähigkeiten die Wirtschaftlichkeit einer Stan-

dortentscheidung gegeben sein kann. Er geht damit ebenfalls von räumlichen Gewinnzonen aus und zeigt, dass eine Optimierung nicht zwangsläufig notwendig ist. Hierbei wird vom **Satisficer-Konzept** gesprochen (vgl. SCHAMP 1983 & UCHATIUS 2000). Es geht folglich nicht um „*die Wahl eines optimalen, sondern [um] die eines zufriedenstellenden Standortes.*“ (SCHÄTZL 2001, S. 62).

In der Tat würde sich eine punktbezogene Standortbewertung angesichts der vielfältigen Interdependenzen zwischen den zahlreichen, ins Kalkül mit einzubeziehenden Variablen technologischer, wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Art sowie ihrer großen Dynamik als äußerst komplex erweisen. Wird diese Herausforderung jedoch nicht angenommen, so besteht die Gefahr, dass aufgrund von suboptimalem Unternehmertum, persönlichen Präferenzen sowie wirtschaftlicher Macht Standorte besetzt werden, die nicht der optimalen Nutzung der Flächen entsprechen. Dadurch könnten einerseits wertvolle Energiepotenziale verloren gehen, andererseits das Image der EE Schaden erleiden. Daher ist es notwendig, den Raum optimal zu nutzen. Das Verhältnis zwischen Raum und Technologie muss hierzu jedoch neu definiert werden.

5.6 Neues Verhältnis zwischen Raum und Technologie

Mit der Erarbeitung eines neuen Standortkonzeptes – dies ist ein wesentliches Anliegen der vorliegenden Arbeit – gilt es, einen Paradigmenwechsel in der Standortplanung für EE einzuleiten. Die entscheidenden Impulse erwachsen dabei aus einer Neudefinierung des Verhältnisses zwischen Raum und Technologie. Die vorhergehenden Kapitel haben gezeigt, dass nicht mehr die Technologie, sondern der Raum in den Mittelpunkt standortkonzeptioneller Überlegungen zu rücken ist. Der Raum, der bisher nur als Anbieter von Standortfaktoren fungierte und dadurch eine Abwertung zu einer bloßen Ressource erfuhr, wird durch diesen Paradigmenwechsel seiner Unterbewertung enthoben. Der Raum stellt nun die Anforderungen und die Technologie hat entsprechende Voraussetzungen zu liefern (vgl. Abb. 46).

Es stellt sich die Frage, ob eine derartige Schwerpunktverlagerung tatsächlich zu einer nennenswerten Steigerung des Beitrags von EE führen kann. Dies wird noch zu überprüfen sein. Eine Tatsache spricht bereits an dieser Stelle dafür, dass von der neuen Sichtweise positive Impulse für den Ausbau von EE zu erwarten sind: **Werden die Ansprüche der Technologie in den Vordergrund gerückt, so kann es u. U. zu einer**

nicht eindeutigen Zuordnung von Raum und Technologie kommen, da die Voraussetzungen, die ein bestimmter Raum liefert, möglicherweise für mehr als eine Technologie geeignet sind. Ein Standort kann hinsichtlich Windhöflichkeit, Solarstrahlung und Biomasseproduktion durchaus so ausgestattet sein, dass ein wirtschaftlicher Betrieb *aller* Technologiepfade möglich ist. Prinzipiell muss dies kein Nachteil sein, v. a. wenn es darum geht, Technologien an einem Standort zu kombinieren. Problematisch ist es jedoch, wenn aufgrund dieser scheinbaren Wahlfreiheit die Frage nach der *optimalen* Raumnutzung nicht mehr gestellt wird. Die Gefahr besteht darin, dass sich eine suboptimale Lösung durchsetzt, die sich gegenüber den konkurrierenden Technologien lediglich durch »**nicht-objektive Standortvorteile**« (unternehmerische Macht, qualitativ/ quantitativ bessere Informationen, Lobbyismus etc.) auszeichnet (vgl. Abb. 47 oben).

Abbildung 46: Neue Perspektive bei Standortplanungsprozessen für EE

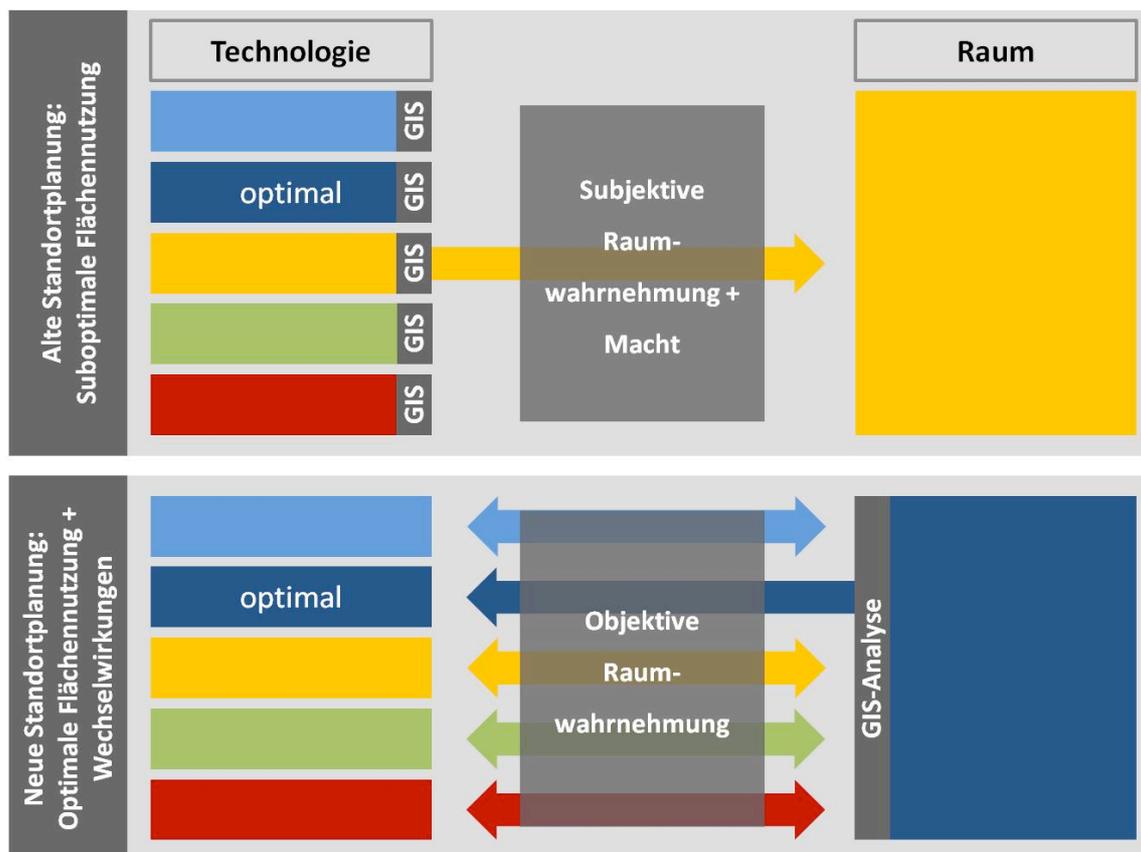


Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

Eine *eindeutige* Zuordnung von Raum und Technologie – dies sollte das zentrale Motiv einer objektiven, am Optimum interessierten, raumverträglichen Standortplanung darstellen – lässt sich nur vollziehen, wenn die Ansprüche des *Raumes* (vgl. Kapitel 5.7.3) in den Vordergrund gerückt werden. Entscheidend dabei ist, dass es die Anforderungen des Raumes sind, die es zu berücksichtigen gilt. Diese werden an die Technologien bzw. an alle verfügbaren EE weitergegeben, die sich quasi dem Raum mittels ihrer jeweils spezifischen technologischen Voraussetzungen anpreisen (vgl. Abb. 47 unten). Die Raumeignung der Technologien soll schließlich mit Hilfe von GIS festzustellen sein. Dabei dürfen jedoch nicht nur ökonomische Parameter eine Rolle spielen, viel-

mehr geht es auch um eine **gesellschaftliche Integration der Technologien in den Raum**. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, diesbezüglich ein Bewertungsschema zu entwerfen, das als Vorlage für die Entwicklung einer neuen Standortplanungs-Software dienen kann. Letztlich besteht der wissenschaftliche Anspruch darin, dem Raum seitens der Standortplanung diejenige(n) Technologie(n) zuzusichern, die eine raumverträgliche Flächennutzung gewährleistet (gewährleisten).

Abbildung 47: Paradigmen bei Standortplanungsprozessen für EE



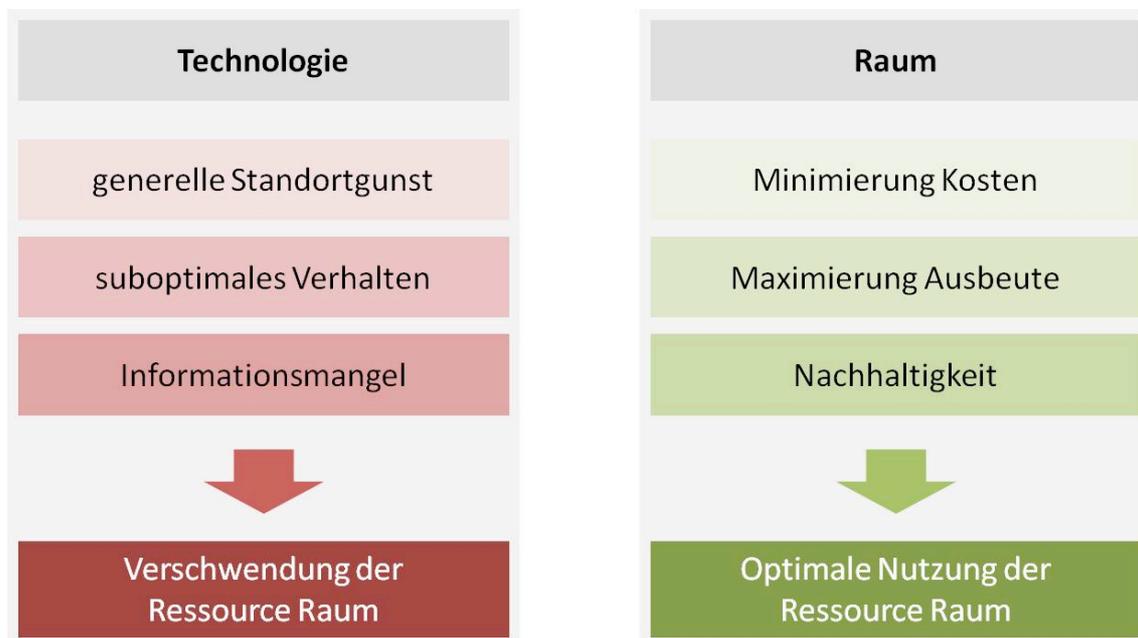
Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

Um dieses Ziel zu erreichen, ist Folgendes zu beachten: **Es geht nicht mehr darum, den optimalen Standort für eine gegebene Technologie zu identifizieren. Vielmehr gilt es, die optimale Technologie für einen gegebenen Standort zu bestimmen.** Zwar bleibt auch dann die Tatsache bestehen, dass ein gegebener Standort für mehrere Technologien, die sich quasi um den »Zuschlag des Raumes« bemühen und bewerben, lukrativ sein kann. In jedem Fall wird jedoch die **Technologiewahl** bzw. **Technologieentscheidung** (im Gegensatz zur Standortwahl bzw. Standortentscheidung) eindeutig ausfallen, da nur jener Technologie der Raumzugriff gewährt wird, die im Rahmen des Zusammenspiels mehrerer Parameter ökologischer, ökonomischer und sozialer Natur eine

raumverträgliche und damit optimale Nutzung der Flächen verspricht (vgl. Abb. 47 unten). Der Raum wird sich die beste Technologie innerhalb eines Bewertungsverfahrens quasi stets »herauspicken«.

Es ist davon auszugehen, dass die Entscheidung eines Raumes für eine bestimmte Technologie nicht ohne Wirkung auf die konkurrierenden, »verschmähten« Technologien bleiben wird. Im Zuge von FuE werden die Hersteller versuchen, ihre Technologien dahingehend zu optimieren, dass diese im Rahmen eines etwaigen neuen Bewertungsdurchganges den Vorsprung der Konkurrenz verringern oder wettmachen, ggf. sogar zur Technologie mit der besten Raumeignung aufsteigen (vgl. Abb. 47 unten). Die neue Standortplanung würde damit einen intensiven Wettbewerb zwischen den EE einleiten, in dem es darum ginge, Technologien noch besser in den Raum zu integrieren. Dies würde die Akzeptanz eines regenerativen Energiesystems erhöhen und so weitere Ausbaupotenziale freisetzen.

Abbildung 48: Eigenschaften der alten und neuen Standortplanung



Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

Es stellt sich die Frage, ob es sich bei dem oben beschriebenen Übergang von der Leitidee der Standortwahl zur Leitidee der Technologiewahl um einen völlig neuen Ansatz in der Raumforschung handelt. Dies ist zu verneinen! Bemerkenswert ist, dass dieses neue Paradigma in der Standortplanung für EE auf einer Raumperspektive beruht, die

bereits der **erste Standorttheoretiker (!)**, *Johann Heinrich v. Thünen*, in seiner zu Beginn des 19. Jahrhunderts formulierten landwirtschaftlichen Landnutzungslehre eingenommen hatte. BATHOLT/ GLÜCKER (2002, S. 93f.) beschreiben den Ansatz *v. Thünens* in einer Weise, die eine deutliche Parallele zur Art der Standortplanung von EE, wie sie erläutert wurde, aufweist:

„Interessanter als die Frage nach dem Standort bei einer vorgegebenen Nutzung ist deshalb die Frage nach der konkreten Landnutzung zu einem vorgegebenen Standort [...]. So ist zu beobachten, dass trotz der durch Klima, Boden und andere Umweltbedingungen gegebenen Standortgunst [...] Wahlfreiheit“ [besteht] „welche Produkte sie erzeugen. Beobachtungen zeigen, dass diese Wahl stark von gesellschaftlichen Traditionen und Bedürfnissen [...] geprägt ist. In Modellen wird normalerweise davon ausgegangen, dass die Landnutzung unter bestimmten physischen Gegebenheiten so erfolgt, dass ein maximaler Gewinn pro Flächeneinheit erzielt wird.“

Im Sinne einer »**energetischen Landnutzungslehre**« wird die Kernidee *v. Thünens* auf den Ausbau von EE übertragen. Zwar wird dadurch die Wahlfreiheit, die an manchen Standorten stärker, an anderen wiederum schwächer ausgeprägt ist, eingeschränkt. Dies geschieht jedoch im Dienste der räumlichen Optimierung. **Optimierung bedeutet in diesem Zusammenhang nicht zwangsläufig Maximierung des Gewinns.** Entsprechend den drei Säulen einer nachhaltigen Entwicklung bewegt sich die Optimierung sowohl zwischen einer Maximierung der ökonomischen als auch der ökologischen sowie sozialen Nachhaltigkeit (vgl. HENZGEN/ KLÄR 2010). Dadurch lässt sich die Resource Raum – ganz im Gegensatz zur alten Standortplanung – optimal nutzen (vgl. Abb. 48). Nachdem hiermit die Fragestellung 5 ausführlich behandelt wurde, wird im Folgenden eine neue Methodik zur besseren Integration von EE in den ländlichen Raum vorgestellt.

5.7 Energetische Landnutzungslehre – Methodik

Ein wesentliches Merkmal der energetischen Landnutzungslehre ist, dass der Raum Anforderungen an die Technologie stellt (vgl. Kapitel 5.6). Diese Anforderungen werden jedoch von Region zu Region unterschiedlich ausfallen, da die räumlichen Voraussetzungen, wie bspw. »Bedeutung des Tourismus«, »Bedeutung der Landwirtschaft«, »Bedeutung von kulturhistorischen Landschaftselementen«, »Bedeutung des Landschafts-

bildes«, »Zusammensetzung des Arbeitsmarktes«, »Verfügbarkeit von Vorranggebieten«, »Akzeptanz von EE«, »Vorhandensein von Ausschlussflächen« regional z. T. erheblich variieren. Beispielhaft dargestellt: Ein Tourismus-Raum (z. B. Chiemgau), dessen hochwertiges Landschaftsbild äußerst sensibel auf eine Technisierung durch EE reagieren würde, stellt andere Anforderungen an deren Ausbau als ein Raum, der einerseits durch industrielle Anlagen, Altlasten oder militärische Liegenschaften vorbelastet ist sowie andererseits einen Arbeitsmarkt aufweist, der in hohem Maße vom Ausbau von EE abhängig ist (z. B. Lausitz).

Aus dieser Erkenntnis entspringt die Notwendigkeit, **Raumtypen** zu bilden, die sich hinsichtlich der Anforderungen an den Ausbau von EE wesentlich voneinander unterscheiden. Bei der **Raumtypenbildung** wird v. a. die Empfindlichkeit von Räumen gegenüber eines spezifischen technologischen Eingriffes als Unterscheidungsmerkmal herangezogen. Die Spannweite reicht dabei von Räumen, die äußerst empfindlich auf eine Technisierung reagieren bis hin zu Räumen, innerhalb derer ein Eingriff zu wenigen oder keinerlei Konflikten führen wird. Für jeden Raumtyp wird zu diesem Zweck ein Katalog mit spezifischen Anforderungen an die Technologien erstellt. Die EE werden folglich dahingehend examiniert, inwiefern sie diesen Ansprüchen entsprechen können. Vereinfacht dargestellt: **Den Raumanforderungen werden die Technologievoraussetzungen gegenübergestellt**. So ist es möglich, eine eindeutige Zuordnung von Raumtyp und Technologie zu erreichen.

PETERS (2008) hat bereits Untersuchungen zur Vereinbarkeit von EE-Nutzungen und Kulturlandschaftsräumen durchgeführt. Dabei wurden Wertstufen von Kulturlandschaft erarbeitet (z. B. mittlere Bedeutung „Landschaftsbild“) und hinsichtlich ihrer Sensibilität gegenüber dem Ausbau von EE bewertet (z. B. Taburaum). Ein Nachteil dieser Arbeit besteht darin, dass es sich um eine statische Betrachtungsweise handelt. Des Weiteren werden lediglich vier Raumtypen und nur drei Technologiepfade näher untersucht, wobei im Bereich Biomasse auch keine Reststoffverwertung berücksichtigt wird. Darüber hinaus stehen wichtige Einflussfaktoren wie Rückbaufähigkeit, Gestehungskosten und Genehmigung außerhalb der Raumanalyse.

Im Rahmen dieser Arbeit wird ein dynamischer Ansatz vorgestellt, der neben der Wertigkeit des Landschaftsbildes sowie seiner kulturhistorischen Bedeutung auch weitere

Einflussfaktoren integriert. Vollzogen wird dies im Rahmen eines zweistufigen Bewertungsverfahrens, wobei jeweils unterschiedliche Raumanforderungen zu betrachten sind. Diese gestaffelte Vorgehensweise eröffnet die Möglichkeit, nicht nur diejenige Technologie zu identifizieren, die eine optimale Raumnutzung gewährt, sondern auch jene Technologien, die sich prinzipiell eignen würden. Diese Technologien sind dann quasi auf veränderte Rahmenbedingungen technologischer, wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Art angewiesen, um den Vorsprung der für den jeweiligen Raumtyp optimalen Technologie wettmachen zu können. Daraus folgt, dass es sich keineswegs um ein statisches Standortplanungskonzept als vielmehr um ein in hohem Maße dynamisches Modell handelt. Sollte sich im Rahmen des ersten Bewertungsverfahrens bereits eine eindeutige Lösung ergeben, so erfolgt keine weitere Bewertung. Stellt sich heraus, dass mindestens zwei Technologien eine prinzipielle Eignung für einen Raumtyp aufweisen, so ist ein weiteres, zweites Bewertungsverfahren durchzuführen. Verändern sich die Rahmenbedingungen – sowohl von Seiten der Raumanforderungen als auch seitens der Technologievoraussetzungen –, so ist es durchaus möglich, dass sich im Zuge des zweiten, in extremen Fällen sogar im Zuge des ersten Bewertungsverfahrens, ein neues Standortmuster von Kraftwerken ergibt. Das bedeutet, dass durch Einbeziehung der Zeitkomponente, EE neue Raumtypen erschließen und konkurrierende Technologien verdrängen bzw. EE vom angestammten, ursprünglich zugeordneten Raumtyp verdrängt werden können.

5.7.1 Klassifizierung von Räumen

Zur Bildung von Raumtypen werden Räume bzw. Flächen gleicher Eigenschaft zu einer Gruppe zusammengefasst. Diese Gruppen zeichnen sich gegenüber den EE durch jeweils spezifische Anforderungen aus, die in erster Linie deren Sensibilität gegenüber einer Technisierung betreffen. Hierbei ist anzumerken, dass urbane Räume im Rahmen dieser Klassifikation nicht berücksichtigt werden, da *„primär in ländlichen Regionen mit einem substanziellen Ausbau von dezentralen Technologien zu rechnen“* (BOSCH/ PEYKE 2010, S. 926) ist. Die Möglichkeiten des Einsatzes von EE im städtischen Raum werden vom BMVBS et al. (2009) ausführlich erläutert. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit, die sich ausschließlich mit dem ländlichen Raum beschäftigt, wird zwischen **fünf Raumtypen** unterschieden, die im Folgenden definiert und anhand des Landkreises Landsberg a. Lech erläutert werden (vgl. LANDRATSAMT LANDSBERG AM LECH 2011).

Im Laufe der Studie hat sich gezeigt, dass sich diese Raumtypen gut auf Gemeindeebene abbilden lassen. Eine Analyse auf Kreisebene erscheint nicht sinnvoll, da sich oftmals mehrere Typen von Räumen innerhalb eines Landkreises finden lassen und sich daher Schwierigkeiten bei der Zuordnung ergeben. Klar ist, dass auch innerhalb einer Gemeinde mehrere Raumtypen auftreten können. Bei der Regionalisierung wurde daher der Fokus auf die dominanten und damit ausschlaggebenden Elemente eines Teilraumes gerichtet. Im Folgenden werden die fünf Raumtypen charakterisiert.

- **Vorbelasteter Raum:** Dieser Raumtyp zeichnet sich u. a. durch einen überdurchschnittlich hohen Anteil an industriell sowie gewerblich genutzten Flächen – mit entsprechenden Altlasten – aus und wird daher als vorbelastet eingestuft. In diesen Raum wurde bereits in hohem Maße eingegriffen, so dass jegliche weitere Überformung durch EE zu keiner nennenswerten Abwertung mehr führen kann. Des Weiteren erfährt der Raum eine zusätzliche Belastung durch zahlreiche Maßnahmen verkehrsinfrastruktureller Art sowie durch die Versiegelung von Flächen durch Siedlungsbau.

Eine spezielle Form des vorbelasteten Raumes stellen Konversionsflächen dar. Wird eine ehemals militärisch genutzte Fläche (Kaserne, Munitionsdepot, Truppenübungsplatz, Militärflughafen) für zivile Flächenansprüche (Wohnsiedlung, Industrie, Naturschutz, EE) zugänglich, so spricht man von einer Konversionsfläche (SPITZER 1995, S. 131f.). Nach der AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN (2010c, S. 24) gibt es in Deutschland etwa 350.000 ha an ehemals militärisch genutzten Flächen. Im Zuge der Auflösung von Standorten der Bundeswehr wird sich dieser Flächenanteil in den nächsten Jahren noch vergrößern.

GOTTWALD/ HERRMANN (2010, S. 156f.) weisen darauf hin, dass nach dem Begriffsverständnis des EEG nicht nur militärische Liegenschaften, sondern auch gewerbliche, wohnungsbauliche und verkehrliche Flächennutzungen als Konversionsfläche eingestuft werden können. Entscheidend ist, dass es sich um eine Fläche handeln muss, die in ökologischer Hinsicht noch erheblich unter den Folgen der ehemals militärischen bzw. wirtschaftlichen Nutzung zu leiden hat (Altlasten).

Abbildung 49: Räumliche Verteilung von Raumtypen im Landkreis Landsberg a. Lech



Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

Die Sensibilität des vorbelasteten Raumes gegenüber einer Technisierung ist sehr gering. Im Übrigen spielt es keine Rolle, wie stark ein Raum bereits von EE geprägt wird. Treten diese prägnant in Erscheinung, so ist nicht zwangsläufig von einem vorbelasteten Raum auszugehen, wenn nicht andere Elemente des

Raumes zu einer Vorbelastung führen. Sind jedoch regenerative Kraftwerke vorhanden, so kann im Anschluss an die im Rahmen der vorliegenden Arbeit noch durchzuführende Zuordnung von Raum und Technologie ermittelt werden, inwieweit diese Technologien raumverträglich sind.

Folgende Gemeinden des Landkreises Landsberg a. Lech werden dem vorbelasteten Raum zugeordnet:

Denklingen: Das große Gelände der Hirschvogel Holding GmbH stellt einen gravierenden Eingriff in die Landschaft und damit eine erhebliche Vorbelastung des Raumes dar.

Eching am Ammersee: Durch diese Gemeinde verläuft die A96, die zu einer hohen Vorbelastung führt.

Fuchstal: Hier befindet sich das ehemalige Sondermunitionslager Landsberg-Leeder, mit einer Fläche von fast 20 ha. Hierbei handelt es sich um einen erheblichen Eingriff in den Raum.

Greifenberg: Durch diese Gemeinde verläuft wiederum die A96, die zu einer hohen Vorbelastung führt.

Igling: Diese Gemeinde wird sowohl von der A96 und B17 als auch von einer Zugstrecke passiert. Die Verkehrsinfrastruktur prägt diesen Raum damit erheblich. Davon abgesehen sorgen der Sand- und Kiesabbau sowie ein großer Sen-demast für einen massiven Raumeingriff.

Obermeitingen: In dieser Gemeinde befindet sich der Fliegerhorst Lechfeld bzw. der Standort des Jagdbombergeschwaders Schwabstadl.

Penzing: In Penzing befindet sich wiederum der Fliegerhorst Landsberg/ Lech.

Schwifting: Diese Gemeinde erfährt eine Vorbelastung aufgrund der dort verlaufenden A96.

Windach: Diese Gemeinde erfährt gleichermaßen eine Vorbelastung aufgrund der dort verlaufenden A96.

Kaufering: Eine starke Versiegelung der Fläche durch Siedlungsbau sowie die Beeinträchtigung durch verkehrsinfrastrukturelle Projekte führen zu einer starken Vorbelastung.

Landsberg am Lech: Eine starke Versiegelung der Fläche durch Siedlungsbau sowie die Beeinträchtigung durch verkehrsinfrastrukturelle Projekte führen auch hier zu einer starken Vorbelastung.

- **Forstwirtschaftlicher Raum:** Dieser Raumtyp zeichnet sich durch einen im Durchschnitt größeren Anteil an Laub-, Nadel- und Mischwäldern an der Gesamtfläche aus. Dies muss nicht zwangsläufig heißen, dass der Raum von Waldarealen dominiert wird. Es geht darum, Räume zu identifizieren, die aufgrund eines durchschnittlich höheren Anteils an Waldgebieten weniger Flächen für die Errichtung von EE zur Verfügung haben als andere Räume bzw. die Möglichkeit bieten, Technologien im Sichtschutz eines Waldes zu platzieren. Allgemein betrachtet haben Waldgebiete einen Anteil von 11 Mio. ha an der Gesamtfläche Deutschlands (HENKEL 2004, S. 108). Die Sensibilität des forstwirtschaftlichen Raumes gegenüber einer Technisierung ist gering.

Folgende Gemeinden des Landkreises Landsberg a. Lech werden dem forstwirtschaftlichen Raum zugeordnet, da sie ein größeres Waldareal aufweisen:

Hofstetten, Kinsau, Thaining, Unterdießen, Finning, Geltendorf, Pürgen, Reichling, Rott und Vilgertshofen

- **Landwirtschaftlicher Raum:** Dieser Raumtyp zeichnet sich durch einen überwiegenden Anteil von Acker- und Grünland an der Gesamtfläche aus. Damit kommt der Nahrungs- und Futtermittelproduktion dort eine hohe Bedeutung zu. Es ist davon auszugehen, dass dieser Raumtyp in ökologischer Hinsicht durch die hohe Intensität der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung gefährdet ist (Bodenerosion, Eutrophierung etc.) (ARNOLD 1997, S. 97 & POPPINGA 2006, S. 24).

Allgemein betrachtet besitzen Landwirtschaftsflächen einen Anteil von immerhin 17 Mio. ha an der Gesamtfläche Deutschlands (HENKEL 2004, S. 108). Die Sensibilität des landwirtschaftlichen Raumes gegenüber einer Technisierung ist als »mittel« einzustufen.

Folgende Gemeinden des Landkreises Landsberg a. Lech werden dem landwirtschaftlichen Raum zugeordnet, da sie von landwirtschaftlichen Nutzflächen dominiert werden und keine größeren Waldareale besitzen:

Apfeldorf, Egling a. d. Paar, Hurlach, Prittriching und Scheuring

- **Dienstleistungsraum:** Dieser Raumtyp zeichnet sich durch ein ästhetisches und damit hochwertiges sowie ggf. einzigartiges Landschaftsbild aus. Bedeutende kulturlandschaftliche Elemente bzw. Relikte prägen den Raum und verleihen ihm einen unverwechselbaren Charakter. Diese Eigenschaft steht in engem Zusammenhang mit der Erholungsfunktion, die für einen überdurchschnittlich großen Teil der Bevölkerung dort eine wichtige Einkommensquelle darstellt. Die Sensibilität des Dienstleistungsraumes gegenüber einer Technisierung ist hoch.

Folgende Gemeinden des Landkreises Landsberg a. Lech werden dem Dienstleistungsraum zugeordnet:

Eresing: In dieser Gemeinde befindet sich die berühmte Erzabtei der Missionsbenediktiner St. Ottilien. Die Klosteranlage stellt ein außergewöhnliches kulturlandschaftliches Element dar und ist von hoher touristischer Relevanz.

Schondorf a. Ammersee: Dieser Raum ist aus touristischer Sicht von hoher Relevanz, liegt er doch unmittelbar am Ammersee.

Utting a. Ammersee: Dieser Raum ist aufgrund seiner Lage am Ammersee gleichermaßen touristisch bedeutsam.

Weil: In dieser Gemeinde wurde die prähistorische Siedlung Pestenacker als Weltkulturerbe der UNESCO anerkannt (vgl. WIMMER 2011).

- **Verletzlicher Raum:** Dieser Raumtyp umfasst artenreiche, besonders schützenswerte Gebiete wie Nationalparke und Naturschutzgebiete. Er ist nicht nur bedeutend als Erholungs- bzw. Ausgleichsraum zu den urbanen, naturfernen Zentren. Vielmehr stellt der verletzte Raum einen einzigartigen und gefährdeten Lebensraum für Flora und Fauna dar und reagiert in hohem Maße empfindlich auf menschliche Eingriffe. Die Sensibilität des verletzlichen Raumes gegenüber einer Technisierung ist daher sehr hoch.

Folgende Gemeinde des Landkreises Landsberg a. Lech wird dem verletzlichen Raum zugeordnet:

Dießen a. Ammersee: Innerhalb dieser Gemeinde befindet sich das Naturschutzgebiet Dettenhofer Fils und Hälsle (vgl. FIS-NATUR 2011).

Abbildung 49 zeigt die räumliche Verteilung der einzelnen Raumtypen im Landkreis Landsberg a. Lech. Es ist nicht zwangsläufig davon auszugehen, dass auch in anderen Landkreisen alle fünf Raumtypen nachzuweisen sind. Insofern stellt der Landkreis Landsberg a. Lech im Rahmen der vorliegenden Arbeit eine hervorragende Modellregion dar.

In einem weiteren Schritt stellt sich nun die Frage, welche Anforderungen die einzelnen Raumtypen an die Technologien stellen. Zuvor werden jedoch die zu treffenden, restriktiven Annahmen erläutert und begründet.

5.7.2 Restriktive Annahmen

Zur Vereinfachung der Raumanalysen wird angenommen, dass die Raumvoraussetzungen wie Windhöufigkeit, solare Strahlungsenergie, Biomasseproduktion und Erdwärmepotenzial, die bei den bisherigen Studien zu diesem Thema nicht zuletzt die entscheidenden Standortfaktoren dargestellt haben, ubiquitär positiv zu bewerten sind und daher allenthalben einen wirtschaftlichen Betrieb erlauben. Dies bedeutet, dass die Errichtung jeglicher Technologie innerhalb der beschriebenen Teilräume, zumindest aus ökonomischer Sicht, sinnvoll ist. Damit entfällt folgende, bei Standortplanungsprozessen übliche Fragestellung:

Wo sind lukrative Standortvoraussetzungen für einen bestimmten Technologiepfad gegeben? (Betonung der Technologieanforderungen und der Raumvoraussetzungen, vgl. Abb. 35)

Die Homogenität des Raumes hinsichtlich der Ausstattung mit physisch-geographischen Merkmalen ist zwar unrealistisch, jedoch eröffnet diese Annahme die Gelegenheit, den Fokus auf die folgende, im Rahmen der vorliegenden Arbeit entscheidende Fragestellung zu richten:

Welcher Technologiepfad besitzt die höchste Raumverträglichkeit innerhalb eines spezifischen, scharf abgegrenzten Teilraumes, wenn dort sämtliche Technologiepfade prinzipiell einen lukrativen Betrieb erlauben? (Betonung der Raumanforderungen und Technologievoraussetzungen, vgl. Abb. 46)

Da es Projektentwicklern nicht zwangsläufig um Gewinnmaximierung im Sinne des homo oeconomicus, sondern oftmals nur um reine Wirtschaftlichkeit geht, fällt eine ausgeklügelte Technologiewahl nicht selten den subjektiven Wertvorstellungen und persönlichen Präferenzen des Betreibers zum Opfer.

Der Fall, dass auf einem gegebenen Standort mehrere der zur Verfügung stehenden Technologien eine wirtschaftlich sinnvolle Option darstellen, ist im Übrigen durchaus realistisch. Bereits heute ist es möglich, unterschiedliche Technologiepfade geballt auf engstem Raum anzutreffen. In der Gemeinde St. Michaelisdonn bspw. werden 10 große WKA, eine Klein-WKA, eine BGA, eine PV-Anlage sowie eine Solarthermieanlage betrieben. Auf der Insel Pellworm werden wiederum 12 WKA, eine BGA, eine PV-Anlage sowie mehrere solarthermische Anlagen betrieben (vgl. DEENET 2010).

Daraus ist zu folgern, dass die Technologieanforderungen sowie die Raumvoraussetzungen nur mehr eine untergeordnete Rolle spielen (vgl. Abb. 35). Es ist davon auszugehen, dass sich dies noch verstärken wird, denn im Zuge von FuE werden die einzelnen Technologien ihre räumlichen Möglichkeiten sukzessive erweitern. Es geht folglich von nun an darum, den Raumanforderungen sowie den Technologievoraussetzungen die Aufmerksamkeit zu widmen (vgl. Abb. 46).

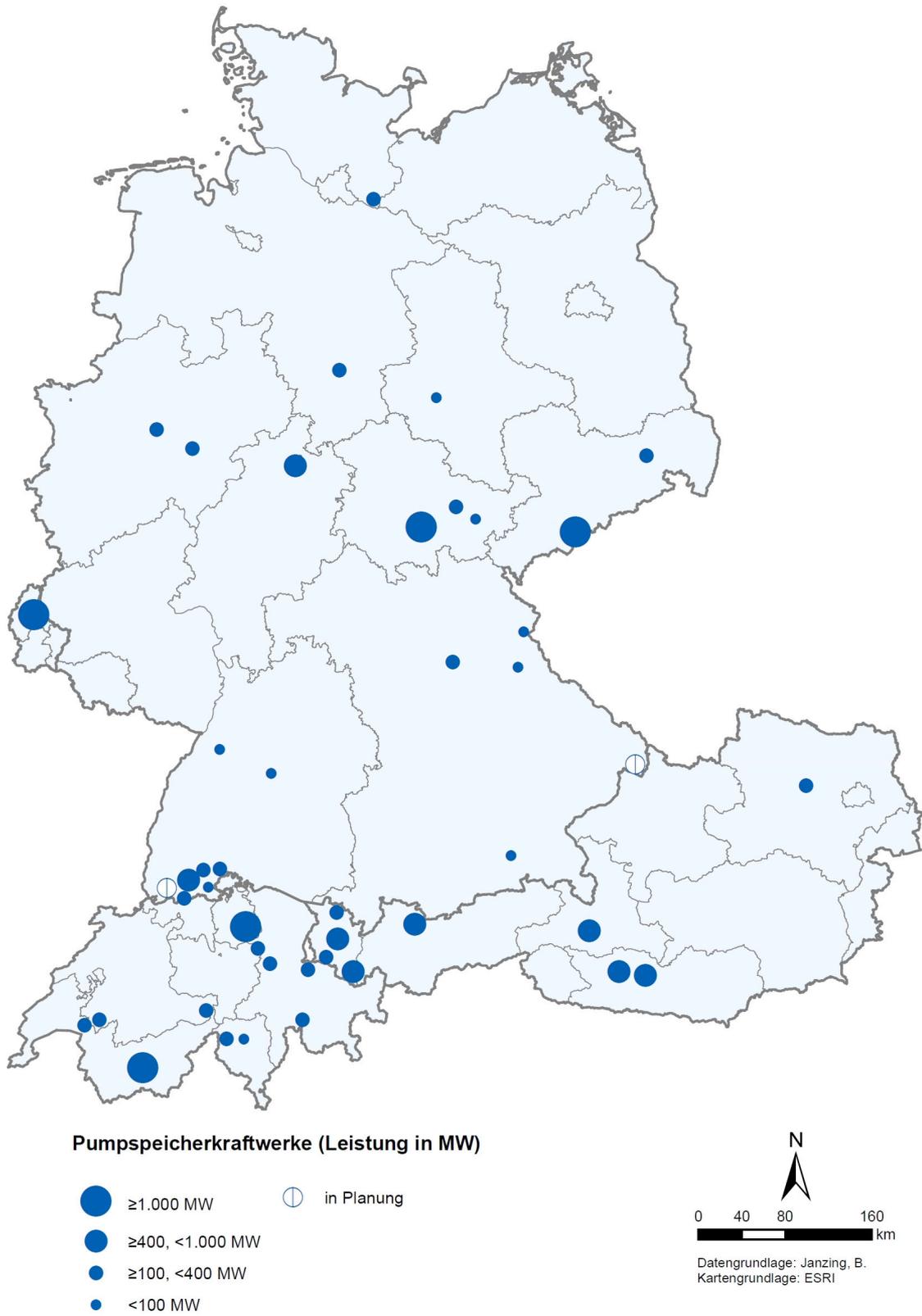
5.7.3 Allgemeine Raumanforderungen

Nachdem die einzelnen Raumtypen vorgestellt wurden, geht es im Folgenden um die Frage, welche spezifischen Anforderungen diese jeweils an die EE stellen. Hierzu ist es zunächst sinnvoll, Anforderungen von Räumen im Allgemeinen zu diskutieren. Die vorliegende Arbeit greift dabei auf den Kriterienkatalog des BMVBS et al. (2009, S. 31ff.) zur Bewertung von EE in urbanen Räumen zurück.

Abweichungen im Kriterienkatalog sind der Tatsache geschuldet, dass bei der vorliegenden Arbeit – wie oben bereits erwähnt wurde – der ländliche und nicht der urbane Raum betrachtet wird. Folgende Raumanforderungen werden zur Bewertung herangezogen:

- **Landschaftsintegration:** Hier stellt sich die Frage, inwiefern sich die einzelnen Technologien in die (Kultur-)Landschaft integrieren lassen. Dabei spielen Aspekte wie Ästhetik, Auffälligkeit, Überdeckung, visuelle Beeinträchtigung, Eigenartverluste und Erholungseignung eine Rolle (ARGE PV-MONITORING 2007, S. 37/ 48). Die Raumanforderung an die Technologie besteht in einer möglichst großen Integrationsfähigkeit.
- **Flächeneffizienz:** Bei diesem Parameter geht es darum, festzustellen, welchen Flächenbedarf die einzelnen Technologierouten für die Produktion einer jeweils gleichgroßen Energiemenge aufweisen (BMVBS et al. 2009, S. 32). Die Raumanforderung an die Technologie besteht in einer möglichst hohen Flächeneffizienz.
- **Rückbaufähigkeit:** Hier wird erörtert, welche Technologien aufwändige, permanente bzw. nicht aufwändige, temporäre Bauwerke darstellen und daher schlecht bzw. gut rückbaufähig sind (BMVBS et al. 2009, S. 42). Die Raumanforderung besteht in einer möglichst großen Rückbaufähigkeit.
- **Gestehungskosten:** Bezieht man die Gesamtkosten auf die produzierte Nettoenergie, so ist ein Kostenvergleich der einzelnen Technologiepfade möglich (BMVBS et al. 2009, S. 31). Die Raumanforderung besteht in möglichst geringen Gestehungskosten.

Abbildung 50: Pumpspeicherkraftwerke (Deutschland, Luxemburg, Österreich, Schweiz)



Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

- **Regelbarkeit:** Anhand dieses Parameters wird untersucht, inwieweit sich die einzelnen Technologien zur Deckung von Grund- und Spitzenlast eignen (BMVBS et al. 2009, S. 36). Im Gegensatz zu einem fossilen und nuklearen Energiesystem, innerhalb dessen lediglich die *Stromnachfrage* größeren Schwankungen unterliegt, ist bei einem regenerativen Energiesystem die Tatsache mit einzubeziehen, dass sich durch die Nutzung von intermittierenden Quellen auch beim *Stromangebot* Unsicherheiten ergeben. Die Raumanforderung besteht in einer möglichst guten Regelbarkeit. Nicht zuletzt ist die Verfügbarkeit von Pumpspeicherkraftwerken, die zu einer Stabilisierung des deutschen Stromnetzes beitragen könnten, räumlich stark begrenzt (vgl. Abb. 50).

Wichtig ist in diesem Zusammenhang der Ausbau des Stromnetzes, denn nicht zuletzt gehen jährlich – aufgrund eines überlasteten Netzes – 89 GWh Windstrom verloren. Des Weiteren werden flexible Kraftwerke benötigt, die sich den starken Schwankungen im Netz, resultierend aus einem schwierig zu prognostizierenden Angebot an Regenerativstrom sowie einer schwankenden Stromnachfrage, gut anpassen können. Diesbezüglich wird oftmals von sog. Smart Grids gesprochen. Aus Gründen der Effizienz stellt die Speicherung von Energie die schlechteste Option zum Ausgleich von Schwankungen im Netz dar. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Einbeziehung von Energiespeichern bereits ab einem Anteil von 30 % EE an der Gesamtstromproduktion in Betracht zu ziehen ist. Hierbei ist zu betonen, dass die Bundesregierung bis zum Jahr 2050 mit einem Anteil von 80 % regenerativer Stromproduktion rechnet. Dies würde einem Speicherbedarf von 30 TWh entsprechen (WIEDEMANN 2011, S. 31ff.).

- **Umweltfreundlichkeit:** Die Umweltfreundlichkeit der einzelnen Technologierouten hängt jeweils von der Energierücklaufzeit (energetische Amortisation), der Energiebilanz, der Emission von Treibhausgasen wie CO₂, der Emission von Luftschadstoffen wie SO₂ und NO_x, von Giftstoffen, den Möglichkeiten des Rezyklierens sowie vom Störfallpotenzial ab (BMVBS et al. 2009, S. 37). Die Raumanforderung besteht in einer möglichst hohen Umweltfreundlichkeit.
- **Genehmigungsrecht und Raumordnung:** BauGB, BImSchG sowie Naturschutz-, Wasser- und Bergrecht legen die Genehmigungsverfahren der einzelnen Technologierouten fest (BMVBS et al. 2009, S. 42). Die Regionalplanung steht

in der Verantwortung, Vorrang- und Vorbehaltsgebiete sowie Ausschlussflächen auszuweisen. Bei Vorhaben, die keine Privilegierung im Außenbereich von Gemeinden besitzen, fällt der kommunalen Bauleitplanung eine wesentliche Rolle zu (BOSCH/ PEYKE 2011b, S. 113). Die Raumanforderung besteht in einem möglichst einfachen, restriktionsfreien und dadurch schnellen Genehmigungsverfahren.

5.7.4 Erste Gegenüberstellung von Raumanforderungen und Technologien

Im Folgenden wird untersucht, inwieweit die Technologien Windkraftanlage (Onshore), PV-Freiflächenanlage, Biogasanlage (Anbaubiomasse) und Erdwärmekraftwerk (Tiefe Geothermie) den Raumanforderungen derzeit Rechnung tragen können. Dabei erfolgt – wie bereits oben erwähnt wurde – ein zweistufiges Bewertungsverfahren: In einem ersten Schritt werden die Technologien hinsichtlich den Anforderungen »**Landschaftsintegration**«, »**Flächeneffizienz**« und »**Rückbaufähigkeit**« bewertet. Dadurch lässt sich feststellen, welche Technologien *prinzipiell* als geeignete Ausbauoption für einen bestimmten Raumtyp anzusehen sind. In einem zweiten Schritt wird analysiert – dies nur für den Fall, dass nach dem ersten Bewertungsverfahren keine eindeutige Zuordnung von Raum und Technologie erfolgen konnte –, in welchem Maße die Technologien den Raumanforderungen »**Gestehungskosten**«, »**Umweltfreundlichkeit**«, »**Regelbarkeit**« sowie »**Genehmigungsrecht und Raumordnung**« entsprechen. Dadurch ist schließlich eine eindeutige Zuordnung von Raum und Technologie möglich.

Die Wasserkraft wird im Rahmen der Gegenüberstellung nicht mit berücksichtigt, da diesbezüglich nicht mehr mit einem nennenswerten Zubau an Kraftwerkskapazitäten zu rechnen ist. Bedeutung erhält die Wasserkraft in Zukunft v. a. durch Eignung als Energiespeicher. Deutschland kann dabei sowohl auf eigene Kraftwerkskapazitäten wie auch auf Standorte in Nachbarländern zurückgreifen (vgl. Abb. 50).

Im Folgenden wird mittels der Raumanforderungen »Landschaftsintegration«, »Flächeneffizienz« und »Rückbaufähigkeit« das erste Bewertungsverfahren durchgeführt.

5.7.4.1 *Windkraftanlage*

Landschaftsintegration: WKA lassen sich äußerst schlecht in die Landschaft integrieren, da sie mittlerweile Gesamthöhen von bis zu 198,5 m aufweisen und oftmals an exponierten Standorten wie Terrassen, Plateaus, Zeugenbergen, Geländekanten sowie Hö-

henrücken aufgestellt werden. Daher sind sie auch noch in großer Entfernung zu sehen und prägen überregional das Landschaftsbild (NOHL 2010, S. 10). NOHL (2010, S. 9) spricht in diesem Zusammenhang von Maßstabsverlusten, da die bisherigen Maßstabsbildner wie Kirchtürme und Bäume (15-35 m) in ihrer Höhe weit übertroffen werden. Der historisch gewachsene Höhemaßstab ländlich geprägter Regionen ginge dadurch verloren (vgl. Abb. 51). Nicht zuletzt bestehe die Gefahr, dass durch weithin sichtbare WKA ästhetische, kulturell bedeutsame und damit auch touristisch relevante „*Großeignisse eines Raumes*“ (NOHL 2010, S. 9) verdrängt werden könnten. Des Weiteren wird die Erholungsfunktion einer Landschaft – die dem Menschen eigentlich Gelassenheit und Ruhe vermitteln sollte – durch die ständigen Rotorbewegungen gestört (NOHL 2001, S. 365ff. & SCHEIDLER 2010, S. 526f.). Hinsichtlich der Rotorgeräusche besteht die Gefahr, dass landschaftstypische, beruhigende und damit therapeutisch wirksame Geräusche wie Rauschen, Zwitschern, Plätschern, Zirpen und Klopfen überlagert werden (NOHL 2010, S. 11f.).

Abbildung 51: Maßstabsverluste durch WKA (Steinheim)



Quelle: Robert Giemsa.

NOHL (2010, S. 10) verweist darüber hinaus auf die Dichotomie zwischen den vertikal ausgerichteten WKA und einer Landschaft, die eine überwiegend horizontale Gliederung aufweist. Er spricht in diesem Zusammenhang von Horizontverschmutzung. Die Gegensätze zwischen den unruhigen, vertikalen Strukturen urbaner Räume und den stochischen, horizontalen Mustern ländlicher Regionen könnten dadurch nivelliert werden. Oftmals wird in diesem Zusammenhang von einer »Verspargelung der Landschaft« gesprochen (BRÜCHER 2008, S. 10). Schließlich wird betont, dass WKA eine neue Quelle der Lichtverschmutzung in den ländlichen Raum hineinbringen, denn ab einer Gesamthöhe von 100 m muss aus Gründen der Flugsicherheit eine Befeuern der Anlagen erfolgen.

Abbildung 52: Flächeneffizienz ausgewählter Technologierouten

Energieform		Strom in kWh je Hektar
Windenergie	Stand 2010 ¹	192.000
	Prognose 2020 ²	415.200
Photovoltaik		300.000
Bioenergie ³	Zuckerhirse	22.657
	Futtermübe	21.399
	Durchwachsene Silphie	20.385
	Maissilage	16.818
	Sonnenblume	15.860

¹ Inklusiv 7 ha Abstandsfläche je MW installierter Leistung

² Inklusiv 6 ha Abstandsfläche je MW installierter Leistung

³ Energieaufwand für Aussaat, Ernte, Transport und Verarbeitung nicht mit eingerechnet

Quelle: PEYKE/ BOSCH et al. 2011, S. 18.

HASSE (1999, S. 261) weist darauf hin, dass eine Ablehnung von WKA in den meisten Fällen auf landschaftsästhetische Ursachen zurückzuführen ist. Problematisch ist jedoch, dass die Wirkung von WKA auf das Landschaftsbild kaum quantifizierbar ist (vgl. KARL 2006). Es ist anzumerken, dass die Rechtsprechung nur in seltenen Fällen von einer Verunstaltung des Landschaftsbildes ausgeht. Von dieser kann allein gesprochen werden, wenn es sich um eine in hohem Maße schützenswerte Landschaft handelt und die Errichtung einer WKA folglich einem äußerst groben Eingriff gleichkommen

würde. Der Tatbestand einer bloßen Beeinträchtigung und Abwertung des Landschaftsbildes aufgrund der markanten Erscheinung ist nicht ausreichend, um ein im Außenbereich privilegiertes Vorhaben zu verhindern. Auch die aufgrund der neuartigen Technologien sich ergebende optische Gewöhnungsbedürftigkeit ist rechtlich nicht von Relevanz (SCHEIDLER 2010, S. 527). Diese eher juristische Auffassung von Raumverträglichkeit bildet nicht den Maßstab der hier vorliegenden Arbeit. Denn angesichts der großen Akzeptanzprobleme beim Ausbau der Windenergie erscheint es angebracht, die Integration von WKA in den ländlichen Raum mit größtmöglicher Sensibilität voranzutreiben. Nicht zuletzt benötigt die Umstellung des Energiesystems auf EE das Fundament einer breiten Unterstützung seitens der Anwohner.

BOEING (2011, S. 31) betont, dass mittels Repowering eine Beruhigung des Landschaftsbildes möglich ist. Einerseits verringere sich dadurch – trotz einer erheblichen Leistungssteigerung – die Anzahl der Anlagen, andererseits würden sich die größeren Rotoren langsamer drehen. Von Nachteil sind jedoch die mit dem Repowering einhergehenden, größeren Ausmaße von WKA (BOSCH/ PEYKE 2011b, S. 108). Nicht zuletzt weist die 7,5 MW-leistungsstarke WKA E 126 einen Rotordurchmesser von 127 m, eine Nabenhöhe von 135 m sowie eine Gesamthöhe von 198,5 m auf (vgl. ENERCON GMBH 2011). PETERS et al. (2009) zeigen Möglichkeiten auf, die Windenergie entlang von bereits vorbelasteten Infrastrukturachsen auszubauen, um damit hochwertige Landschaftsräume vor einer zu starken Technisierung zu bewahren. Mit Blick auf die Anforderung Landschaftsintegration stellt die Windenergie zusammenfassend einen großen Impact dar.

Flächeneffizienz: Nach Angaben von BMVBS et al. (2009, S. 33) beanspruchen WKA zwischen 3,7 und 11,1 ha, um pro Jahr eine Gigawattstunde Strom zu erzeugen. PETERS (2010, S. 17) geht von durchschnittlich 5,7 ha aus. Die Flächeneffizienz der Windenergie ist damit sehr hoch. Es ist davon auszugehen, dass die Flächeneffizienz der Windenergie sogar noch erheblich gesteigert werden kann. Ab dem Jahr 2020 ist jährlich mit einer Strommenge von über 400.000 kWh/ ha zu rechnen (vgl. Abb. 52).

Rückbaufähigkeit: Bei WKA handelt es sich zwar um relativ große, aufwändige Bauwerke, jedoch stellt das eng begrenzte Fundament keinen zu großen Eingriff dar. Sie besitzen damit eine mittlere Rückbaufähigkeit (BMVBS et al. 2009, S. 42).

Damit ergeben sich für die WKA folgende Technologievoraussetzungen: vgl. Abb. 53

Abbildung 53: Technologievoraussetzungen Windkraft I

WKA	Voraussetzungen
Landschaftsintegration	(-) schlecht
Flächeneffizienz	(+) gut
Rückbaufähigkeit	(0) mittel

Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

5.7.4.2 PV-Freiflächenanlage

Landschaftsintegration: PV-Freiflächenanlagen gehen zwar nicht mit einem überregionalen Eingriff ins Landschaftsbild einher, sie können jedoch durchaus den Eindruck einer erheblichen Technisierung erwecken. Befremdend wirkt v. a. die Uniformität von großflächigen PV-Freiflächenanlagen. Die spezifische Farbgebung der verwendeten, landschaftsfremden Baumaterialien, deren Reflexionseigenschaften sowie die Silhouettenwirkung der gesamten Anlagen, bestimmen den optischen Eindruck (ARGE PV-MONITORING 2007, S. 32f.).

Vor dem Hintergrund einer farblich heterogen strukturierten Kulturlandschaft werden die PV-Freiflächenanlagen allein schon aufgrund ihrer einheitlichen Farbgestaltung sichtbar hervorgehoben. Anlagen an exponierten Standorten wie Hanglagen sind dabei besonders auffällig. Des Weiteren führen Reflexblendungen in manchen Fällen zu kurzfristigen Funktionsstörungen des Auges und können den Straßenverkehr beeinträchtigen. Bei einer Anordnung von Modulreihen bis in eine Höhe von 3,5 m, wird das Blickfeld von Anwohnern in unmittelbarer sowie mittelbarer Nähe stark beeinträchtigt (ARGE PV-MONITORING 2005, S. 38). Davon abgesehen fungieren PV-Freiflächenanlagen, aufgrund der Notwendigkeit einer Einzäunung, als räumliche Barrieren. Faunistische Funktionsbeziehungen werden so empfindlich gestört und Habitatsysteme aufgebrochen.

Landschaftsarchitekten verfügen mittlerweile über gute Konzepte zur Integration von großflächigen PV-Anlagen (vgl. WARTNER 2010). Wesentlich ist, dass im Rahmen von Planungen die Formenvielfalt der Kulturlandschaft aufgegriffen und Wegebeziehungen respektiert werden (vgl. Abb. 54). Als besonders wirksam hat sich die Eingrünung von

PV-Anlagen durch die Anpflanzung von lockeren Baumreihen (Obstbäume, Hecken, Eichenhaine etc.) erwiesen (BOSCH/ PEYKE 2011b, S. 114). Mit Blick auf die Möglichkeit zur Landschaftsintegration stellt die Solarenergie zusammenfassend einen mittleren Impact dar.

Abbildung 54: Integration von PV-Anlagen in die Kulturlandschaft (Egglhausen)



Quelle: LEIDORF. (www.leidorf.de)

Flächeneffizienz: In Deutschland beträgt die Strahlungsenergie der Sonne zwischen 300 und 600 W/ m². Nach Angaben von BMVBS et al. (2009, S. 32) beanspruchen PV-Freiflächenanlagen zwischen 3,0 und 9,3 ha, um pro Jahr eine Gigawattstunde Strom zu erzeugen. PETERS (2010, S. 17) geht von durchschnittlich 4,4 ha aus. Die Flächeneffizienz von PV-Freiflächenanlagen ist damit sehr hoch.

Rückbaufähigkeit: PV-Freiflächenanlagen können mit geringem Aufwand und ohne bleibende Schäden wieder vom Standort entfernt werden. Die Rückbaufähigkeit ist damit als sehr gut zu bewerten (BMVBS et al. 2009, S. 42).

Damit ergeben sich für die Photovoltaik folgende Technologievoraussetzungen: vgl. Abb. 55

Abbildung 55: Technologievoraussetzungen Photovoltaik I

PVA	Voraussetzungen
Landschaftsintegration	(0) mittel
Flächeneffizienz	(+) gut
Rückbaufähigkeit	(+) gut

Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

5.7.4.3 Biogasanlage

Landschaftsintegration: Die Biogastechnologie lässt sich gut in die Landschaft integrieren, da die Unterschiede zur konventionellen Landwirtschaft hinsichtlich des Landschaftsbildes marginal sind. Feststellbar ist lediglich die Erhöhung des Anteils von hochwüchsigen Energiepflanzen an der landwirtschaftlich genutzten Fläche. Der Anbau wird dabei in erster Linie von Silomais dominiert und geht folglich mit einem Verlust an Biodiversität einher. In diesem Zusammenhang wird oftmals von „*Vermaisung der Landschaft*“ (CASARETTO 2010, S. 54) gesprochen. Diese „*optische Langeweile durch Monotonie*“ (CASARETTO 2010, S. 56) verringert nicht zuletzt den Erholungswert einer Landschaft.

Die BGA selbst, mit ihrem Silo, Fermenter, BHKW und Gärrestlager, wird oftmals an einen landwirtschaftlichen Betrieb angebunden. Es wird hierbei von einer Hofanlage gesprochen, die lediglich einen punktuellen, vernachlässigbaren Landschaftseingriff darstellt. Von einer Technisierung der Kulturlandschaft kann nicht gesprochen werden. Mit Blick auf die Möglichkeiten zur Landschaftsintegration stellt die Biogastechnologie daher einen kleinen Impact dar.

Flächeneffizienz: Nach Angaben von BMVBS et al. (2009, S. 35) beanspruchen BGA zwischen 45,0 und 250,0 ha, um pro Jahr eine Gigawattstunde Strom zu erzeugen. Zur Produktion von einer Gigawattstunde Wärme pro Jahr werden zwischen 23,0 und 125,0 ha benötigt. PETERS (2010, S. 17) geht von durchschnittlich 102,0 ha aus. Die Flächeneffizienz der Biogastechnologie ist damit sehr gering.

Rückbaufähigkeit: Der Rückbau von BGA ist relativ aufwändig, da sie oftmals über Gas-, Nahwärme- und Fernwärmenetze mit anderen Bauwerken verbunden sind. Hin-

sichtlich der Anbaubiomasse ist eine hohe Rückbaufähigkeit gegeben, da die Energiepflanzen i. d. R. jährlich geerntet werden (BMVBS et al. 2009, S. 42). Zusammenfassend lässt sich behaupten, dass für die Biogastechnologie eine mittlere Rückbaufähigkeit besteht.

Damit ergeben sich für die Biogastechnologie folgende Technologievoraussetzungen: vgl. Abb. 56

Abbildung 56: Technologievoraussetzungen Biogas (Anbaubiomasse) I

BGA (Anbaubiomasse)	Voraussetzungen
Landschaftsintegration	(+) gut
Flächeneffizienz	(-) schlecht
Rückbaufähigkeit	(0) mittel

Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

5.7.4.4 Erdwärmekraftwerk

Landschaftsintegration: Der Flächenanspruch der Geothermie beschränkt sich im Bereich der Erdoberfläche auf den punktuellen Standort des Kraftwerkes mit dem zugehörigen Turbinenhaus. Der Großteil der beanspruchten Fläche befindet sich unter der Erdoberfläche. Mit Blick auf die Möglichkeit zur Landschaftsintegration stellt die Geothermie folglich einen kleinen Impact dar.

Flächeneffizienz: Nach Angaben von BMVBS et al. (2009, S. 35) beansprucht die Geothermie zwischen 3,0 und 33,0 ha, um pro Jahr eine Gigawattstunde Strom zu erzeugen. Zur Produktion von einer Gigawattstunde Wärme pro Jahr werden zwischen 0,3 und 3,3 ha benötigt. Die Flächeneffizienz der Geothermie ist damit sehr hoch.

Rückbaufähigkeit: Der Rückbau von geothermischen Anlagen ist sehr aufwändig, da es sich um relativ große Kraftwerke handelt, die darüber hinaus eine Verbindung zwischen den mehrere Kilometer tiefen Bohrlöchern und den weit verzweigten Wärmenetzen herstellen. Die Rückbaufähigkeit ist daher sehr gering (BMVBS et al. 2009, S. 42).

Damit ergeben sich für die Erdwärme folgende Technologievoraussetzungen: vgl. Abb. 57

Abbildung 57: Technologievoraussetzungen Geothermie I

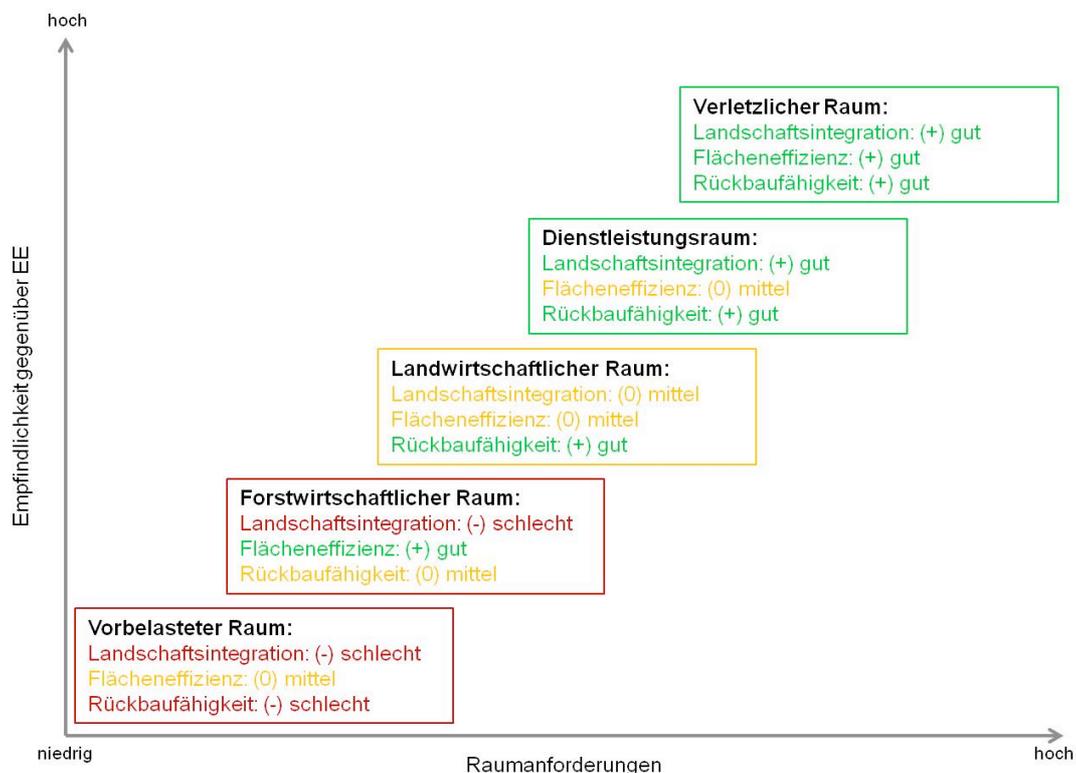
EWK	Voraussetzungen
Landschaftsintegration	(+) gut
Flächeneffizienz	(+) gut
Rückbaufähigkeit	(-) schlecht

Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

5.7.5 Primäre Zuordnung von Raum und Technologie

Nun stellt sich die Frage, welche Bedeutung den Raumanforderungen in Abhängigkeit vom Raumtyp beizumessen ist und welche Konsequenzen dies für die Zuordnung von Raum und Technologie hat. Hierzu werden die Raumanforderungen der einzelnen Raumtypen festgelegt. Interessant ist, dass sich dabei die Anforderungen vom vorbelasteten über den forstwirtschaftlich-, landwirtschaftlich- und dienstleistungs-orientierten bis hin zum verletzlichen Raum sukzessive erhöhen (vgl. Abb. 58). Dieser stufenweise Anstieg beruht auf der unterschiedlichen Sensibilität der Räume gegenüber einer Technisierung durch EE.

Abbildung 58: Raumanforderungen in Abhängigkeit vom Raumtyp



Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

5.7.5.1 Vorbelasteter Raum und Technologie

Im Folgenden geht es darum, anhand der spezifischen Raumanforderungen einzelner Raumtypen – die als Mindestanforderungen anzusehen sind – sowie anhand der oben beschriebenen Technologievoraussetzungen eine primäre Zuordnung von Raum und Technologie zu ermöglichen.

Innerhalb des vorbelasteten Raumes ist die Landschaftsintegration nicht von Bedeutung, da bereits stark in den Raum eingegriffen wurde. Eine hohe Flächeneffizienz ist zwar erwünscht, jedoch nicht zwingend erforderlich, da die Technologien aufgrund weniger konkurrierender Flächennutzungen nicht dazu gezwungen werden, sich auf ein Minimum an Fläche zu beschränken. Aufgrund der starken räumlichen Vorbelastung werden zudem keine Ansprüche an die Rückbaufähigkeit gestellt.

Damit ergeben sich für den vorbelasteten Raum folgende Raumanforderungen: vgl. Abb. 59

Abbildung 59: Raumanforderungen vorbelasteter Raum

Vorbelasteter Raum	Anforderungen
Landschaftsintegration	(-) schlecht
Flächeneffizienz	(0) mittel
Rückbaufähigkeit	(-) schlecht

Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

Dem **vorbelasteten Raum** werden folglich die Technologien **WKA**, **PV-Freiflächenanlage** und **EWK** zugeordnet. (*diffuse Zuordnung*)

5.7.5.2 Forstwirtschaftlicher Raum und Technologie

Innerhalb des forstwirtschaftlichen Raumes ist die Landschaftsintegration nicht von Bedeutung, da der Wald für einen entsprechenden Sichtschutz sorgt. Die Flächeneffizienz ist sehr wichtig, da Waldgebiete nur ein geringes Maß an Flächen zur Integration von Technologien freigeben. Die Rückbaufähigkeit ist von mittlerer Bedeutung, denn es handelt sich bei Waldgebieten zwar um sensible Ökosysteme, jedoch sind – abgesehen von der Forstwirtschaft – kaum konkurrierende Flächennutzungen zugegen.

Damit ergeben sich für den forstwirtschaftlichen Raum folgende Raumanforderungen: vgl. Abb. 60

Abbildung 60: Raumanforderungen forstwirtschaftlicher Raum

Forstwirtschaftlicher Raum	Anforderungen
Landschaftsintegration	(-) schlecht
Flächeneffizienz	(+) gut
Rückbaufähigkeit	(0) mittel

Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

Dem **forstwirtschaftlichen Raum** werden folglich die Technologien **WKA** und **PV-Freiflächenanlage** zugeordnet. (*diffuse Zuordnung*)

5.7.5.3 *Landwirtschaftlicher Raum und Technologie*

Innerhalb des landwirtschaftlich genutzten Raumes ist die Landschaftsintegration von mittlerer Bedeutung, denn die EE sind dort einerseits gut sichtbar und meist in der Nähe von Siedlungen, auf der anderen Seite spielen landschaftsästhetische Aspekte eine eher untergeordnete Rolle. Die Bedeutung der Flächeneffizienz wird ebenfalls als mittel eingestuft, da es neben der Nahrungs- und Futtermittelproduktion kaum konkurrierende Flächennutzungen gibt und es daher im Ermessen des jeweiligen Landwirtes liegt, wie die Flächen genutzt werden. Die Rückbaufähigkeit ist wichtig, denn die landwirtschaftlichen Flächen sollten jederzeit wieder in die Nutzung zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion übergeführt werden können.

Damit ergeben sich für den landwirtschaftlichen Raum folgende Raumanforderungen: vgl. Abb. 61

Abbildung 61: Raumanforderungen landwirtschaftlicher Raum

Landwirtschaftlicher Raum	Anforderungen
Landschaftsintegration	(0) mittel
Flächeneffizienz	(0) mittel
Rückbaufähigkeit	(+) gut

Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

Dem **landwirtschaftlichen Raum** wird folglich die Technologie **PV-Freiflächenanlage** zugeordnet. (*klare Zuordnung*)

5.7.5.4 *Dienstleistungsraum und Technologie*

Innerhalb des Dienstleistungsraumes ist die Landschaftsintegration von großer Bedeutung, da das Landschaftsbild einen monetären Wert besitzt und die Landschaftsästhetik sowie die damit einhergehende Erholungsfunktion im Mittelpunkt der Flächennutzung stehen. Bleibt die Attraktivität der Landschaft gewahrt, so ist eine mittlere Flächeneffizienz akzeptabel. Eine große Rückbaufähigkeit muss aufgrund des hohen Nutzungsdruckes ständig gegeben sein.

Damit ergeben sich für den Dienstleistungsraum folgende Raumanforderungen: vgl. Abb. 62

Abbildung 62: Raumanforderungen Dienstleistungsraum

Dienstleistungsraum	Anforderungen
Landschaftsintegration	(+) gut
Flächeneffizienz	(0) mittel
Rückbaufähigkeit	(+) gut

Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

Dem **Dienstleistungsraum** wird **keine** Technologie zugeordnet. (*diffuse Zuordnung*)

5.7.5.5 *Verletzlicher Raum und Technologie*

Innerhalb des verletzlichen Raumes ist die Landschaftsintegration von immenser Bedeutung, da das Landschaftsbild für konkurrierende Flächennutzungen wie Naturschutz und Tourismus eine große Bedeutung einnimmt und die Landschaftsästhetik sowie die damit einhergehende Erholungsfunktion im Mittelpunkt stehen. Die Flächeneffizienz muss maximal sein, da die Technisierung eines sensiblen Ökosystems auf ein Minimum zu reduzieren ist. Eine große Rückbaufähigkeit muss aufgrund der Einzigartigkeit des Raumes stets gegeben sein.

Damit ergeben sich für den verletzlichen Raum folgende Raumanforderungen: vgl. Abb. 63

Abbildung 63: Raumanforderungen verletzlicher Raum

Verletzlicher Raum	Anforderungen
Landschaftsintegration	(+) gut
Flächeneffizienz	(+) gut
Rückbaufähigkeit	(+) gut

Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

Dem **verletzlichen Raum** wird **keine** Technologie zugeordnet. (*diffuse Zuordnung*)

Allein für den **landwirtschaftlich genutzten Raum** konnte eine klare Zuordnung von Raum und Technologie – und zwar die PV-Freiflächenanlage – erfolgen. Für die Raumtypen **vorbelasteter, forstwirtschaftlicher, Dienstleistungs- und verletzlicher Raum** ergab sich jeweils eine diffuse Zuordnung (vgl. Abb. 64). Für diese Kategorien muss daher ein zweites Bewertungsverfahren durchgeführt werden.

Abbildung 64: Technologiewahl: primäres Bewertungsverfahren

Raumtyp	zugeordnete Technologie(n)
	Landschaftsintegration, Flächeneffizienz, Rückbaufähigkeit
Vorbelasteter Raum	WKA, PV, EWK
Forstwirtschaftlicher Raum	WKA, PV
Landwirtschaftlicher Raum	PV
Dienstleistungsraum	keine
Verletzlicher Raum	keine

Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

5.7.6 Zweite Gegenüberstellung von Raumanforderungen und Technologien

Für die Fälle, die keine klare Zuordnung von Raum und Technologie erlaubt haben, muss ein weitergehendes Bewertungsverfahren durchgeführt werden. Dabei werden die Raumanforderungen »**Gestehungskosten**«, »**Umweltfreundlichkeit**«, »**Regelbarkeit**« sowie »**Genehmigungsrecht und Raumordnung**« herangezogen.

5.7.6.1 Windkraftanlage

Gestehungskosten: In Abhängigkeit von standortspezifischen Voraussetzungen liegen die Gestehungskosten für Strom aus WKA zwischen 5 und 12 ct/ kWh. Im Durchschnitt

ist von etwa 8,4 ct/ kWh auszugehen (NITSCH et al. 2010, S. 23/ 25 & Abb. 66). Damit sind die Gestehungskosten bei WKA sehr gering.

Regelbarkeit: Die Energiebereitstellung mittels WKA ist von den Witterungsverhältnissen – d. h. von der Lage und Ausprägung von Hoch- und Tiefdruckgebieten – abhängig. Bei der Windenergie handelt es sich folglich um eine intermittierende Energiequelle. Im Jahr 2008 kamen die WKA in Deutschland auf durchschnittlich 1.740 Volllaststunden (vgl. Abb. 7). Dies ist im Vergleich zur Kernenergie, mit etwa 7.690 Volllaststunden, sehr wenig. Nach BMVBS et al. (2009, S. 37) wird die Windenergie als bedingt regelbar, bei der hier vorliegenden Arbeit – aufgrund ihres intermittierenden Charakters – als nicht regelbar eingestuft.

Umweltfreundlichkeit: WKA weisen geringe Emissionswerte von Schadstoffen ($\text{SO}_2 = 107\text{-}243 \text{ kg/ GWh}$; $\text{NO}_x = 42\text{-}88 \text{ kg/ GWh}$) und Treibhausgasen ($\text{CO}_2 = 22,6\text{-}48,1 \text{ t/ GWh}$) auf, sowohl bei der Herstellung und dem Betrieb als auch bei deren Entsorgung (BMVBS et al. 2009, S. 37 & KALTSCHMITT et al. 2006, S. 332). Darüber hinaus liegt die energetische Amortisationszeit bei lediglich 3-12 Monaten. Der Schattenwurf von WKA ist vernachlässigbar, da sie in einer Entfernung von mindestens 800 m zur nächsten Siedlung aufgestellt werden müssen (BOSCH/ PEYKE 2011e, S. 35).

Mittlerweile können die Rotoren von WKA beheizt werden, so dass keine Eisbildung mehr erfolgen kann. Eiswurf wird auch dadurch verhindert, dass sich die Anlagen mittels Sensoren bei Eisbildung automatisch abschalten (vgl. PRÖLL 2008). Aus statistischer Sicht ist auch der Vogelschlag vernachlässigbar (vgl. VERIVOX 2005). Die Emissionen von Schall konnten innerhalb der letzten Jahre dadurch verringert werden, dass man einerseits mehr und mehr auf die Verwendung von Getrieben verzichtet hat, andererseits wurden die Anlagen gekapselt. Darüber hinaus ist es gelungen, die Resonanzwirkung der Gondel zu minimieren (KALTSCHMITT et al. 2006, S. 333f.). Folglich ist festzuhalten, dass die Umweltfreundlichkeit der Windenergie sehr hoch ist.

Genehmigungsrecht und Raumordnung: Grundsätzlich besitzen WKA eine Privilegierung im Außenbereich von Gemeinden (BOSCH/ PEYKE 2011b, S. 108). Die Errichtung von WKA im Außenbereich ist nach § 35 Abs. 3 Nr. 5 des BauGB nicht zulässig, wenn Natur-, Boden- und Denkmalschutz missachtet, Landschaftspflege und Erho-

lungswert beeinträchtigt sowie die Eigenart einer Landschaft überformt und das Landschaftsbild verunstaltet werden (BAUGB 2011a, § 35 & BRAND/PÖHLMANN 2010, S. 477). Darüber hinaus gilt die Privilegierung nicht, wenn seitens des Flächennutzungs- bzw. Raumordnungsplanes bereits Flächen für die Windenergie ausgewiesen wurden. Des Weiteren werden – gemäß der 60 %-Referenzertragsregelung – Standorte mit einer geringen Windhöflichkeit nicht in die Förderung miteinbezogen (BMVBS et al. 2009, S. 43). WKA mit einer Gesamthöhe von bis zu 50 m sind baugenehmigungspflichtig. Anlagen, die über diese Höhe hinausreichen, bedürfen einer immissionsschutzrechtlichen Genehmigung (BImSchG) sowie einer UVP (SCHEIDLER 2010, S. 525f.).

Schließlich ist zu erwähnen, dass die Windenergie die einzige regenerative Form der Energiegewinnung darstellt, für die gebietsbezogene Nutzungsregelungen in Form von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten sowie Ausschlussflächen erstellt werden. Das BBSR hat sämtliche in Deutschland ausgewiesenen Raumordnungsgebiete für die Windenergie in einer Datenbank (ROPLAMO) zusammengetragen. Bemerkenswert ist, dass von den 113 Planungsregionen erst 65 % gebietsbezogene Nutzungsregelungen für die Windenergie formuliert und folglich Raumordnungsgebiete festgelegt haben (vgl. EINIG et al. 2011).

Problematisch ist, dass es im Rahmen von Entscheidungen des Bundesverwaltungsgerichtes bisher zu keiner Festlegung einer Mindestquote für die Errichtung von WKA innerhalb von sog. Konzentrationszonen gekommen ist. Generell lässt sich der Ausbau der Windenergie im Außenbereich von Gemeinden mittels der im Flächennutzungsplan festgelegten Konzentrationszonen gut steuern, denn diese Gebiete wurden im Rahmen von gemeindeinternen Abwägungsprozessen sowie der Vorlage eines schlüssigen Planungskonzeptes – dem eine Untersuchung des gesamten Gemeindegebietes vorausgehen musste – als vorrangig zu nutzende Flächen im Außenbereich bestimmt. Diese Flexibilität bei der Planung ist hilfreich im Sinne der kommunalen Mitgestaltung der Energiewende sowie im Sinne der Berücksichtigung von räumlichen Besonderheiten. Darüber hinaus lässt sich dadurch ein ungeordneter Ausbau im Außenbereich – d. h. eine Zersiedelung der Landschaft – vermeiden. Kontraproduktiv ist es jedoch, wenn durch die Ausweisung von minimalen Konzentrationsflächen und der damit einhergehenden Ausschlusswirkung von Windenergieanlagen in anderen Bereichen des Gemeindegebietes der Ausbau der Windenergie bewusst gehemmt wird. Die Grenzen zwischen einer sachgerechten Planung und einer Verhinderungsplanung sind dabei aus juristischer

Sicht noch nicht definiert. Positiv zu bewerten ist, dass, wenn der Flächennutzungsplan erst einmal aufgestellt ist und öffentliche Belange, bspw. landschaftsästhetischer, denkmalpflegerischer, naturschutzrechtlicher, militärischer und avifaunistischer Natur, raumbedeutsamen Vorhaben wie der Windenergienutzung nicht entgegenstehen, diese Belange im Nachhinein, d. h. im später erfolgenden Genehmigungsverfahren für WKA innerhalb der Konzentrationszonen, nicht mehr abzuwägen sind. Lange Zeit galt diese Regelung nur für den Bereich der Regionalplanung. Durch die Übertragung dieses Prinzips auf die gemeindliche Flächennutzungsplanung erfährt der Ausbau der Windenergie eine wesentliche Erleichterung (vgl. BRAND/ PÖHLMANN 2010).

Abbildung 65: Technologievoraussetzungen Windkraft II

WKA	Voraussetzungen
Gestehungskosten	(+) gut
Regelbarkeit	(-) schlecht
Umweltfreundlichkeit	(+) gut
Genehmigung und Raumordnung	(0) mittel

Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

Bei der Ausweisung von neuen Vorranggebieten muss darauf geachtet werden, dass bereits bestehende Windparks nicht durch etwaige neue WKA beeinflusst werden. Im Zuge der Errichtung von neuen und immer größeren WKA kommt es in verstärktem Maße zu Windabschattung sowie zur Bildung von starken Turbulenzen in Hauptwindrichtung (Wake-Effekt). Diese Nachlaufströmung führt bei benachbarten WKA nicht nur zu einer Ertragsminderung von bis zu 30 %, vielmehr ist mit erhöhten Reparatur- und Wartungskosten zu rechnen (vgl. ZIMMERMANN 2011c). Die Ausweisung von neuen Flächen ist unter diesen Umständen als kontraproduktiv zu bezeichnen und muss daher entsprechend den lokalen Verhältnissen behutsam und mit Rücksicht auf Altanlagen vollzogen werden. Mittlerweile ist sogar zu beobachten, dass Betreiber von Windparks sich auch jene Flächen sichern, die in unmittelbarer Nähe der geplanten Anlagen liegen. Darin wird die Möglichkeit gesehen, etwaige Flächennutzungskonflikte zu minimieren und einem „Winddiebstahl“ vorzubeugen (vgl. ZIMMERMANN 2011c, S. 40). Einerseits besitzt die Windenergie, angesichts der Privilegierung im Außenbereich von Gemeinden, einen deutlichen Standortvorteil. Immissionsschutz und UVP sind jedoch aufwändige Verfahren. Oftmals wird die Menge an durchzuführenden Gutachten kritisiert: Schat-

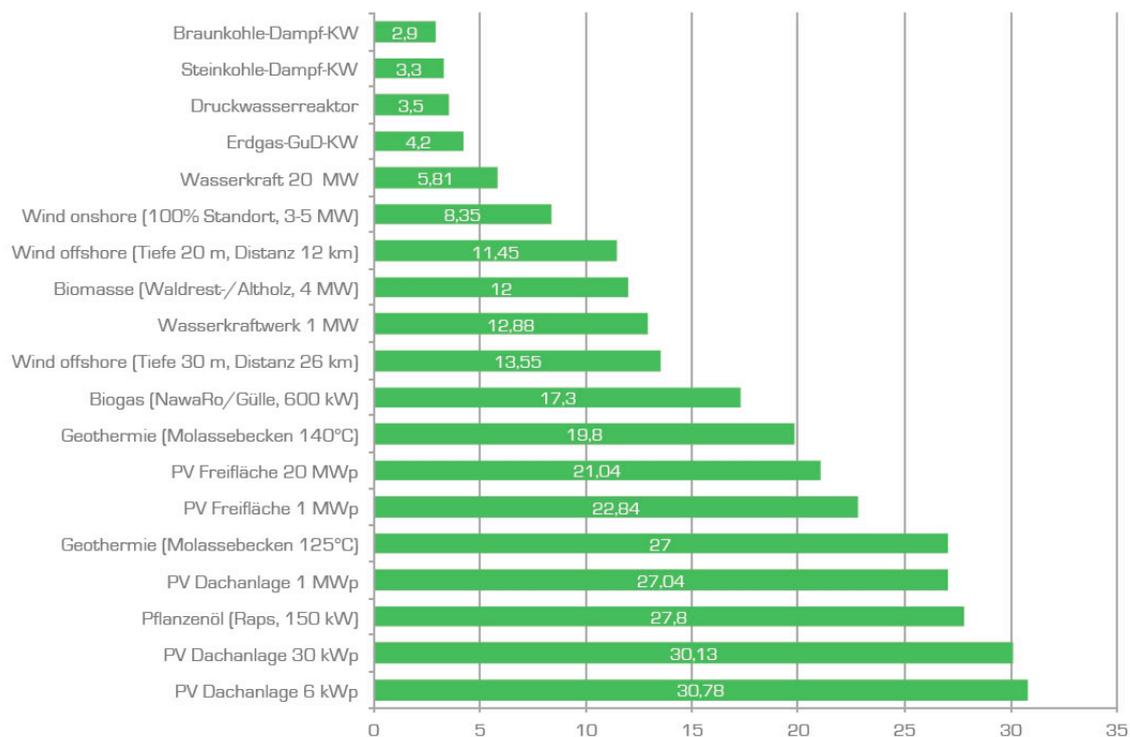
tenwurf- und Schallschutzgutachten, Vogel- und Fledermausgutachten, ggf. Gutachten für Hamster, Absprachen mit Bau- und Straßenämtern sowie mit zivilen und militärischen Flughäfen über Mindestabstände und Höhenbegrenzungen, ggf. wasserrechtliche Kreuzungsgenehmigungen bei Verlegung von Stromkabeln unterhalb eines Wasserlaufes (ZIMMERMANN 2011b, S. 47). Zusammenfassend lässt sich behaupten, dass WKA, mit Blick auf die Raumanforderung »Genehmigungsrecht und Raumordnung«, als »mittel geeignet« einzustufen sind.

Damit ergeben sich für die WKA folgende Technologievoraussetzungen: vgl. Abb. 65

5.7.6.2 PV-Freiflächenanlagen

Gestehungskosten: Die Stromgestehungskosten für PV-Kraftwerke lagen nach NITSCH et al. (2010, S. 25) im Jahr 2010 noch bei 29,2 ct/ kWh. PEYKE/ BOSCH et al. (2011, S. 20) gehen von rund 22 ct/ kWh aus (vgl. Abb. 66). Die Gestehungskosten sind damit immer noch als sehr hoch einzustufen, auch wenn RENTZING (2011b, S. 50) zumindest bei großflächigen PV-Freiflächenanlagen bereits von 16 ct/ kWh ausgeht und eine weitere, drastische Verringerung auf 7 ct/ kWh bis zum Jahr 2020 prognostiziert.

Abbildung 66: Gestehungskosten einzelner Technologierouten in ct



Quelle: PEYKE/ BOSCH et al. 2011, S. 20.

Regelbarkeit: Die Energiebereitstellung mittels PV-Freiflächenanlagen ist vom Grad der Bewölkung sowie von der Jahres- und Tageszeit abhängig (BMVBS et al. 2009, S. 36). Im Jahr 2008 wiesen PV-Freiflächenanlagen in Deutschland durchschnittlich nur 920 Volllaststunden auf (vgl. Abb. 7). Es handelt sich um eine intermittierende Energiequelle. Damit ist die Solarenergie nicht regelbar (BMVBS et al. 2009, S. 36).

Es ist jedoch anzumerken, dass es durchaus Überlegungen gibt, den Strombeitrag von PV-Anlagen zu stabilisieren. Dies könnte dadurch erreicht werden, indem Ost-West-exponierte Dächer, auf denen die Module ihr Leistungsmaximum bereits morgens bzw. erst abends erreichen, stärker gefördert werden. Des Weiteren wird an die Einführung eines Netzentlastungsbonus sowie an die Abschaffung der Eigenverbrauchsförderung gedacht. Die Eigenverbrauchsförderung führt zwangsläufig dazu, dass sich der Stromverbrauch zur Mittagszeit – also zur Zeit der stärksten solaren Einstrahlung – sukzessive erhöhen wird. Bei bewölktem Himmel könnte es dabei zu einem Kollaps des Netzes kommen, wenn innerhalb kurzer Zeit der Strombedarf durch zeitlich ausgerichtete Elektrogeräte rapide ansteigt. Die Nutzung von kleinen, lokalen Speichern könnte da eine vielversprechende Alternative darstellen (MÜLLER 2011, S. 64f.). Jedoch ist zu konstatieren, dass die Installierung von entsprechenden Blei-Gel-Akkus des Anbieters Solarworld mit extrem hohen Kosten verbunden ist. Darüber hinaus ist deren Haltbarkeit auf maximal zehn Jahre begrenzt. Die Entwicklung von langlebigen Lithium-Ionen-Batterien erscheint daher angebracht (BERKEL 2011, S. 75).

Umweltfreundlichkeit: Die in Deutschland gegebene, relativ geringe Strahlungsenergie von 300-600 W/ m² (BOSCH/ PEYKE 2011b, S. 113), macht es erforderlich, aufwändige Anlagen zur Stromgewinnung, deren Produktion mit einem entsprechend hohen Ressourceneinsatz einhergeht, bereitzustellen (KALTSCHMITT et al. 2006, S. 264). Starke Emissionen von Treibhausgasen (CO₂ = 76-91 t/ GWh) und Luftschadstoffen (SO₂ = 290-301 kg/ GWh; NO_x = 196-214 kg/ GWh) bei Herstellung, Betrieb und Entsorgung von mono- und multikristallinen Anlagen sowie eine schlechte Energiebilanz stellen erhebliche Nachteile der PV dar (BMVBS et al. 2009, S. 37 & KALTSCHMITT et al. 2006, S. 265). Darüber hinaus ist die energetische Amortisationszeit mit 5-15 Monaten als relativ hoch einzustufen, wobei davon auszugehen ist, dass sich dieser Wert angesichts einer steigenden Effizienz in den nächsten Jahren deutlich verringern wird. Nicht zuletzt ist die Verwendung von toxischen Stoffen wie Cd und Te äußerst bedenk-

lich (KALTSCHMITT et al. 2006, S. 267 & WETZEL 2010). Problematisch ist darüber hinaus, dass bei der CIS-Modulherstellung umweltbelastender Selenwasserstoff (H_2Se) freigesetzt wird (KALTSCHMITT et al. 2006, S. 267f.). Folglich ist die Umweltfreundlichkeit von PV-Freiflächenanlagen sehr gering.

Genehmigungsrecht und Raumordnung: PV-Freiflächenanlagen besitzen keine Privilegierung im Außenbereich von Gemeinden (FASSL 2010, S. 230). Vielmehr müssen die Anlagen an eine Siedlung angebunden werden, um einer Zersiedlung der Landschaft vorzubeugen (STMI 2009, S. 2). Generell werden Projekte mit einer Größe von 0,5 bis 20 ha über die kommunale Bauleitplanung geregelt. Größere Anlagen bedürfen einer UVP (FASSL 2010, S. 229). Dieses Vorgehen ist grundlegend für den Anspruch auf die vom Netzbetreiber zu leistende Vergütung. Jenseits des Bebauungsplanverfahrens sind Baugenehmigungsverfahren und naturschutzrechtliche Ausnahmegenehmigungen von Bedeutung (BMW i 2010b, 4ff. & BOSCH/ PEYKE 2011b, S. 113).

Bei PV-Freiflächenanlagen handelt es sich um Anlagen gewerblicher Natur. Damit beschränkt sich ihr Flächenanspruch auf Industrie-, Gewerbe-, Kern-, Misch- und Dorfgebiete. Des Weiteren legt das BNatSchG fest, dass Nationalparke, Naturschutzgebiete, Landschaftsschutzgebiete, Biosphärenreservate, Naturdenkmale, Naturparke und FFH-Gebiete nicht zugänglich sind. Sondergebiete, die der Nutzung von EE zustehen, lassen sich im Rahmen der BauNVO festlegen (BMVBS et al. 2009, S. 43). Eine Genehmigungspflicht nach dem BImSchG besteht nicht. Mit der Novellierung des EEG 2010 erfuhr die PV-Branche eine gravierende räumliche Sanktion, da PV-Freiflächenanlagen auf Ackerflächen nicht weiter gefördert werden (WARTNER 2010, S. 170). Bedeutend sind auch die im EEG vorgenommenen räumlichen Klassifizierungen von PV-Anlagen und die daran gekoppelte Förderberechtigung. In erster Linie soll der Ausbau von PV-Anlagen auf Gebäuden vorangetrieben werden. Von sekundärer Bedeutung ist die Beplanung von baulichen Anlagen, die vorrangig nicht der Stromproduktion dienen. Erst an dritter Stelle wird die Möglichkeit eingeräumt, PV-Anlagen auf sonstigen baulichen Anlagen – d. h. auf Anlagen, die vor allem der Stromerzeugung dienen – zu errichten. Dieser dritten Kategorie sind die PV-Freiflächenanlagen zuzuordnen, die damit eher den Charakter einer unerwünschten, jedoch prinzipiell möglichen Ausweichoption innehaben. Diese sog. echten PV-Freiflächenanlagen sind mit Blick auf die Vergütung von den unechten Anlagen zu unterscheiden, die speziell auf Konversionsflächen zu errichten

sind. Der Fokus des Ausbaus von PV-Freiflächenanlagen liegt neben Konversionsflächen auf vorbelasteten Standorten entlang von Schienenwegen oder Autobahnen. Der beplanbare Korridor ist hierbei äußerst schmal, denn es steht lediglich eine Breite von 110 m vom äußeren Rand des Schienenweges bzw. der Autobahn zur Verfügung. Die von den Landesstraßenbaubehörden formulierten straßenrechtlichen Anbaubeschränkungen im 100-Meter-Bereich sowie das Anbauverbot im 40-Meter-Bereich schließen die Errichtung von PV-Freiflächenanlagen folglich nicht mehr kategorisch aus. Voraussetzung für die Aufhebung des Anbauverbotes ist zum einen, dass der äußere Rand der Autobahn im Bebauungsplan exakt definiert wird, denn nur dadurch lassen sich die einzelnen Flächentypen eindeutig unterscheiden. Darüber hinaus gilt es, durch die Bestimmung der überbaubaren Grundstücksfläche zu überprüfen, ob die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs nicht beeinträchtigt wird. So ist bspw. sicherzustellen, dass von den Anlagen keine verkehrsgefährdenden Blendeffekte ausgehen. Die Errichtung von Sichtschutzwänden ist nicht zwingend erforderlich, jedoch bietet sich im Sinne des Sichtschutzes eine Anpflanzung von Hecken und Sträuchern an. Drittens ist es erforderlich, den Träger der Straßenbaulast an der Aufstellung des Bebauungsplanes zu beteiligen. Die Restriktionen im Bereich des 110-Meter-Streifens entlang von Schienenwegen sind hingegen wesentlich geringer, denn hier besteht prinzipiell kein Anbauverbot. Es gilt lediglich, schädliche Umwelteinwirkungen und etwaige Blendeffekte zu vermeiden (vgl. SCHRÖDTER/ KURAS 2011).

Insgesamt wird die PV-Freiflächenanlage hinsichtlich der Raumanforderung »Genehmigung und Raumordnung« als »mittel geeignet« eingestuft.

Damit ergeben sich für die Photovoltaik folgende Technologievoraussetzungen: vgl. Abb. 67

Abbildung 67: Technologievoraussetzungen Photovoltaik II

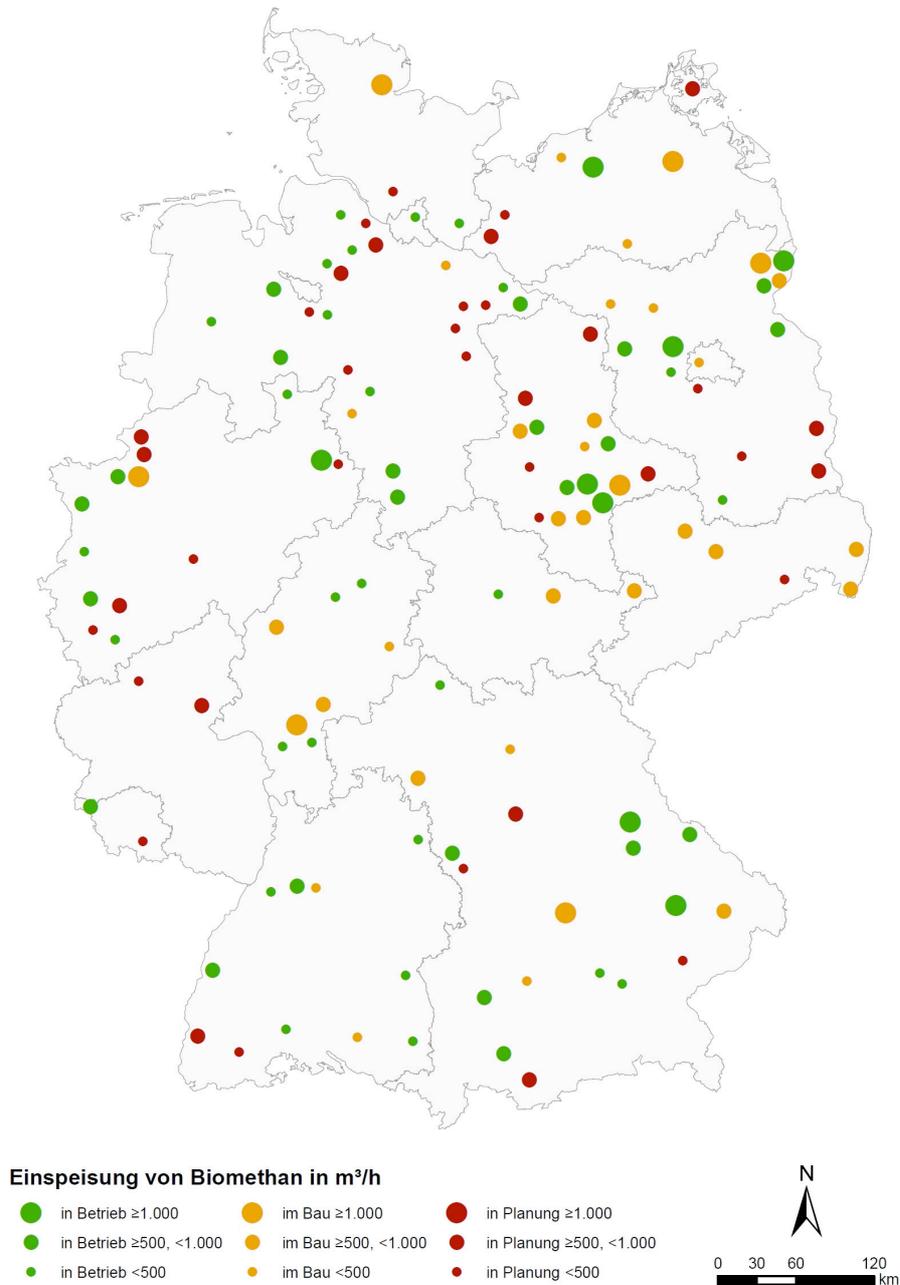
PVA	Voraussetzungen
Gestehungskosten	(-) schlecht
Regelbarkeit	(-) schlecht
Umweltfreundlichkeit	(-) schlecht
Genehmigung und Raumordnung	(0) mittel

Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

5.7.6.3 Biogasanlage

Gestehungskosten: Die Stromgestehungskosten für BGA betragen nach NITSCH et al. (2010, S. 26) im Schnitt 11,3 ct/kWh. PEYKE/ BOSCH et al. (2011, S. 20) gehen bei BGA von etwas höheren Gestehungskosten aus (vgl. Abb. 66). Sie sind demnach als »mittel« einzustufen.

Abbildung 68: Räumliche Verteilung von Biomethananlagen in Deutschland 2011



Datengrundlage: Deutsche Energie-Agentur
Kartengrundlage: ESRI

Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

Regelbarkeit: Die Produktion von Biogas ist unabhängig von Witterungseinflüssen. Darüber hinaus lässt sich sowohl die Biomasse als auch das daraus produzierte Rohbiogas (ca. 60 % CH₄) oder das durch Aufbereitung zu gewinnende Biomethan (ca. 96-98 % CH₄) problemlos speichern, in Tanks abfüllen und in Flaschen oder Pipelines transportieren (BEIN 2006, S. 25 & THIERBACH 2006, S. 32). Damit ist Biogas grund- sowie spitzenlastfähig und hervorragend regelbar (vgl. WIEDEMANN 2011a). Nicht zuletzt wird vom »Multitalent Biogas« gesprochen (FACHVERBAND BIOGAS 2005, S. 4f.).

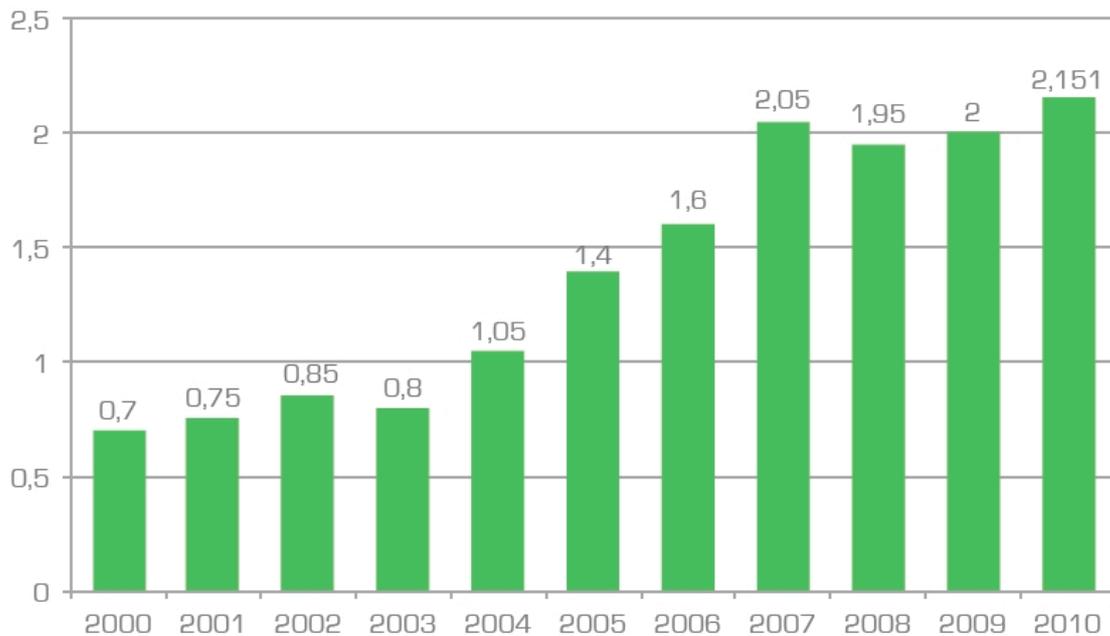
Bezüglich der Regelbarkeit eines regenerativen Energiesystems kommt der Biogastechnologie auch aufgrund des beim Vergärungsprozess entstehenden sowie bei der anschließenden Biomethanaufbereitung anfallenden CO₂ eine herausragende Bedeutung zu. Durch Reaktion des Kohlenstoffdioxids mit Wasserstoff (Sabatier-Reaktion) – der Wasserstoff wird im Zuge der Wasserstoff-Elektrolyse gewonnen – entstehen Methan und Wasser ($\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$). Mittels dieser chemischen Reaktion ist folglich die Methanisierung von überschüssigem Wind- oder Solarstrom – der dabei für die Stützung der Elektrolyse verantwortlich ist – möglich.

Methan ist einerseits ein hervorragender Energiespeicher, da es sich ohne Probleme in die bestehende Erdgasnetzinfrastruktur (Erdgasleitungen, Gasspeicher) integrieren lässt. Immerhin liegt diesbezüglich eine Speicherkapazität von 220 TWh vor (zum Vergleich: Pumpspeicher mit lediglich 0,04 TWh und Druckluftspeicher mit nur 0,0006 TWh Speicherkapazität) (vgl. RIEKE 2011; WIEDEMANN 2011b & JANZING 2011b). Die Gasspeicherkapazität in Deutschland übersteigt die der Pumpspeicherkraftwerke folglich um mehr als das 5.000-fache. Andererseits ist im Zuge der bidirektionalen Verknüpfung von Strom- und Gasnetz sowohl eine zeitliche als auch eine räumliche Entkopplung von Energieproduktion und Energieverbrauch möglich. Das CO₂-Potenzial aus der Biogasproduktion würde ohne Probleme ausreichen, um – im Falle einer rein regenerativen Stromversorgung, mit einem zu erwartenden Speicherbedarf von bis zu 40 TWh – dem CO₂-Bedarf von erneuerbarem Methan im Rahmen des Sabatier-Prozesses entsprechen zu können.

Vorteilhaft ist, dass Methan auch auf dem Wärme- und Kraftstoffmarkt eingesetzt werden kann (vgl. RIEKE 2011). Damit fällt der Biogastechnologie eine zentrale Rolle hinsichtlich der Regelung eines regenerativen Energiesystems zu. Es wird jedoch betont,

dass die Entwicklung der »Power to Gas-Technologie« einer Anschubförderung bedarf. Ein Weg könnte darin bestehen, dass das synthetisch erzeugte Methan im Rahmen einer EEG-Novellierung rechtlich mit Biomethan gleichgestellt wird (vgl. WIEDEMANN 2011b). Abbildung 68 zeigt die räumliche Verteilung von bestehenden sowie im Bau befindlichen und geplanten Biomethananlagen in Deutschland.

Abbildung 69: Entwicklung der Anbaufläche von NawaRos in Deutschland in Mio. ha



Quelle: PEYKE/ BOSCH et al. 2011, S. 31.

Umweltfreundlichkeit: Charakteristisch an der Biogastechnologie ist der Anbau von Energiepflanzen in Form von Monokultur. Dies geht stets mit einem Verlust an Biodiversität einher. Darüber hinaus führt der verstärkte Anbau von Silomais, angesichts der großen Reihenabstände, zu einer starken Bodenerosion und Eutrophierung (BOSCH 2008, S. 126).

Abbildung 69 verdeutlicht den starken Zuwachs beim Anbau von nachwachsenden Rohstoffen innerhalb der letzten Jahre. Neben den Industriepflanzen nehmen die Energiepflanzen dabei einen immer größeren Anteil ein. Pflanzen zur Versorgung von BGA werden derzeit in Deutschland auf etwa 650.000 ha angebaut. Energiemais hat dabei mit 380.000 ha den höchsten Flächenanteil (LESSNER 2010, S. 77). Auch der Einsatz von Schädlingsbekämpfungs- und Düngemitteln ist als äußerst bedenklich anzusehen. Schadstoffemissionen rühren wiederum aus dem Einsatz von Maschinen für Aussaat,

Düngung, Ernte und Transport. Des Weiteren muss zur Produktion von Strom und Wärme Energie aufgewendet werden (bspw. zum Beheizen des Fermenters) (BMVBS et al. 2009, S. 37).

Der Austritt von Silosickersäften kann u. U. zum Umkippen von umliegenden Gewässern und dadurch zum Fischsterben führen. Darüber hinaus klagen Anwohner mancherorts über gereizte Schleimhäute, Geruchs- und Lärmemissionen sowie über Straßenschäden aufgrund eines erhöhten Transportaufkommens (BOSCH 2008, S. 126f.). Schließlich besteht die Gefahr, dass klimawirksames Methan aus dem Gärrestbehälter entweicht, wenn dieser nicht ordnungsgemäß abgedeckt wird (vgl. PADUCH 2007 & VOGTHERR/ OECHSNER 2008). Zusammenfassend lässt sich behaupten, dass die Umweltfreundlichkeit von BGA sehr gering ist.

Genehmigungsrecht und Raumordnung: Prinzipiell bestehen beim Biomasseanbau keine planungsrechtlichen Zulassungsvoraussetzungen. BGA hingegen bedürfen, je nach Anlagengröße, einer Genehmigung nach dem BImSchG oder nach dem BauGB. Des Weiteren ist ihre Errichtung nach der BauNVO nur in Industrie-, Gewerbe-, Kern-, Misch- und Dorfgebieten zulässig (BMVBS et al. 2009, S. 44). Innerhalb der im Zusammenhang bebauten Teile einer Siedlung ist der Bau einer Anlage allein möglich, wenn diese der spezifischen Eigenart der unmittelbaren Umgebung entspricht und das Ortsbild nicht verunstaltet (BAUGB 2011b, § 34). Insgesamt wird die Biogastechnologie hinsichtlich der Raumanforderung »Genehmigung und Raumordnung« als »mittel geeignet« eingestuft.

Damit ergeben sich für die BGA folgende Technologievoraussetzungen: vgl. Abb. 70

Abbildung 70: Technologievoraussetzungen Biogas (Anbaubiomasse) II

BGA (Anbaubiomasse)	Voraussetzungen
Gestehungskosten	(0) mittel
Regelbarkeit	(+) gut
Umweltfreundlichkeit	(-) schlecht
Genehmigung und Raumordnung	(0) mittel

Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

5.7.6.4 Erdwärmekraftwerk

Gestehungskosten: Die Stromgestehungskosten für EWK betragen im Schnitt 23,5 ct/ kWh (NITSCH et al. 2010, S. 26). Je nach der Temperatur des geförderten Thermalwassers schwanken die Gestehungskosten zwischen 19,8 und 27 ct/ kWh (vgl. Abb. 66). Sie sind damit als sehr hoch einzustufen.

Regelbarkeit: Die Geothermie ist unabhängig von Witterungseinflüssen. Ein kontinuierlicher Energiefluss vom Erdinneren zur Erdoberfläche ist möglich. Sowohl die hydrothermale als auch die petrothermale geothermische Stromerzeugung ist damit gut regelbar (BMVBS et al. 2009, S. 37). Es muss dennoch betont werden, dass bisher keine Erfahrungen vorliegen, wie lange das Temperaturniveau einer Schüttung stabil bleibt. Es ist nicht auszuschließen, dass sich langfristig eine Abkühlung im Reservoir ergeben könnte. Dieser Aspekt wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit jedoch vernachlässigt, da hierüber bisweilen nur Spekulationen und keine fundierten wissenschaftlichen Erkenntnisse vorliegen.

Umweltfreundlichkeit: EWK weisen in Abhängigkeit vom Standort eine große Variation hinsichtlich der Emissionen von Luftschadstoffen (Strom: $\text{SO}_2 = 24\text{-}123$ kg/ GWh; $\text{NO}_x = 73\text{-}408$ kg/ GWh; Wärme: $\text{SO}_2 = 156\text{-}176$ kg/ TJ; $\text{NO}_x = 108\text{-}126$ kg/ TJ) und Treibhausgasen (Strom: $\text{CO}_2 = 16\text{-}79$ t/ GWh; Wärme: $\text{CO}_2 = 94,7\text{-}104$ t/ GWh) auf (KALTSCHMITT et al. 2006, S. 497/ 524). Die Umweltfreundlichkeit der Geothermie wird folglich als »mittel« eingestuft (BMVBS et al. 2009, S. 38).

Fraglich ist nach wie vor, wie groß die Gefahr ist, dass im Zuge von Tiefenbohrungen und dem Einpressen von Wasser unter hohem Druck – wie es bei petrothermalen Systemen (HDR-Verfahren) zur Bildung von Klüften von Nöten ist – Erdstöße ausgelöst werden, wie bspw. in Basel und Landau (DÄHN 2011, S. 43f.). Darüber hinaus ist es bedenklich, wenn zwei Grundwasserschichten miteinander verbunden werden und so einer Druckentlastung sowie Bodenabsenkung, wie es in Leonberg der Fall ist, Vorschub leisten. Des Weiteren ist davon abzuraten, Grundwasserschichten unterhalb einer Keuperschicht anzubohren, da deren Verknüpfung zur Entstehung von Gips und damit zu einer Anhebung des Bodens, wie bspw. in Staufen, führt (vgl. JANZING 2011c). Aufgrund eines mittlerweile geschärften Bewusstseins für derartige Problemfälle, wird im Rahmen dieser Arbeit die Möglichkeit von Impacts solcher Art ausgeschlossen.

Abbildung 71: Technologievoraussetzungen Geothermie II

EWK	Voraussetzungen
Gestehungskosten	(-) schlecht
Regelbarkeit	(+) gut
Umweltfreundlichkeit	(0) mittel
Genehmigung und Raumordnung	(0) mittel

Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

Genehmigungsrecht und Raumordnung: Grundsätzlich unterstehen EWK dem BBergG. Hierin wird die Wärme aus dem Erdinneren als Bodenschatz eingestuft. Ihre Errichtung ist in Gewerbe-, Industrie-, Misch- und Dorfgebieten prinzipiell möglich. Findet eine Geothermiebohrung in einem besonders schützenswerten Raum (z. B. Naturschutzgebiet) statt, so ist ab einer Bohrtiefe von 1.000 m eine UVP vorgeschrieben. Möglicherweise wird diese Anforderung in Zukunft auf sämtliche Raumtypen übertragen (JANZING 2011c, S. 67). Die baulichen und technischen Anlagen zur Energiegewinnung werden als wenig störend eingestuft (BMVBS et al. 2009, S. 44). Kritikwürdig sind in erster Linie die Schallemissionen der relativ großen Lüfter (JANZING 2011c, S. 66). Insgesamt ist das EWK hinsichtlich der »Raumanforderung Genehmigung« und Raumordnung als »mittel« einzustufen.

Damit ergeben sich für die Geothermie folgende Technologievoraussetzungen: vgl. Abb. 71

5.7.7 Sekundäre Zuordnung von Raum und Technologie

Entsprechend den spezifischen Raumanforderungen einzelner Raumtypen im Rahmen des zweiten Bewertungsverfahrens kann im Folgenden eine klare Zuordnung von Raum und Technologie erfolgen. Entscheidend ist hierbei, dass diese Zuordnung in Abhängigkeit von den jeweils lokalen bzw. regionalen Erfordernissen erfolgt. Stehen ökonomische Belange bzw. Zwänge im Vordergrund, so entscheiden letztlich die »Gestehungskosten« über die Technologiewahl. Geht es darum, mittels der Kraftwerke flexibel auf Schwankungen im Stromnetz reagieren zu können, ist die »Regelbarkeit« beim Ausbau ausschlaggebend. Steht wiederum die Ökologie im Mittelpunkt der Betrachtung, so ist der Fokus auf den Parameter »Umweltfreundlichkeit« gerichtet. Schließlich kann das

Augenmerk auch auf rechtliche Aspekte gelegt werden. In diesem Fall determinieren »Genehmigung und Raumordnung« die Auswahl der Technologie.

An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass im Rahmen des zweistufigen Bewertungsverfahrens versucht wird, jedem Raumtyp genau *eine* Technologie zuzuweisen. Diese Zuordnung hängt dabei primär von den bereits abgehandelten Raumanforderungen »**Land-schaftsintegration**«, »**Flächeneffizienz**« und »**Rückbaufähigkeit**«, sekundär von den nun zu betrachtenden raum-zeitlichen Erfordernissen »**Kosten**«, »**Regelbarkeit**«, »**Umweltfreundlichkeit**« sowie »**Genehmigung und Raumordnung**« ab.

Abbildung 72: Technologiewahl: sekundäres Bewertungsverfahren

Raumtyp	zugeordnete Technologie(n)			
	Gestehungskosten	Regelbarkeit	Umweltfreundlichkeit	Genehmigung und Raumordnung
Vorbelasteter Raum	WKA	EWK	WKA	PV
Forstwirtschaftlicher Raum	WKA	PV (EWK)	WKA	PV
Landwirtschaftlicher Raum	PV (WKA)	PV (EWK)	PV (WKA)	PV
Dienstleistungsraum	keine	EWK	keine	keine
Verletzlicher Raum	keine	EWK	keine	keine

Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

5.7.7.1 Vorbelasteter Raum und Technologie

Beim vorbelasteten Raum ergab sich im Rahmen des ersten Bewertungsverfahrens eine diffuse Zuordnung von Raum und Technologie, da prinzipiell drei Technologien – WKA, PV-Freiflächenanlage und EWK – für den Raum als geeignet erscheinen. Im Rahmen des sekundären Bewertungsverfahrens wird schließlich jene Technologie ausgewählt, die den spezifischen raum-zeitlichen Anforderungen am ehesten entspricht. So wird gegenüber den Anforderungen »Gestehungskosten« und »Umweltfreundlichkeit« die Technologie WKA, vor dem Hintergrund der Raumanforderung »Regelbarkeit« das EWK zugeordnet (vgl. Abb. 72). Kommen mehrere Technologien für eine räumliche Integration in Frage, da alle die gleichen Voraussetzungen gegenüber einer spezifischen raum-zeitlichen Anforderung aufweisen, wird allein jene Technologie zugeordnet, die innerhalb des primären Bewertungsverfahrens am besten abgeschnitten hat. Aus diesem Grund wird im Rahmen der Raumanforderung »Genehmigung und Raumordnung« die PV zugeordnet (vgl. Abb. 72). Würden sich die Technologien auch diesbezüglich auf Augenhöhe befinden, so wird jene der Technologien zugeordnet, die im gesamten sekundären Bewertungsverfahren besser abschneidet. Ergeben sich auch hier keinerlei

Unterschiede, werden die Technologien kombiniert eingesetzt. Die Zuordnung ist damit als »klar« einzustufen.

Abbildung 73: Zuordnung Raum und Technologie - Anforderung Umweltfreundlichkeit



Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

5.7.7.2 Forstwirtschaftlicher Raum und Technologie

Für den forstwirtschaftlich genutzten Raum wurden im primären Bewertungsverfahren die Technologien WKA und PV-Freiflächenanlage ausgewählt. Bei den Gesteungskosten schneidet die WKA nun besser ab. Hinsichtlich Regelbarkeit besitzen beide Techno-

logien keine geeigneten Voraussetzungen. Daher wird die PV-Freiflächenanlage zugeordnet, denn diese weist im Rahmen des primären Bewertungsverfahrens bessere Merkmale auf. Da jedoch auch den raum-zeitlichen Anforderungen zu entsprechen ist – d. h. der Regelbarkeit –, wird der Haupttechnologie PV noch das EWK – quasi als Nebentechnologie – zugewiesen. Dabei wird der Haupttechnologie immer jene Nebentechnologie zugeordnet, die entsprechend den raum-zeitlichen Anforderungen mindestens das Merkmal »gut (+)« aufweist. Findet sich hierzu keine Technologie, bleibt es bei der alleinigen Integration der Haupttechnologie. Beim Ausbau gilt es, die Nebentechnologie auf ein Minimum zu beschränken, denn die raumverträgliche Haupttechnologie hat stets den Vorrang. Es wird maximal *eine* Nebentechnologie herangezogen. Gibt es mehrere geeignete Nebentechnologien, so entscheiden zunächst alle Merkmale des primären, dann alle des sekundären Bewertungsverfahrens über die Technologiewahl.

5.7.7.3 *Landwirtschaftlicher Raum und Technologie*

Für den landwirtschaftlich genutzten Raum wurde die Technologie PV-Freiflächenanlage als geeignet identifiziert. Da die Zuordnung klar ist, kann auf ein weiteres Bewertungsverfahren verzichtet werden. Im Zuge von raum-zeitlichen Erfordernissen ist es jedoch auch hier angebracht, die Haupttechnologie durch Nebentechnologien zu stützen bzw. zu ergänzen.

5.7.7.4 *Dienstleistungs- sowie verletzlicher Raum und Technologie*

Dem Dienstleistungs- sowie dem verletzlichen Raum wurden im Rahmen des primären Bewertungsverfahrens keine Technologien zugeordnet, denn den hohen räumlichen Ansprüchen konnte keine der Technologien gerecht werden. Um dennoch eine Zuordnung von Raum und Technologie zu ermöglichen, werden zunächst jene zwei Technologien identifiziert, die den Anforderungen des Dienstleistungsraumes sowie jenen des verletzlichen Raumes im Rahmen des primären Bewertungsverfahrens am ehesten entsprechen. Dabei handelt es sich um die Technologien PV-Freiflächenanlage und EWK. Weist eine der Technologien gegenüber den jeweiligen räumlich-zeitlichen Anforderungen im Rahmen des sekundären Bewertungsverfahrens das Merkmal »gut (+)« auf, so wird diese Technologie dem Raum zugewiesen. Kommen diesbezüglich beide Technologien für einen Ausbau in Frage, so wird jene zugeordnet, die im primären Bewertungsverfahren besser abgeschnitten hat. Tritt keiner dieser Fälle ein, so erfolgt schließlich auch im sekundären Bewertungsverfahren keine Zuordnung. Erst dann kann die Zuordnung als »klar« bezeichnet werden. Im vorliegenden Fall wird den hochsensiblen

Räumen allein im Zuge der raum-zeitlichen Anforderung »Regelbarkeit« eine Technologie zugeordnet: das Erdwärmekraftwerk (vgl. Abb. 72).

In Abbildung 73 ist zu sehen, wie ein raumverträglicher Ausbau von EE im Landkreis Landsberg a. Lech auszusehen hätte, wenn die raum-zeitliche Anforderung in einer hohen Umweltfreundlichkeit bestehen würde. Es zeigt sich, dass in diesem Fall die Windenergie einen Großteil des Raumes beplanen würde. In wenigen Gemeinden würde auch eine Kombination aus Wind- und Solarenergie die optimale Raumnutzung darstellen. Die Dienstleistungs- und verletzlichen Räume werden von einem Ausbau verschont.

Anhand der Abbildung 73 lässt sich nun nachvollziehen, inwieweit der bisherige Ausbau von EE im Landkreis Landsberg a. Lech als raumverträglich zu bezeichnen ist. Der Solarpark Prittriching bspw. befindet sich in der »solar & wind domain« und ist damit raumverträglich. Auch die WKA bei Menhofen (Denklingen) stellt ein raumverträgliches Energieprojekt dar. Hingegen ist die Errichtung der BGA Pestenacker (Egling a. d. Paar) als kritisch zu betrachten, da diese Technologieroute nicht den Raumanforderungen entsprechen kann. Erst im Rahmen des Szenario I (vgl. Abb. 78) kann die Biogasbranche ihre Raumannsprüche auch in der Gemeinde Egling a. d. Paar zu Recht geltend machen.

5.7.8 Szenarien

Bemerkenswert ist, dass innerhalb dieses zweistufigen Bewertungsverfahrens eine hohe Dynamik vorliegt. Einerseits können sich die technologischen Voraussetzungen durch FuE im Laufe der Zeit so verbessern, dass sich bei erneuter Durchführung der Bewertungsverfahren ein neues Standortmuster ergibt. Andererseits können auch Veränderungen in den räumlich-zeitlichen Erfordernissen Variationen bei der Errichtung von Technologien bewirken. Schließlich können sich auch die Raumtypen wandeln, womit auch deren Anforderungen an die Technologien neu definiert werden müssten. Dies zeigt, wie komplex die Erfassung möglicher Standortmuster von EE tatsächlich ist. Die vorliegende Arbeit stellt sich der Herausforderung, diese Komplexität zu erfassen. Am Beispiel von drei Szenarien soll demonstriert werden, inwieweit sich neue Standortmuster von EE ergeben, wenn sich die Rahmenbedingungen verändern. Zum weiteren Verständnis ist es jedoch zunächst notwendig, die Begriffe Standortpotenzial und Raumpotenzial zu definieren.

Standortpotenzial: Das Standortpotenzial einer EE ist die Summe aus den Teilräumen vorbelasteter, forstwirtschaftlich genutzter, landwirtschaftlich genutzter, dienstleistungsorientierter und verletzlicher Raum, auf denen die Technologievoraussetzungen dieser EE den spezifischen Raumanforderungen in der Weise gerecht werden, dass es gegenwärtig keine bessere technologische Option innerhalb dieser Räume gibt.

Raumpotenzial: Das Raumpotenzial einer EE ist die Summe aus den Teilräumen vorbelasteter, forstwirtschaftlich genutzter, landwirtschaftlich genutzter, dienstleistungsorientierter und verletzlicher Raum, auf denen die Technologievoraussetzungen dieser EE den spezifischen Raumanforderungen unter der Prämisse veränderter Rahmenbedingungen technologischer, wirtschaftlicher und/ oder gesellschaftlicher Art in der Weise gerecht werden, dass es zu jenem Zeitpunkt, bei dem diese veränderten Rahmenbedingungen eintreten, keine bessere technologische Option innerhalb dieser Räume gibt.

Abbildung 73 stellt folglich die Visualisierung des Standortpotenzials dar. Dabei geht es um die gegenwärtige Verträglichkeit von Raum und Technologie. Bei der Entwicklung von Szenarien steht jedoch die Erfassung von Raumpotenzialen im Mittelpunkt der Betrachtung. Erst mittels der Erfassung von Raumpotenzialen wird es gelingen, einen Korridor abzustecken, innerhalb dessen sich der Ausbau von EE in räumlicher Hinsicht mit hoher Wahrscheinlichkeit bewegen wird. Dadurch ist es möglich, die Sensibilität der gegenwärtigen optimalen Technologiewahl gegenüber variierenden Rahmenbedingungen technologischer, ökonomischer und gesellschaftlicher Art zu ermitteln und als Beratungswissen Politik und Wirtschaft bereitzustellen.

Die folgenden Szenarien gehen von veränderten Rahmenbedingungen bei BGA, PV-Freiflächenanlagen und WKA aus.

5.7.8.1 Reststoffverwertung bei Biogasanlagen – Szenario I

Im Rahmen des primären und sekundären Bewertungsverfahrens haben sich keinerlei räumliche Optionen für die Biogastechnologie – zumindest nicht im Bereich Anbaubiomasse – ergeben. Als Grund sind hierbei die geringe Flächeneffizienz und die schlechte Ökobilanz zu nennen. Es stellt sich die Frage, mittels welcher Strategie es der Biogasbranche gelingen könnte, den Raumanforderungen im Rahmen eines neuen Bewertungsverfahrens zu entsprechen. Hierzu wird überprüft, inwieweit sich das Standortmus-

ter der EE durch die Konzentration der Biogasbranche auf Reststoffverwertung verändert.

Jährlich fallen in Deutschland im kommunalen Bereich etwa 11,7 Mio. t allein an Grün- und Bioabfällen an (147 kg/ Einwohner). Daraus ließen sich 1,2 Mrd. m³ Biogas erzeugen und folglich 240.000 Einfamilienhäuser mit Heizenergie versorgen. Dieses Potenzial wird jedoch bis dato nicht ausgeschöpft, da ein Großteil der Substrate der Kompostierung zugeführt wird (WIEDEMANN 2011c, S. 60).

Abbildung 74: Technologievoraussetzungen Biogas (Reststoffe) I – Szenario I

BGA (Reststoffe)	Voraussetzungen
Landschaftsintegration	(+) gut
Flächeneffizienz	(+) gut
Rückbaufähigkeit	(0) mittel

Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 75: Technologievoraussetzungen Biogas (Reststoffe) II – Szenario I

BGA (Reststoffe)	Voraussetzungen
Gestehungskosten	(0) mittel
Regelbarkeit	(+) gut
Umweltfreundlichkeit	(+) gut
Genehmigung und Raumordnung	(0) mittel

Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 76: Technologiewahl: primäres Bewertungsverfahren - Szenario I

Raumtyp	zugeordnete Technologie(n)
	Landschaftsintegration, Flächeneffizienz, Rückbaufähigkeit
Vorbelasteter Raum	WKA, PV, BGA, EWK
Forstwirtschaftlicher Raum	WKA, PV, BGA
Landwirtschaftlicher Raum	PV
Dienstleistungsraum	keine
Verletzlicher Raum	keine

Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 77: Technologiewahl: sekundäres Bewertungsverfahren - Szenario I

Raumtyp	zugeordnete Technologie(n)			
	Gestehungskosten	Regelbarkeit	Umweltfreundlichkeit	Genehmigung und Raumordnung
Vorbelasteter Raum	WKA	BGA	BGA	BGA
Forstwirtschaftlicher Raum	WKA	BGA	BGA	BGA
Landwirtschaftlicher Raum	PV (WKA)	PV (BGA)	PV (BGA)	PV
Dienstleistungsraum	keine	BGA	keine	keine
Verletzlicher Raum	keine	BGA	keine	keine

Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 78: Zuordnung Raum und Technologie - Szenario I



Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

Hinsichtlich der Technologievoraussetzungen führt diese Neuausrichtung zu einer hervorragenden Flächenbilanz, denn die Reststoffe wie Erntereste, Gülle, Festmist und organische Abfälle fallen quasi als Nebenprodukte an, für die keine Flächen bereitgestellt werden müssen (vgl. Abb. 74). Daraus folgt auch eine Verbesserung im Rahmen der Raumanforderung »Umweltfreundlichkeit«, denn der Anbau von Silomais in Monokultur und der mit dem Energiepflanzenbau einhergehende Verlust an Biodiversität werden beseitigt (vgl. Abb. 75). Eine Reduzierung des Anteils von Silomais an der Ackerfläche führt zwangsläufig auch zu einer Verringerung von Bodenerosion und Eutrophierung. Auch der Einsatz von Schädlingsbekämpfungs- und Düngemitteln sowie die Emissionen von Schadstoffen, die im Zuge der Aussaat, Düngung, Ernte und des Transportes entstanden sind, dürfen der Biogastechnologie nicht mehr angerechnet werden. Schließlich ist auch die Gefahr beseitigt, dass Silosickersäfte austreten und zum Umkippen von Oberflächengewässern führen.

Die Abbildungen 76 und 77 verdeutlichen, dass sich der Biogastechnologie im Zuge der Beschränkung auf die Verwertung von Reststoffen neue Raumpotenziale eröffnen. Sowohl beim vorbelasteten als auch beim forstwirtschaftlichen Raum gelingt es der Biogastechnologie, sich zu etablieren und die Technologien WKA, EWK sowie PV-Freiflächenanlage zu verdrängen. Beim landwirtschaftlichen Raum treten BGA zumindest als Nebentechnologie auf und verdrängen damit das EWK und die WKA. Frappierend ist darüber hinaus, dass nun gerade in den äußerst sensiblen Raumkategorien »Dienstleistungs- und verletzlicher Raum« die Biogastechnologie zur einzigen technischen Option aufsteigt. Dieses Szenario kann folglich als ein deutliches Plädoyer für die Reststoffverwertung im Rahmen der Bioenergie angesehen werden. In Abbildung 78 ist die Übertragung dieses Szenarios auf den Untersuchungsraum Landsberg a. Lech nachzuvollziehen.

5.7.8.2 *Kostensenkung und bessere Ökobilanz bei PV-Anlagen – Szenario II*

In einem zweiten Szenario stellt sich die Frage, welche Raumpotenziale sich für die PV ergeben, wenn eine drastische Kostensenkung sowie eine Verbesserung der Ökobilanz erreicht werden. Dabei wird von folgenden, neuen Technologievoraussetzungen ausgegangen (vgl. Abb. 79).

Abbildung 79: Technologievoraussetzungen Photovoltaik III – Szenario II

PVA	Voraussetzungen
Gestehungskosten	(+) gut
Regelbarkeit	(-) schlecht
Umweltfreundlichkeit	(+) gut
Genehmigung und Raumordnung	(0) mittel

Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 80: Technologiewahl: sekundäres Bewertungsverfahren - Szenario II

Raumtyp	zugeordnete Technologie(n)			
	Gestehungskosten	Regelbarkeit	Umweltfreundlichkeit	Genehmigung und Raumordnung
Vorbelasteter Raum	PV	EWK	PV	PV
Forstwirtschaftlicher Raum	PV	PV (EWK)	PV	PV
Landwirtschaftlicher Raum	PV	PV (EWK)	PV	PV
Dienstleistungsraum	keine	EWK	keine	keine
Verletzlicher Raum	keine	EWK	keine	keine

Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

Die Bewertungsverfahren ergeben im Bereich des vorbelasteten und des forstwirtschaftlich genutzten Raumes eine Verdrängung der Windenergie durch die PV. Die Technologie EWK kann ihre Stellung, trotz der gestiegenen Wettbewerbsfähigkeit der PV, halten und wird nicht verdrängt. Jedoch würde der Geothermie nur eine Bedeutung zukommen, wenn ein erhöhter Bedarf an Regelenergie bestehen würde. Dieser Fall wird mit zunehmendem Ausbau eines regenerativen Energiesystems immer wahrscheinlicher, da ein Ausbau an PV- und WKA-Kapazitäten zu immer größeren Schwankungen im Netz führen und stabilisierende Maßnahmen, wie bspw. den Ausbau von Grundlastkraftwerken, notwendig machen wird. Möglicherweise erscheint es im Zuge einer mehrjährigen Übergangsphase als angebracht, zusätzlich Gaskraftwerke auszubauen, die schnell auf Veränderungen in der Netzlast reagieren können. Die Gaskraftwerke sollten jedoch sukzessive von regenerativen Grundlastkraftwerken substituiert werden. Im Bereich des landwirtschaftlich genutzten Raumes dominiert die PV ohnehin, so dass lediglich ein Ausbau des Technologievorsprunges festzustellen ist und die konkurrierenden Technologien weiter abgehängt werden (vgl. Abb. 80). In Abbildung 81 ist die Übertragung dieses Szenarios auf den Untersuchungsraum Landsberg a. Lech nachzuvollziehen.

Abbildung 81: Zuordnung Raum und Technologie - Szenario II



Datengrundlage: Eigene Erhebung
Kartengrundlage: ESRI

Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

5.7.8.3 *Steigende Rohstoffpreise bei Windkraftanlagen – Szenario III*

Es ist nicht zwangsläufig davon auszugehen, dass sich die Technologievoraussetzungen stets positiv entwickeln werden. Zwar sind FuE darum bemüht, die Technologien wettbewerbsfähig zu halten, jedoch gibt es jenseits dieser Bemühungen Einflussgrößen, die nicht beherrschbar sind.

Abbildung 82: Technologievoraussetzungen Windkraft III – Szenario III

WKA	Voraussetzungen
Gestehungskosten	(-) schlecht
Regelbarkeit	(-) schlecht
Umweltfreundlichkeit	(-) schlecht
Genehmigung und Raumordnung	(0) mittel

Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

So ist es durchaus möglich, dass sich im Zuge von Engpässen bei der Rohstoffversorgung – aufgrund einer erhöhten Nachfrage – eine Preissteigerung auf den Weltmärkten ergibt. Der hohe Bedarf asiatischer Länder an **Stahl** bspw. hat zu Preissteigerungen geführt, die sich negativ auf die Kostenentwicklung der Windenergiebranche ausgewirkt haben. Dies hat sogar dazu geführt, dass für Windkrafttürme sog. Hybridlösungen erarbeitet wurden. Dabei wird auf ein 60 m hohes Betonsegment (800 m³ Beton) ein 60 m hoher Stahlurm fixiert. Dieser Ansatz spart nicht nur teuren Stahl, sondern führt auch zu weniger Problemen beim Transport von Windenergieanlagen (vgl. WEINHOLD 2008).

Abbildung 83: Technologiewahl: sekundäres Bewertungsverfahren - Szenario III

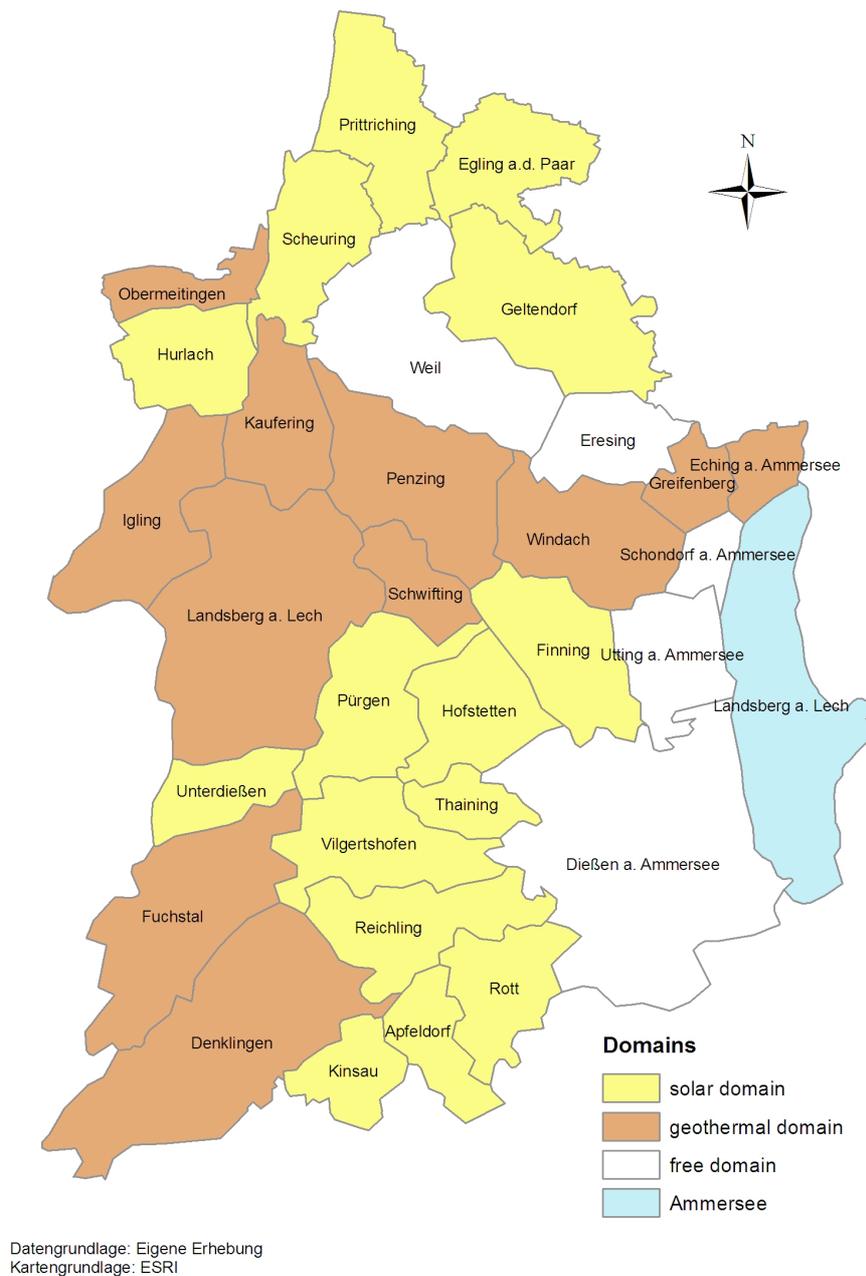
Raumtyp	zugeordnete Technologie(n)			
	Gestehungskosten	Regelbarkeit	Umweltfreundlichkeit	Genehmigung und Raumordnung
Vorbelasteter Raum	PV	EWK	EWK	PV
Forstwirtschaftlicher Raum	PV	PV (EWK)	PV	PV
Landwirtschaftlicher Raum	PV	PV (EWK)	PV	PV
Dienstleistungsraum	keine	EWK	keine	keine
Verletzlicher Raum	keine	EWK	keine	keine

Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

Problematisch für die Windenergie ist darüber hinaus auch die Verfügbarkeit von Metallen aus der Familie der Seltenen Erden. Von großer Bedeutung sind hierbei die Elemente **Nd** und **Dy**, die für die magnetische Wirkung sowie Korrosionsbeständigkeit bei WKA sorgen (vgl. MERKLI 2010; RELLER 2011, S. 44). Da sich der Abbau dieser seltenen Rohstoffe derzeit zu 95 % auf das Staatsgebiet der VR China beschränkt, die diesen strategisch bedeutsamen Standortvorteil mittels Förder- und Ausfuhrquoten gegen „bedürftige“ Nationen auszuspielen versteht, ist jederzeit mit Engpässen und folglich mit Preissteigerungen zu rechnen (vgl. GEINITZ 2010). Es stellt sich die Frage, inwiefern sich eine Preissteigerung bei der Windenergie auf das Standortmuster von EE auswirken

würde. Da sich eine Preissteigerung für Rohstoffe in erhöhten Gesteungskosten äußert, wird dieses Merkmal von »(+)
gut« auf »(-)
schlecht« verändert. Des Weiteren wird in die Analyse miteinbezogen, dass der Abbau von Seltenen Erden in China mit einer erheblichen Beeinträchtigung der Umwelt einhergeht und sogar krebserregende Stoffe (Thorium) freigesetzt werden (vgl. MERKLI 2010). Dadurch verschlechtert sich auch das Merkmal »Umweltfreundlichkeit« von »(+)
gut« auf »(-)
schlecht« (vgl. Abb. 82).

Abbildung 84: Zuordnung Raum und Technologie - Szenario III



Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

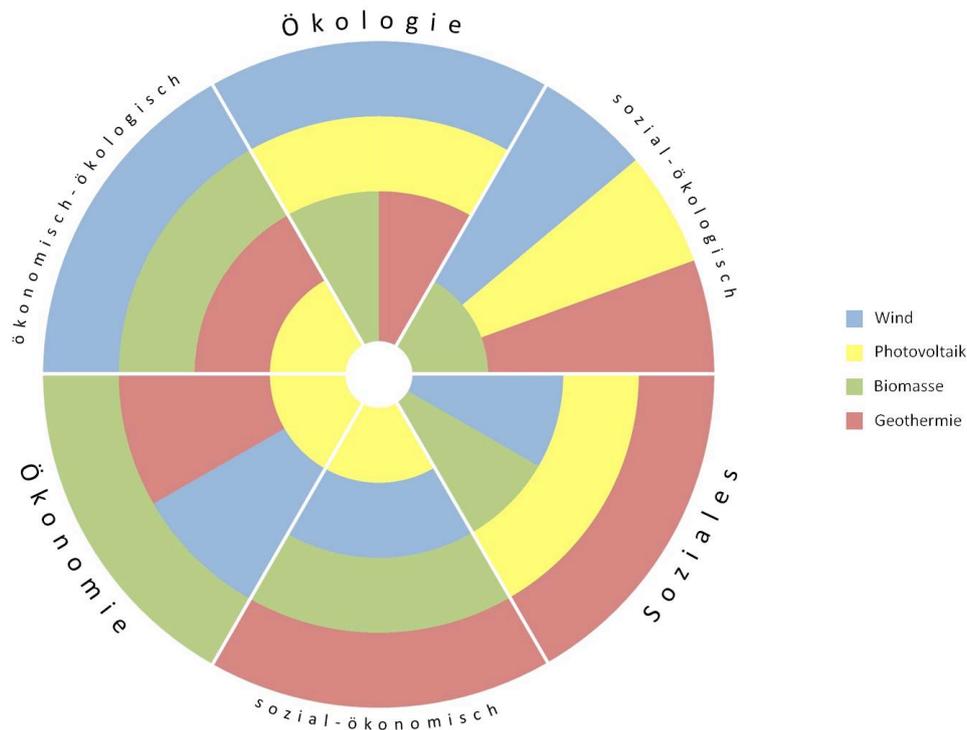
Diese Variation in den Technologievoraussetzungen führt tatsächlich zu einer nennenswerten Veränderung im Standortmuster von EE, jedoch allein im Rahmen des sekundären Bewertungsverfahrens (vgl. Abb. 83). Im Bereich des vorbelasteten, forstwirtschaftlichen und landwirtschaftlichen Raumes werden die ursprünglich der Windenergie zugeordneten Standorte nun von der Photovoltaik oder der Geothermie eingenommen. Der Windenergie fällt nicht einmal mehr die Bedeutung als Nebentechnologie zu. In Abbildung 84 ist die Übertragung dieses Szenarios auf den Untersuchungsraum Landsberg a. Lech nachzuvollziehen.

5.7.9 Schwerpunktsetzung Ökologie, Ökonomie oder Soziales

In einem letzten Schritt wird aufgezeigt, inwieweit sich Variationen hinsichtlich der optimalen Technologiewahl ergeben, wenn der regionale Ausbau von EE durch eine ökologische, ökonomische oder soziale Akzentuierung geprägt ist. Hierzu werden die oben bereits erwähnten Raumanforderungen den drei Säulen der Nachhaltigkeit zugeordnet und analysiert, welche Technologien jeweils die besten Voraussetzungen liefern. Folgende Zuordnung wurde dabei durchgeführt: **Ökologie** – Umweltfreundlichkeit, Flächeneffizienz, Rückbaufähigkeit; **Ökonomie** – Gestehungskosten, Regelbarkeit; **Soziales** – Genehmigung & Raumordnung, Landschaftsintegration;

Ausgehend von den derzeit bestehenden Technologievoraussetzungen, ergibt sich anhand der oben durchgeführten Zuordnung folgendes Standortmodell (vgl. Abb. 85): Die sechs Sektoren stellen idealtypisch die Fläche einer Siedlung dar, die für den Ausbau von EE zur Verfügung steht. Jener Technologie, die im Rahmen der spezifischen Zielformulierung (ökologisch, ökonomisch oder sozial) die besten Voraussetzungen liefert, wird der flächenmäßig größte, also der äußere Bereich der Gemeinde, zugeordnet. Dementsprechend wird der Technologie mit den schlechtesten Voraussetzungen der innere und damit kleinste Bereich des Sektors zugeteilt. Verfolgt eine Gemeinde beim Ausbau von EE v. a. ökologische Ziele, so stellt die Windenergie momentan die beste Option dar. An zweiter Position befindet sich die Photovoltaik, die damit den zweitgrößten Anteil an der zugänglichen Gemeindefläche erhält. Am schlechtesten schneiden die Technologien Biomasse und Geothermie ab, die beim Ausbau folglich nur eine untergeordnete Rolle spielen. Werden jedoch ökonomische bzw. soziale Aspekte in den Vordergrund gerückt, so steigen die Technologiepfade Biomasse bzw. Geothermie zur besten Option auf und erhalten so auch die größten Flächenanteile.

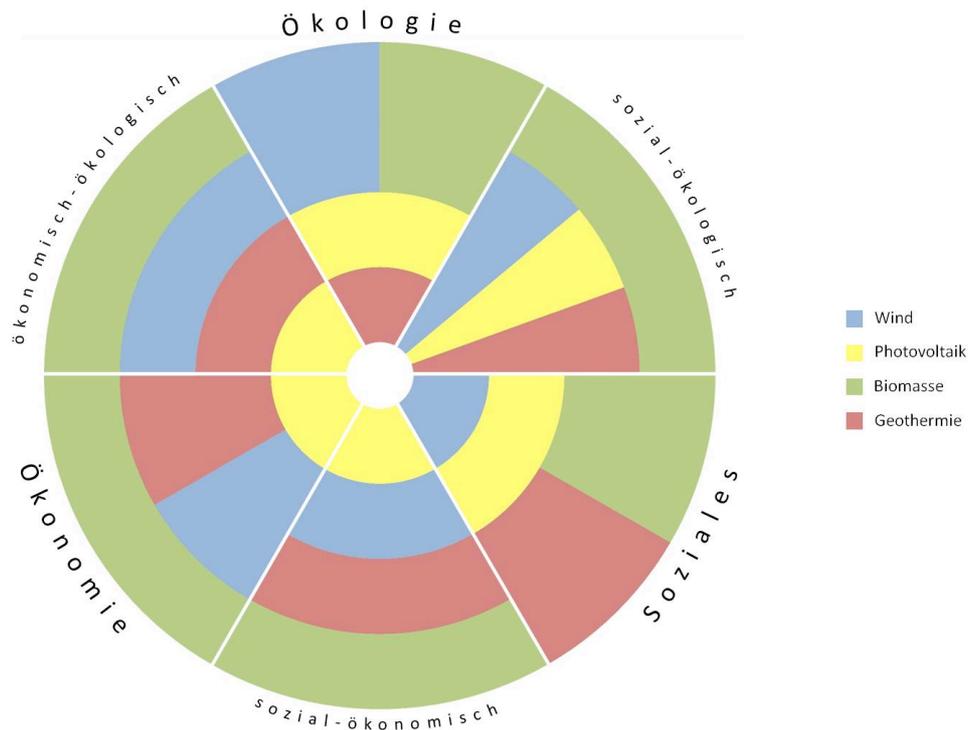
Abbildung 85: Akzeptanzkompass für EE - Status Quo



Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

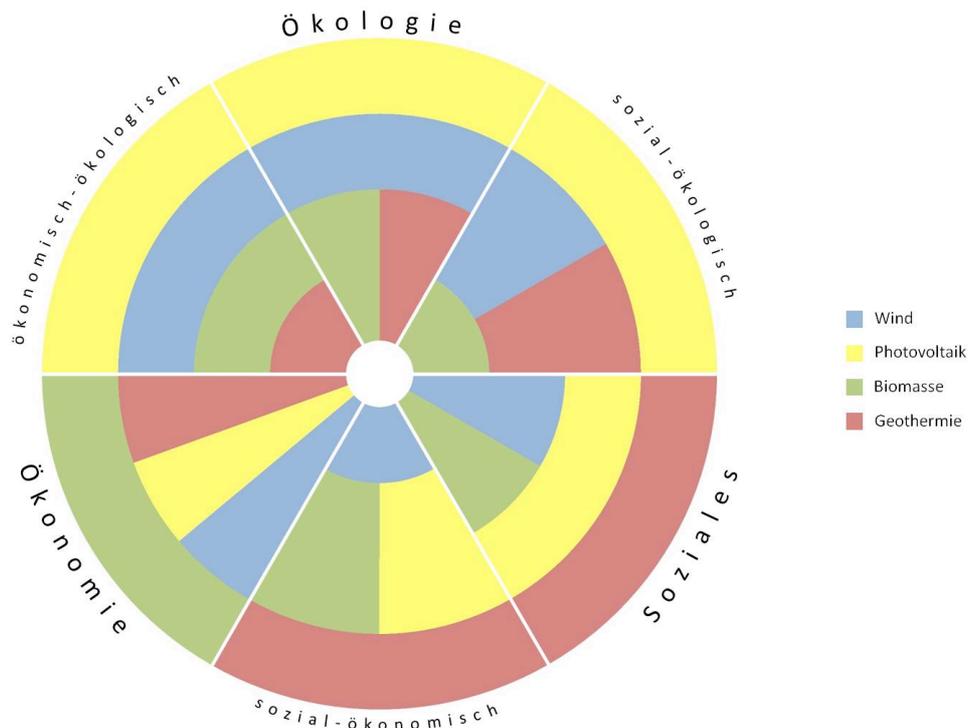
Abb. 86 zeigt das Standortmodell unter den Bedingungen des im vorhergehenden Kapitel analysierten Szenario I. Dabei wurde davon ausgegangen, dass im Bereich Biomasse lediglich Reststoffe energetisch verwertet werden. Dadurch erhöht sich nicht nur die Flächeneffizienz, vielmehr geht dies mit einer Verbesserung der Umweltfreundlichkeit einher. Das Standortmodell offenbart, dass Biomassekraftwerke bei nahezu allen Sektoren zur bedeutendsten Technologie aufsteigen und so den Großteil der restriktionsfreien kommunalen Fläche belegen. Im dritten Standortmodell ist zu sehen, wie sich eine Verringerung der Stromgestehungskosten sowie eine Verbesserung der Umweltfreundlichkeit im Bereich Photovoltaik (vgl. Szenario II) auf die Zusammensetzung des optimalen Energiemix auswirken (vgl. Abb. 87). Die PV-Anlagen gewinnen an Bedeutung und steigen bei ökologisch geprägten Zielsetzungen sogar zur wichtigsten Technologie auf. Die Dominanz der Windenergie, die im ersten Standortmodell noch besteht, geht im vierten Standortmodell gänzlich verloren (vgl. Abb. 88). Dies ist entsprechend dem Szenario III auf steigende Preise für Rohstoffe sowie auf die Verschlechterung der Ökobilanz durch das Einbeziehen von Seltenen Erden zurückzuführen. Der Windenergie eröffnet sich in diesem Fall nur noch ein schmaler räumlicher Korridor.

Abbildung 86: Akzeptanzkompass für EE - Szenario I



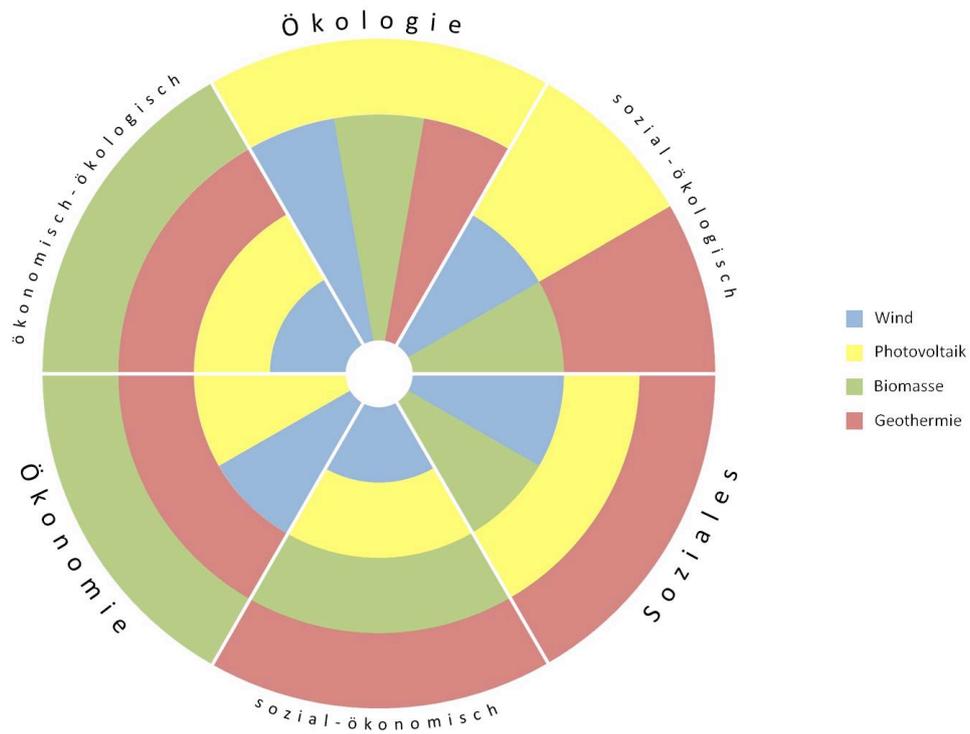
Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 87: Akzeptanzkompass für EE - Szenario II



Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

Abbildung 88: Akzeptanzkompass für EE - Szenario III



Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

6 Entwicklung einer integrierenden Standortplanungssoftware

Die Modellierung eines regenerativen Energiesystems macht es erforderlich, den Fokus auf die Verfügbarkeit und Nutzung von Flächen zu richten, denn im Rahmen einer umfassenden Energiewende bildet die Ressource Raum den limitierenden und damit entscheidenden Faktor. Es gibt bereits einige Projekte, die sich mit der Fragestellung befassen, welche Flächen dem Ausbau von EE bereitgestellt werden können und welche Erträge dabei zu erwarten sind. Problematisch an den bisherigen Forschungsansätzen ist jedoch, dass es sich um statische Betrachtungsweisen handelt, die nicht mehr als eine Momentaufnahme des Ausbaupotenzials liefern und daher einer falschen, weil übereilten Ausbaustrategie Vorschub leisten.

Die bisher durchgeführten Raumanalysen gingen bei der Ermittlung von Standortpotenzialen von Annahmen aus, die sich bereits nach wenigen Monaten z. T. erheblich wandelten. Den Akteuren aus Energiepolitik und -wirtschaft wurden so fehlerhafte Informationen zur Seite gestellt, die in der Folge einen nachhaltigen Ausbau regenerativer Technologien blockierten. Es wurde übersehen, dass die den Ausbau von EE einschließenden Rahmenbedingungen technologischer, wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Art starken Schwankungen unterliegen. Wenn diese Dynamik nicht miteinbezogen wird, ist jegliche Potenzialanalyse als obsolet zu bezeichnen.

Diese Feststellungen leiten unmittelbar zu der Fragestellung über, was von einem derart komplexen, raumbezogenen Planungsprozess beim Ausbau von EE – wie er im Rahmen der vorliegenden Arbeit vorgestellt wurde – zu erwarten ist. Um hierüber Erkenntnisse zu erlangen, muss der Blick nochmals auf die gegenwärtigen Planungsprozesse gerichtet werden.

Prognosen und Szenarien zur Entwicklung von EE werden oftmals losgelöst von der Ressource Raum erstellt und liefern so den Protagonisten der Energiewende ein unscharfes Bild von der Realität. Beispielhaft stehen hierfür die Bemühungen von NITSCH (2007 & 2008), der im Auftrag des BMU Leitszenarien für den Ausbau von EE in Deutschland erstellte. NITSCH (2007, S. 30ff.) ging in seiner Studie davon aus, dass der Leistungszuwachs von 860 MWp im Jahr 2005 den vorläufigen Höhepunkt in den Ausbaubemühungen der PV-Branche markierte und bis 2018 mit einem leichten Rückgang

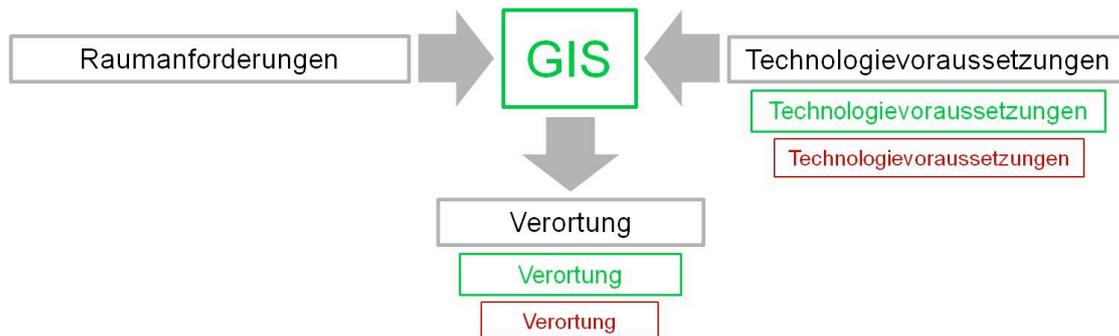
in der Ausbauaktivität zu rechnen ist. Bereits ein Jahr später korrigierte er seine Annahmen drastisch (2008, S. 73ff.), indem behauptet wurde, dass sich die Neuinstallation zwischen 2008 und 2010 bei jährlich 1.200 MW stabilisieren und in den darauffolgenden Jahren um den Betrag von 1.000 MWp schwanken werde. Entgegen den Vermutungen erhöhte sich jedoch die jährliche Neuinstallation zwischen 2007 und 2009 sukzessive von 1.271 MWp, über 1.809 MWp bis hin zu 3.806 MWp (vgl. BSW 2010a). Im Jahr 2010 konnte sogar ein Zubau von 7.400 MWp erzielt werden (vgl. PV-MAGAZIN 2011)! Damit weichen die Berechnungen von NITSCH (2007, S. 33 & 2008, S. 77) allein für das Jahr 2009 um etwa 3.150 MWp bzw. 2.600 MWp von der Realität ab. Die Diskrepanz der Studie zur aktuellen Dynamik in der PV-Branche ist eklatant. Die Studie – bei der es sich nicht zuletzt um eine vom BMU in Auftrag gegebene Leitstudie handelt – schätzt damit den Ausbau von EE vollkommen falsch ein.

Die oben beschriebene Diskrepanz zwischen den von NITSCH (2007 & 2008) erstellten Prognosen und der realen Entwicklung ist wesentlich darauf zurückzuführen, dass die Entwicklung der Modulpreise falsch eingeschätzt wurde. Im 2. Quartal des Jahres 2006 lag der durchschnittliche Endkundenpreis (Netto-Systempreis) für fertig installierte Aufdachanlagen noch bei 5.000 €/kWp. In den folgenden Jahren fielen die Preise rapide auf bis zu 3.135 €/kWp im 4. Quartal des Jahres 2009 ab. Zu Beginn des Jahres 2010 wurde sogar die 3.000 €-Marke unterschritten (vgl. BSW 2010). Derzeit liegt der Endkundenpreis nur noch zwischen etwa 1.200 und 1.700 €/kWp (vgl. RECHNER PHOTOVOLTAIK 2011). Der Grund für diesen Preisverfall liegt u. a. in den Auswirkungen der Finanzkrise des Jahres 2008, denn sie führte zu einem Überangebot an PV-Modulen und damit zu einem Käufermarkt (vgl. PV-MAGAZIN 2009a; PV-MAGAZIN 2009b & BECKER 2009).

Es ist verständlich, dass es mit den Mitteln der Wissenschaft nicht möglich ist, einen derart einschneidenden, plötzlich auftretenden Strukturwandel absehen zu können. Dennoch muss sich das BMU die Frage gefallen lassen, warum es finanzielle Mittel für die Erarbeitung von Wachstumsprognosen zur Verfügung stellt, wenn bereits ein Jahr nach Veröffentlichung der Studien diese, aufgrund von Veränderungen wirtschaftlicher, gesellschaftlicher und technologischer Art, überholt sind. Bereits VESTER (1990, S. 22) erkannte die Problematik von Wachstumsprognosen und Programmen, die sich auf Hochrechnungen und Extrapolationen stützen. Er stellte die Behauptung auf, dass im

Rahmen von komplexen Systemen – wie es die Energiebranche zweifelsohne darstellt – jeder Versuch, Ereignisse auf das »Wann«, »Wo« und »Wieviel« festzulegen, zum Scheitern verurteilt ist. Der korrekte wissenschaftliche Ansatz bestehe vielmehr darin zu versuchen, Einsicht in das Systemverhalten zu erlangen – d. h. zu verstehen, welche Verhaltensmuster ein System auszeichnen.

Abbildung 89: Dynamik beim Ausbau von EE



Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

In die Zukunft zu blicken bedeutet nach der Auffassung von VESTER (1990) folglich nicht, Entwicklungen auf exakte Daten festzulegen. Vielmehr gehe es darum, die Robustheit und Flexibilität eines Systems gegenüber Schwankungen technologischer, wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Art zu erfassen. Hat man hierüber an Erkenntnis gewonnen, so sei es in einem weiteren Schritt möglich, das System anpassungs- und damit überlebensfähiger zu gestalten. VESTER (1990) spricht in diesem Zusammenhang von »**kybernetischer Reife**«.

Speziell beim derzeit beginnenden forcierten Ausbau von EE in Bayern gilt es, aus den bisherigen Planungsfehlern zu lernen. Bei Betrachtung der Formulierungen des Windenergieerlasses ist jedoch deutlich zu erkennen, dass die Gefahr eines unüberlegten Ausbaus keineswegs gebannt ist. Die Landesregierung plant im Rahmen der am 24. Mai 2011 verabschiedeten Initiative »Energie innovativ« den Zubau von 1.500 WKA bis zum Jahr 2021 (STMUG 2011, S. 4). Dies würde einem zusätzlichen Ausbau von etwa 20 WKA je Landkreis entsprechen (KARG 2012, S. 15). Die Vorbehalte in der Bevölkerung gegenüber einer derart starken Technisierung von Kulturlandschaft sind sehr groß, nicht zuletzt gibt es in Bayern bis dato erst 560 WKA (SEBALD 2012, S. 50). Es besteht die Frage, weshalb sich die Regierung sowohl quantitativ auf den Wert 1.500, als auch qualitativ auf die Technologie WKA festgelegt hat und nur für diese Technologieroute

eine Gebietskulisse erstellt hat (vgl. STMUG 2012). Diese Vorgehensweise ist nicht zwingend erforderlich, ja sie ist sogar als höchst problematisch anzusehen, da hierdurch der Spielraum für alternative Konzepte massiv eingeengt wird. Ein derart technologieorientierter Ansatz sollte einem raumorientierten Vorgehen weichen. Dabei stünde zunächst die zu erfüllende Zielmarke einer zusätzlichen jährlichen regenerativen Stromproduktion von 25 TWh bis zum Jahr 2021 im Vordergrund. Je Landkreis müssten folglich etwa 0,35 TWh Strom pro Jahr zusätzlich produziert werden. Ob dieser Zubau nun größtenteils durch Windenergie, Solarenergie, Biomasse oder Geothermie gedeckt wird, ist unwesentlich. Die Technologiewahl sollte sich an den räumlichen Gegebenheiten sowie an den mittel- bis langfristigen technologischen Voraussetzungen orientieren. Im Folgenden wird grob skizziert, wie ein etwaiges Beratungsinstrument aussehen und funktionieren könnte:

- **Schritt 1:** Restriktionsflächen festlegen

- **Schritt 2:** jeweils Visualisierung/ Berechnung des max. regionalen Potenzials der einzelnen Energierouten auf restriktionsfreien Flächen; jedoch: Ausschöpfung der jeweiligen Potenziale in den einzelnen Teilräumen ist variabel, hängt vom gegenwärtigen Verhältnis zwischen Raumanforderungen und Technologievoraussetzungen ab

- **Schritt 3:** Festlegung der Zielmarke auf regionaler Ebene (Eingabemaske); z. B. Planungsregion 18 (Südostbayern): 1,75 TWh bzw. 5 Ldk. mit je 0,35 TWh bzw. 125 Gemeinden mit je 0,014 TWh (räumliche Ebene benutzerdefiniert)

- **Schritt 4:** Regionalisierung/ Definition von Raumtypen (vorgegeben oder benutzerdefiniert)

- **Schritt 5:** Bestimmung der Raumanforderungen (vorgegeben oder benutzerdefiniert)

- **Schritt 6:** Eingabe der Technologievoraussetzungen (Eingabemaske)

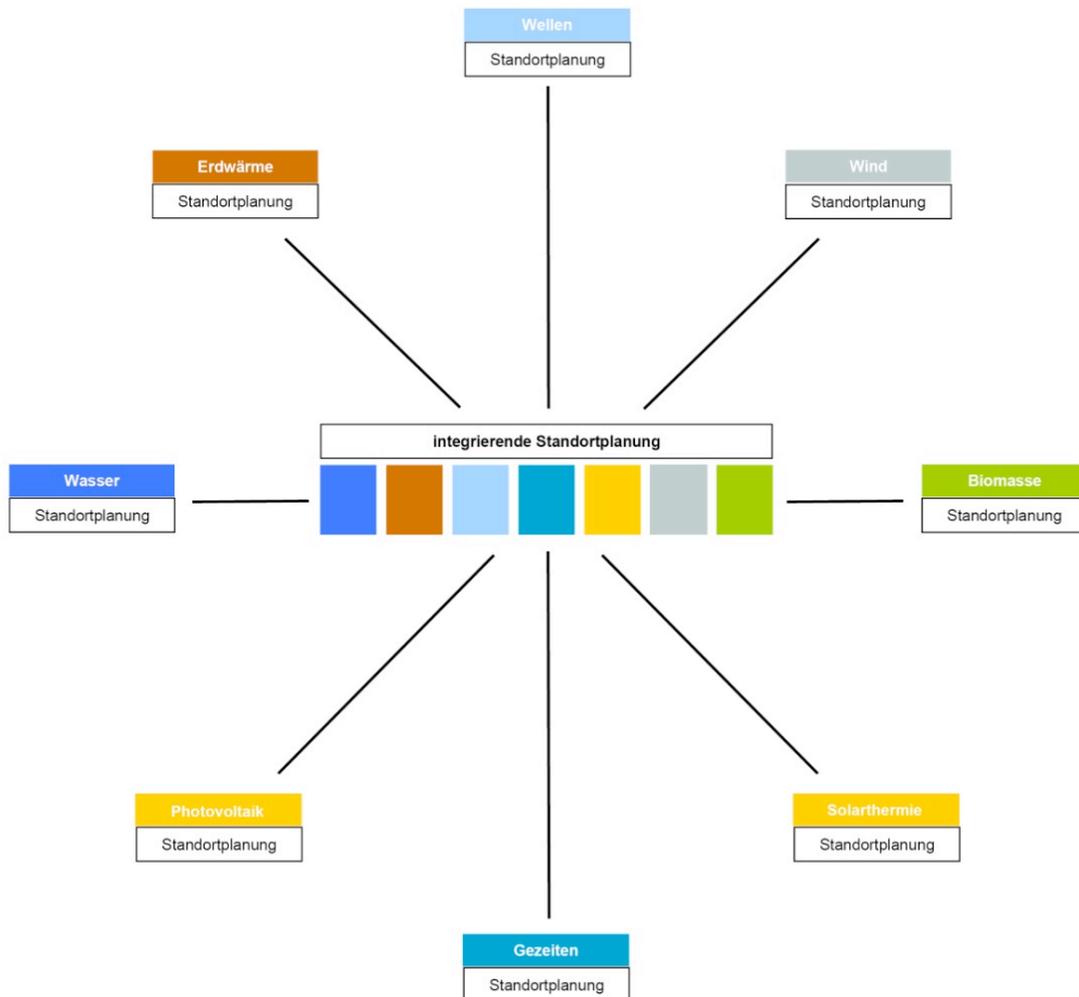
- **Schritt 7:** raumverträglichste Technologie dominiert Ausschöpfung der Potenziale; 1,75 TWh werden auf Teilräume verteilt; optional: raumverträglichste Technologie erfüllt je Teilraum das Ziel ganz; optional: raumverträglichste Technologie erfüllt je Teilraum das Ziel nur teilweise – zweitbeste/ drittbeste Technologie wirkt ergänzend (jedoch prozentual geringerer Anteil – Definition durch Anwender); optional: Möglichkeit der räumlichen Konzentration, wenn eine Technologie in einem Teilraum einen Großteil der regionalen Zielmarke erfüllen kann – andere Teilräume können freigehalten bzw. Beiträge verringert werden (Energiestützpunkte); Einbeziehen von Repowering
- **Schritt 8:** Erfassung der räumlichen Dynamik durch Variation der Technologievoraussetzungen; alternative Standortmuster werden berechnet
- **Schritt 9:** Aufbereitung der Ergebnisse
- **Schritt 10:** Beratung

Ziel der geographischen Energieforschung muss es folglich sein, räumliche Potenziale von EE und damit die räumliche Verteilung dezentraler Technologien an mögliche Entwicklungspfade in Technologie, Wirtschaft und Gesellschaft zu knüpfen. Das zu entwickelnde Modell muss die Veränderung einer Variablen (z. B. Gestehungskosten, Flächeneffizienz, Umweltfreundlichkeit) erfassen und das sich daraus neu ergebende Raum- bzw. Standortmuster der EE berechnen können. Dadurch kann die Ressource Raum vor dem Hintergrund sich wandelnder Rahmenbedingungen stets optimal genutzt werden. Es ist zu vermuten, dass sich strukturelle Umbrüche in Technologie, Wirtschaft und Gesellschaft in divergierenden Standortmustern von EE widerspiegeln werden (vgl. Abb. 89). Entscheidend ist, dass die einzelnen Technologien als integrative Elemente einer koordinierten Standortplanung sowie einer gesamträumlichen Energiestrategie behandelt werden (vgl. Abb. 90).

Es besteht die Frage, unter welchen technologischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Voraussetzungen es tatsächlich zu einer derartigen räumlichen Dynamik kommen kann. Hierzu erscheint eine Modellierung als angebracht, die die Raumpotenziale von EE in Abhängigkeit von variierenden Rahmenbedingungen ermitteln hilft. Dadurch

lässt sich herausfinden, inwieweit die räumliche Verteilung von EE auf strukturelle Umbrüche reagiert.

Abbildung 90: Wesen einer integrierenden Standortplanung



Quelle: EIGENE DARSTELLUNG.

Um die Komplexität der Realität noch besser erfassen zu können, ist es notwendig, den im Rahmen der vorliegenden Arbeit vorgestellten Planungsansatz um weitere Merkmale (sowohl im Bereich der Raumanforderungen als auch bei den Technologievoraussetzungen) zu erweitern und von dem recht groben Bewertungsmuster (»gut«, »mittel« »schlecht«) zu einer feineren Abwägung zu kommen. Das im Rahmen der Arbeit herangezogene Bewertungsverfahren sollte in erster Linie verdeutlichen, dass eine nachhaltige Integration von regenerativen Technologien in den ländlichen Raum nicht allein von den gegebenen natürlichen Voraussetzungen bestimmt wird und damit als ein statischer Planungsprozess zu betrachten ist. Vielmehr hängt eine optimale räumliche Verteilung

dezentraler Anlagen vom spezifischen Charakter eines Teilraumes sowie von den sich schnell verändernden Voraussetzungen der Technologien ab. Daraus erwächst die Notwendigkeit, Standortplanung für EE als etwas Dynamisches zu begreifen und die zu Grunde liegenden Annahmen der Standortplanungsprozesse stets zu überprüfen sowie ggf. anzupassen. In einem weiteren Schritt ist es auch erforderlich, Faktoren in die Analyse mit einzubeziehen, die den Ausbau von EE indirekt beeinflussen, also quasi von außen auf das System der regenerativen Energien einwirken. Beispielhaft steht hierfür die Entwicklung des Ölpreises. Es wird davon ausgegangen, dass sich ein hoher Ölpreis v. a. positiv auf jene EE auswirkt, die bei der Erzeugung von Raumwärme maßgebend sind (EWI/ PROGNOS 2006, XXVI). In erster Linie ist hierbei an Biomasse, Erdwärme und Solarthermie zu denken. HENNICKE/ SUPERSBERGER (2005, S. 11) stellen hingegen die Behauptung auf, dass ein erfolgreicher Systemwechsel zu EE nicht zwangsläufig an steigende Energiepreise gekoppelt sein muss, sondern sich selbst dann vollziehen kann, wenn der Ölpreis langfristig niedrig bleibt. Dies verdeutlicht erneut die große Komplexität der Modellierung einer Energiewende und offenbart nicht zuletzt einen erheblichen Forschungsbedarf.

Letztlich ist es das Ziel, im Rahmen eines weiteren Forschungsprojektes eine entsprechende Software zu entwickeln, die es ermöglicht, die Bandbreite an Standortmustern von EE unmittelbar zu erfassen und Veränderungen in der Merkmalstruktur – sowohl bei Räumen als auch bei Technologien – räumlich darzustellen. Als Vision ist es vorstellbar, dass eine derartige Software von Unternehmen in Anspruch genommen wird, die damit die Wettbewerbsfähigkeit ihrer Technologie(n) bzw. Planungskonzepte ermitteln können. Auch ist es denkbar, dass Entscheidungsträger in der Politik, bspw. die regionalen Planungsverbände, mittels dieses Planungsinstrumentes Unterstützung erfahren und so den Kommunen beim Ausbau von EE beratend beistehen können. In jedem Fall wird es möglich sein, weiterführende wissenschaftliche Fragestellungen zur Standortplanung von EE zu verfolgen und zu diskutieren.

Die wesentlichen Erkenntnisse aus den Berechnungen von Raumpotenzialen können auch aufbereitet und der Gesetzgebung im Rahmen von Handlungsempfehlungen bereitgestellt werden. Den Politikern obliegt es, durch Gesetzesinitiativen, Förderprogramme, Reglementierungen, Steuererleichterungen und -erhöhungen, Quotensysteme, Meinungsbildung etc. die entscheidenden Maßnahmen auf dem Weg zur Energiewende

zu ergreifen. Das geplante Projekt dient dazu, eine Abkehr von einer allgemeinen Förderung von EE hin zu einer gezielten Förderung der nachhaltigsten Formen regenerativer Energieproduktion einzuleiten. Wichtig ist, dass sich dieses, auf nationaler Ebene angelegte Vorhaben, nahtlos in eine gesamteuropäische Energiestrategie einfügen lässt. Deutschland muss seiner Vorbildfunktion gegenüber den europäischen Nachbarn gerecht werden und als Inspiration im Hinblick auf einen gelungenen forcierten Ausbau von EE dienen. Dies bildet die Grundlage für eine Vernetzung und Abstimmung länderspezifischer Ausbaustrategien.

Literatur

- AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN [Hrsg.] (2009): Stromversorgung 2020 – Wege in eine moderne Energiewirtschaft. Ausbauprognose der Erneuerbare-Energien-Branche für den Stromsektor. http://www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/10_Renews_Spezial_EE-Branchenprognose_2020_Jan09_online.pdf, (03.03.2011).
- AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN (2010a): Importvermeidung. http://www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/Importvermeidung2008_01.pdf, (10.03.2010).
- AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN (2010b): Durchblick Erneuerbare Energien. <http://www.unendlich-viel-energie.de/de/panorama/50-gute-gruende.html>, (10.03.2010).
- AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN [Hrsg.] (2010c): Erneuerbare Energien 2020. Potenzialatlas Deutschland. Berlin.
- ALPHA VENTUS (2010): Der erste deutsche Offshore-Windpark. <http://www.alpha-ventus.de/>, (11.05.2010).
- AMOS J. (2010): EADS Astrium develops space power concept. In: BBC News, 19 January 2010, <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/8467472.stm>, (06.05.2011).
- ARBACH C. & KLAGGE B. (2010): Biogaserzeugung im Spannungsfeld zwischen Landwirtschaft und Energiewirtschaft: Wandel der Akteurs- und Wertschöpfungsstrukturen in Deutschland. In: FISCHER H., GRAAFEN R., KÖNIG D., OELMANN Y. [Hrsg.]: (=Koblenzer Geographisches Kolloquium, 32. Jahrgang – Energie als interdisziplinäres Forschungsfeld), S. 23-41.
- ARBEITSGEMEINSCHAFT ENERGIEBILANZEN (AGEB) (2011): Energieverbrauch in Deutschland – Quartalsberichte. <http://www.energiebilanzen.de/viewpage.php?idpage=118>, (25.11.2011).
- ARGE PV-MONITORING (2005): Photovoltaik-Freiflächenanlagen – Aktuelle Erfahrungen und Konfliktlinien. Gustav Stresemann-Institut, Bonn; 21.-22.3.2005 – Workshop-Dokumentation.
- ARGE PV-MONITORING (2007): Leitfaden zur Berücksichtigung von Umweltbelangen bei der Planung von PV-Freiflächenanlagen. Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Hannover.
- ARNOLD A. (1997): Allgemeine Agrargeographie. Gotha & Stuttgart.
- ARZT I. (2008): Im Norden nichts Neues. In: Neue Energie – Das Magazin für Erneuerbare Energien (4), S. 18-19.

ATTESLANDER P. (2000): Methoden der empirischen Sozialforschung. 9., neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Berlin.

AUGENSTEIN E., WROBEL G., KUPERJANS I., PLESSOW M. (2004): TOP-Energy – Computational Support for Energy System Engineering Processes. Paper No. 189, 1st International Conference “From Scientific Computing to Computational Engineering” (IC-SCCE), 8-10 September, Athens.

AUGENSTEIN E., HERBERGS S., KUPERJANS I. & LUCAS K. (2005): Simulation of Industrial Energy Supply Systems with Integrated Cost Optimization. In: Proceedings of 18th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems. S. 627-634.

BÄHR J. (2010): Bevölkerungsgeographie – Verteilung und Dynamik der Bevölkerung in globaler, nationaler und regionaler Sicht. 5. Aufl., Stuttgart.

BÄHR J., JÜRGENS U. (2009): Stadtgeographie II – Regionale Stadtgeographie. In: DUTTMANN R., GLAWION R., POPP H., SCHNEIDER-SLIWA R. [Hrsg.]: (=Das Geographische Seminar). Braunschweig.

BARD J. (2010): Windkraft, Wasserkraft und Meeresenergie – Technik mit sozialer, ökologischer und ökonomischer Akzeptanz (2006).
www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Themenhefte/th2006/th2006_02_03.pdf, (06.05.2010).

BATHELT H., GLÜCKLER J. (2002): Wirtschaftsgeographie – Ökonomische Beziehungen in räumlicher Perspektive. Stuttgart.

BAUGESETZBUCH (BauGB) (2011a): Bauen im Außenbereich § 35.
<http://dejure.org/gesetze/BauGB/35.html>, (01.03.2011).

BAUGESETZBUCH (BauGB) (2011b): Zulässigkeit von Vorhaben innerhalb der im Zusammenhang bebauten Ortsteile § 34. <http://dejure.org/gesetze/BauGB/34.html>, (01.03.2011).

BAYERISCHE FUTTERSAAATBAU GMBH (BSV) (2012): Szarvasi 1 – ungarisches Energiegras. <http://bsv-saaten.de/landwirtschaft/biogas/szarvasi/>, (03.02.2012).

BAYERISCHES FACHINFORMATIONSSYSTEM NATURSCHUTZ (FIS-NATUR) (2011): Online-Viewer (FIN-Web). <http://gisportal-um-welt2.bayern.de/finweb/risgen?template=StdTemplate&preframe=1&wndw=800&wndh=600&askbio=on>, (21.09.2011).

BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM DES INNERN (StMI) (2009): Freiflächen-Photovoltaikanlagen.
http://www.innenministerium.bayern.de/imperia/md/content/stmi/bauen/rechtundtechnikundbauplanung/_baurecht/rundschreiben/photovoltaik.pdf, (15.12.2010).

- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND GESUNDHEIT (STMUG) (2011):
Hinweise zur Planung und Genehmigung von Windkraftanlagen (WKA).
http://www.stmug.bayern.de/umwelt/oekoenergie/windenergie/doc/windenergie_erss.pdf, (09.02.2012).
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND GESUNDHEIT (STMUG) (2012):
Gebietskulisse Windkraft.
<http://www.stmug.bayern.de/umwelt/oekoenergie/windenergie/gebietskulisse/index.htm>, (16.02.2012).
- BECKER D. (2009): Jetzt herrscht wieder Modulknappheit – Nachfrage nach PV-Modulen zieht wieder an. In: Erneuerbare Energien – Das unabhängige Monatsmagazin für die Zukunftsenergien (10), S. 46-49.
- BEIN H.-W. (2006): Strom frisch vom Bauern. In: Süddeutsche Zeitung, Nr. 94, S. 25.
- BENSMANN M. (2008a): Milch oder Ethanol? In: Neue Energie – Das Magazin für Erneuerbare Energien (10), S. 60-65.
- BENSMANN M. (2008b): Saver Biosprit. In: Neue Energie – Das Magazin für Erneuerbare Energien (10), S. 66-69.
- BERKEL M. (2011): Sonne einkellern. In: Technology Review – Das M.I.T.-Magazin für Innovation (6), S. 74-75.
- BETTZIECHE J. (2008): Wie teuer Knappheit ist. In: Neue Energie – Das Magazin für Erneuerbare Energien (8), S. 76-83.
- BIBERACHER M. (2007): Fusion in the global energy system – GIS and TIMES. Madrid.
- BILL R. (1999): Grundlagen der Geo-Informationssysteme, Band 1, Hardware, Software und Daten. 4. Aufl., Heidelberg.
- BIOENERGIEDORF JÜHNDE (2010): Eigenständige Stromerzeugung und Wärmenutzung auf der Basis von Biomasse.
http://www.bioenergiesdorf.de/con/cms/front_content.php?idcat=13, (14.09.2010).
- BIOGASRAT [Hrsg.] (2011): Biogas und Landwirtschaft. Berlin.
- BODE S., KONDZIELLA H., BRUCKNER T. (2010): Laufzeitverlängerung von Kernkraftwerken: Handlungsoptionen zum Vorteilsausgleich. In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen (9), S. 35-37.
- BOEING N. (2011): Mehr Watt, bitte! In: Technology Review – Das M.I.T.-Magazin für Innovation (1), Spezialheft Energie, S. 30-31.

- BOHLE H.-G. (2004): Vom Wasserkonflikt zur Wasserkrise – Der Niedergang eines südindischen Deltas. In: Geographische Rundschau (12), S. 40-45.
- BÖKEMANN D. (1982): Theorie der Raumplanung. Regionalwissenschaftliche Grundlagen für die Stadt-, Regional- und Landesplanung. München.
- BOSCH S., PEYKE G. (2008): Energiepflanzenbau und konkurrierende Flächennutzungen – neue Strukturen in der Landwirtschaft und ihre Optimierung mittels GIS. In: STROBL J., BLASCHKE T., GRIESEBNER G. [Hrsg.]: (=Angewandte Geoinformatik 2008 – Beiträge zum 20. AGIT-Symposium Salzburg), S. 450-455.
- BOSCH S., PEYKE G. (2009): Energiewende durch GIS. In: GIS.Business – Zeitschrift für Geoinformation (8), S. 44-46.
- BOSCH S., PEYKE G. (2010a): Raum und Erneuerbare Energien – Anforderungen eines regenerativen Energiesystems an die Standortplanung. In: Standort – Zeitschrift für Angewandte Geographie 34, (1), S. 11-19.
- BOSCH S., PEYKE G. (2010b): Nachhaltige Energieversorgung am Scheideweg – wachsende Ansprüche an GIS zur Korrektur von Fehlentwicklungen beim Ausbau von Erneuerbaren Energien. In: STROBL J., BLASCHKE T., GRIESEBNER G. [Hrsg.]: (=Angewandte Geoinformatik 2010 – Beiträge zum 22. AGIT-Symposium Salzburg), S. 924-929.
- BOSCH S., PEYKE G. (2011a): Erneuerbare Energien und GIS – Schlummernde Potenziale. In: Landmarcs – Geo Business News.
<http://www.landmarcs.de/index.php/de/component/content/article/60-artikel-201102/346-erneuerbare-energien-und-gis-schlummernde-potenziale>, (05.05.2011).
- BOSCH S., PEYKE G. (2011b): Gegenwind für die Erneuerbaren – Räumliche Neuorientierung der Wind-, Solar- und Bioenergie vor dem Hintergrund einer verringerten Akzeptanz sowie zunehmender Flächennutzungskonflikte im ländlichen Raum. In: Raumforschung und Raumordnung 69, (2), S. 105-118.
- BOSCH S., PEYKE G. (2011c): Erneuerbare Energien und Offshore-Standorte. Rückzug oder Zukunftsperspektive? In: Geographische Rundschau (4), S. 51-59.
- BOSCH S., PEYKE G. (2011d): Regionalplanerische Einstufung der Windenergie in Deutschland – Visualisierung konkurrierender Flächennutzungsansprüche an On- und Offshore-Standorten mittels GIS. In: STROBL J., BLASCHKE T., GRIESEBNER G. [Hrsg.]: (=Angewandte Geoinformatik 2010 – Beiträge zum 23. AGIT-Symposium Salzburg), S. 450-459.
- BOSCH S., PEYKE G. (2011e): Kein Raum für die Erneuerbaren? GIS hilft bei der Suche! In: GIS.Business – Zeitschrift für Geoinformation (5), 34-36.

- BOSCH S. (2007): Biogasanlagen in Deutschland auf der Basis von nachwachsenden Rohstoffen – eine GIS-gestützte Standortanalyse unter besonderer Berücksichtigung der natürlichen Standortfaktoren von Silomais. Regensburg. (unveröffentlicht)
- BOSCH S. (2008): Kulturlandschaften und Erneuerbare Energien – Auswirkungen auf Natur und Landschaft: Ökonomische Bedeutung und ökologische Probleme der Biogasgewinnung. In: VEREIN RIESER KULTURTAGE E. V. [Hrsg.]: Rieser Kulturtage – Eine Landschaft stellt sich vor. Dokumentation Band XVII. Nördlingen, S. 125-128.
- BOSCH S. (2010a): Sauberer Strom aus der Wüste – Der Ausbau von konzentrierenden solarthermischen Systemen zur Sicherung der Energie- und Wasserversorgung in der EUMENA-Region. In: FRIEDMANN A., HILPERT M., JACOBET J., KUNSTMANN H., PEYKE G., RELLER A., SCHNEIDER T., THIEME K., TIMPF S., WETZEL K.-F., WIECZOREK U. [Hrsg.]: (=Geographica Augustana, Bd. 8), Augsburg.
- BOSCH S. (2010b): Rieser Kulturlandschaft und Erneuerbare Energien. Energiepflanzenbau und Pflege der Kulturlandschaft – Zwischen Dichotomie und Synergie. In: VEREIN RIESER KULTURTAGE e. V. [Hrsg.]: (=Rieser Kulturtage – Eine Landschaft stellt sich vor. Dokumentation Band XVIII).
- BOSCH S. (2011): Energieplanung 2.0 – Neuorientierung in der Energiebranche. In: Landmarcs – Geo Business News (2), S. 1 u. 5.
- BRAND C., PÖHLMANN K. (2010): Konzentrationsplanung von Windkraftanlagen durch Flächennutzungsplan – Wo beginnt die Verhinderungsplanung? Zum Urteil des BVerwG v. 20.05.2010 – 4 C 7.09. In: Zeitschrift für Neues Energierecht (5), S. 476-479.
- BRAUNGART M. (2009): Das Kirschbaumprinzip. In: NATIONAL GEOGRAPHIC [Hrsg.]: Energie – Wege in die Zukunft. Collector's Edition (11), S. 6-8.
- BRENNER J. (2011): „Der Widerstand wird zunehmen“. In: Zeit Online, vom 17. Mai 2011. <http://www.zeit.de/wirtschaft/2011-05/erneuerbare-energien-protest>, (18.05.2011).
- BREUSTEDT G., HABERMANN H. (2010): Einfluss der Biogaserzeugung auf landwirtschaftliche Pachtpreise in Deutschland. Kiel.
- BRIESE D., HOEMSKE T. (2010): Kernkraftwerke: Der Markt für Service, Retrofit, Neu- und Rückbau in Europa bis 2030. In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen (9), S. 16-18.
- BROCKFELD H. (1997): Regionen im Wettbewerb unter dem Gesichtspunkt ihrer Standortqualität – dargestellt am Beispiel der Europäischen Union. München.
- BRÜCHER W. (1982): Industriegeographie. Braunschweig.

- BRÜCHER W. (2008): Erneuerbare Energien in der globalen Versorgung aus historisch-geographischer Perspektive. In: Geographische Rundschau (1), S. 4-12.
- BRÜCHER W. (2009): Energiegeographie – Wechselwirkungen zwischen Ressourcen, Raum und Politik. Berlin.
- BRUCKNER T., GROSCURTH H.-M., KÜMMEL R. (1997): Competition and synergy between energy technologies in municipal energy systems. In: Energy – The International Journal (22), S. 1005-1014.
- BRUCKNER T., MORRISON R., HANDLEY C., PATTERSON M. (2003): High-resolution modeling of energy-services supply systems using deeco: overview and application to policy development. In: Annals of Operations Research (121), S. 151-180.
- BRÜHNE T. (2010): Entwicklungslinien räumlicher Energieforschung. Zur strukturellen und theoretischen Einordnung eines wiederentdeckten Forschungsgegenstandes. In: FISCHER H., GRAAFEN R., KÖNIG D., OELMANN Y. [Hrsg.]: (=Koblenzer Geographisches Kolloquium, 32. Jahrgang – Energie als interdisziplinäres Forschungsfeld), S. 5-15.
- BULLIS K., STIELER W. (2011): Drei – Zwei – Eins – Fusion! In: Technology Review – Das M.I.T.-Magazin für Innovation (1), Spezialheft Energie, S. 64-67.
- BUNDESAMT FÜR SEESCHIFFFAHRT UND HYDROGRAPHIE (BSH): Genehmigung von Offshore Windenergieparks. <http://www.bsh.de/de/Meeresnutzung/Wirtschaft/Windparks/index.jsp>, (16.07.2010).
- BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ (BfS) [Hrsg.] (2007): Epidemiologische Studie zu Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken (KIKK-Studie). Salzgitter.
- BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (BGR) (2009): Energierohstoffe 2009 – Reserven, Ressourcen, Verfügbarkeit – Erdöl, Erdgas, Kohle, Kernbrennstoffe, Geothermische Energie. Hannover.
- BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ (BMJ) (2009): Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien. http://bundesrecht.juris.de/eeg_2009/index.html, (13.10.2010).
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (1997): Umweltpolitik – Agenda 21. Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung im Juni 1992 in Rio de Janeiro. Dokumente. Bonn.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (2004): Gesetz zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich – vom 21. Juli 2004. http://www.bgbl.de/Xaver/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&bk=Bundesanzeiger_BGBI&start=//*%5B@attr_id=%27bgbl104s1918.pdf%27%5D, (10.09.2010).

- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (2007a): Klimaagenda 2020: Der Umbau der Industriegesellschaft. Berlin.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (2007b): Regierungserklärung von Sigmar Gabriel, Klimaagenda 2020, am 26. April 2007. Berlin.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (2007c): Tiefe Geothermie in Deutschland. Berlin.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (2007d): Erfahrungsbericht zum Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG-Erfahrungsbericht). Berlin.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (2010): Bundestag beschließt Änderung des EEG. <http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/45993/main/>, (02.11.2010).
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG (BMVBS), BUNDESINSTITUT FÜR BAU-, STADT- UND RAUMFORSCHUNG (BBSR), BUNDESAMT FÜR BAUWESEN UND RAUMORDNUNG (BBR) [Hrsg.] (2009): Nutzung städtischer Freiflächen für erneuerbare Energien. Bonn.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND TECHNOLOGIE (BMW) (2010a): Das Energiekonzept der Bundesregierung. Grundsatzfragen der Energiepolitik – Regierungsdirektor Michael Schultz, Referat IIC1. http://www.lew-forum-schule.de/cms_ForumSchule_inter/downloads/Hochschultag_2010_Michael_Schultz.pdf, (04.10.2010).
- BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND TECHNOLOGIE (BMW) (2010b): Zulassungsverfahren für die Errichtung von PV-Anlagen in Deutschland. Berlin.
- BUNDESVERBAND DER ENERGIE- UND WASSERWIRTSCHAFT (BDEW) (2008): Kraftwerke und Erzeugung. http://www.bdew.de/bdew.nsf/id/DE_7RBL3C_Kraftwerke_u_Erzeugung?open, (06.05.2010).
- BUNDESVERBAND SOLARWIRTSCHAFT (BSW) (2010a): Statistische Zahlen der deutschen Solarstrombranche (Photovoltaik). http://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/content_files/Faktenblatt_PV_BSW_Sept.pdf, (17.09.2010).
- BUNDESVERBAND SOLARWIRTSCHAFT (BSW) (2010b): Solarstromförderung sinkt bis 1.1.2012 um bis zu 50 Prozentpunkte. http://www.solarwirtschaft.de/medienvetreter/pressemeldungen/meldung.html?tx_ttnews%5Bpointer%5D=2&tx_ttnews%5Btt_news%5D=13261&tx_ttnews%5BbackPid%5D=547&cHash=4337770ac4, (01.12.2010).

- BUNDESVERBAND WINDENERGIE (BWE) (2010a): Positionspapier des BWE Landesverbands Berlin-Brandenburg – Zum weiteren Ausbau der Windenergie.
http://www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/Laenderdokumente/berlin_brandenburg/BWE_Positionspapier_1007_Ausbau_Windenergie_in_BRB.pdf, (06.10.2010).
- BUNDESVERBAND WINDENERGIE (BWE) (2010b): Positionspapier des Bundesverbandes WindEnergie e.V. (BWE e.V.) zur Novelle des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes.
http://www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/Positionspapiere/BWE_Position_EEG-Novelle_20101015.pdf, 01.12.2010.
- CAPROS P., MANTZOS L., KOLOKOTSAS D., IOANNOU N., GEORGAKOPOULOS T., FILIPPOPOULITIS A., ANTONIOU Y. (1998): The PRIMES Energy System Model Reference Manual. Athens.
- CARLOWITZ H. C. (2009): Sylvicultura Oeconomica – Hausswirthliche Nachricht und Naturmäßige Anweisung zur Wilden Baum-Zucht. Reprint der zweiten Auflage von 1732. Kaltenengers.
- CASARETTO R. (2010): Über die “Vermaisung der Landschaft”. In: Biogas Journal (4), S. 54-56.
- CLASSEN T., KISTEMANN T. (2010): Das Konzept der Therapeutischen Landschaften. In: Geographische Rundschau (7-8), S. 40-46.
- CLEVELAND C. (2008): Shuman, Frank. In: ENCYCLOPEDIA OF EARTH. Published August 23, 2008. http://www.eoearth.org/article/Shuman,_Frank, (30.10.2010).
- COELHO S. T., GOLDEMBERG J., BRIGHENTI C. (2010): Renewable Energy Sources and Biofuels: The Case of Ethanol in Brazil. In: Geographische Rundschau – International Edition, Vol. 6 (4), S. 22-27.
- CONRAD C. (2002): Auswirkungen intensiver Bewässerungswirtschaft in Zentralasien. In: Petermanns Geographische Mitteilungen (146), S. 4-5.
- COY M., GEIPEL F. (2004): Staudämme in Brasilien – Energiegewinnung im Spannungsfeld von Wirtschaft und Gesellschaft. In: Geographische Rundschau (12), S. 28-35.
- DÄHN A. (2011): Die Megawatt-Bohrer. In: Technology Review – Das M.I.T.-Magazin für Innovation (1), Spezialheft Energie, S. 40-46.
- DALY H. E. (1992): From empty-world economics to full-world economics. In: GOODLAND R., DALY H. E., SERAFY S. [Hrsg.]: Population, Technology and Lifestyle: the Transition to Sustainability. S. 23-37.

- DALY H. E. (1995): Against free trade: neoclassical and steady-state perspectives. In: Evolutionary Economics. S. 313-326.
- DALY H. E. (1996): Beyond Growth: the Economics of Sustainable Development. Boston.
- DALY H. E. (1999): Wirtschaft jenseits von Wachstum – die Volkswirtschaftslehre nachhaltiger Entwicklung. Boston.
- DALY H. E. (2001): Unwirtschaftliches Wachstum und Globalisierung in einer vollen Welt. In: Natur und Kultur 2/2, S. 3-22.
- DALY H. E. (2004): The Steady-State Economy. In: WHEELER S. M., BEATLEY T. [Hrsg.]: (=The Sustainable Urban Development Reader), S. 47-52, New York.
- DANY C. (2011): Angst um Image und Förderung. In: Sonne, Wind & Wärme (3), S. 38-40.
- DE GRAAF D. (2011): Desertec ist zum Scheitern verurteilt. In: Süddeutsche Zeitung, Nr. 32, vom 09. Februar 2011, S. 39.
- DESERTEC FOUNDATION (2009): Red Paper – Das Desertec Konzept im Überblick. http://www.desertec.org/fileadmin/downloads/desertec-foundation_redpaper_3rd-edition_deutsch.pdf, (14.04.2010).
- DESERTEC INDUSTRIAL INITIATIVE (DII) (2011a): Bringing the Desertec Vision into reality <http://www.dii-eumena.com/>, (03.08.2011).
- DESERTEC INDUSTRIAL INITIATIVE (DII) (2011b): Answers on Dii and Desertec. <http://www.dii-eumena.com/dii-answers/dii-and-desertec.html>, (17.11.2011).
- DEUTSCHE ENERGIE-AGENTUR GmbH (DENA) (2008): Kurzanalyse der Kraftwerks- und Netzplanung in Deutschland bis 2020 (mit Ausblick auf 2030). Berlin.
- DEUTSCHE ENERGIE-AGENTUR (DENA) (2010): dena-Netzstudie II. Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung im Zeitraum 2015-2010 mit Ausblick 2025. Berlin.
- DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR SONNENENERGIE (DGS) (2010): Energy Map. Die Karte der Erneuerbaren Energien – Kreis Landsberg am Lech. <http://www.energymap.info/energieregionen/111/166/218.html>, (21.09.2011).
- DEUTSCHER BUNDESTAG (2000): Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG). Verabschiedet am 25.02.2000 und in Kraft getreten am 01.04.2000. Berlin.

- DEUTSCHES MAISKOMITEE (DMK) (2010): Silomaisanbaufläche in Deutschland im mehrjährigen Vergleich.
http://www.maiskomitee.de/web/public/Fakten.aspx/Statistik/Deutschland/Anbaufl%E4che_Silomais, (10.09.2010).
- DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT (DLR) (2007): Aqua-CSP – Concentrating Solar Power for Seawater Desalination. Stuttgart.
- DICKEN P. & LLOYD P. E. (1999): Standort und Raum – Theoretische Perspektiven in der Wirtschaftsgeographie. Stuttgart.
- DIE BUNDESREGIERUNG (2010): Gewinne für erneuerbare Energien abschöpfen.
<http://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2010/09/2010-09-10-vertrag-kernenergie.html>, (04.10.2010).
- DIE BUNDESREGIERUNG (2011): Ausstieg aus der Kernkraft bis 2022.
<http://www.bundesregierung.de/Content/DE/StatischeSeiten/Breg/Energiekonzept/05-kernenergie.html>, (14.10.2011).
- DIEDERICH H. (1979): Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. Stuttgart.
- DIEKMANN A. (2004): Empirische Sozialforschung. Grundlagen, Methoden, Anwendungen. 12. Auflage, Hamburg.
- DIE PRESSE (2010): IEA schönte angeblich Daten: Peak Oil bereits erreicht.
<http://diepresse.com/home/wirtschaft/international/520811/index.do?parentid=742674&showMask=1>, (15.03.2010).
- DITTRICH C. (2004): Widerstand gegen das Narmada-Staudammprojekt in Indien. In: Geographische Rundschau (12), S. 10-15.
- DIX A., SCHENK W. (2007): Historische Geographie. In: GEBHARDT H., GLASER R., RADTKE U., REUBER P. [Hrsg.]: Geographie – Physische Geographie und Humangeographie, S. 816-829, Heidelberg.
- DÖHLER H., HARTMANN S. (2010): Ohne Mais geht es nicht! In: Biogas Journal, Sonderheft Energiepflanzen, S. 40-42.
- DOHMEN F., HORNIG F. (2004): Die große Luftnummer. In: Der Spiegel (14), S. 80-97.
- DOOLEY J. J., DAHOWSKI R. T., DAVIDSON C. L., WISE M. A., GUPTA N., KIM S. H., MALONE E. L. (2006): Carbon Dioxide Capture and Geological Storage. A core Element of a Global Energy Technology Strategy to address Climate Change – A Technology Report from the second Phase of the Global Energy Technology Strategy Program. Columbus.

DÖRNER D. (1992): Die Logik des Mißlingens – Strategisches Denken in komplexen Situationen. Hamburg.

DOS SANTOS BERNARDES M. A. (2004): Technische, ökonomische und ökologische Analyse von Aufwindkraftwerken. Forschungsbericht Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), Stuttgart.

DOS SANTOS BERNARDES M. A., VOß A., WEINREBE G. (2004): Thermal and technical analysis of solar chimneys. In: Solar Energy, Vol. 75, (6), S. 511-524.

EINIG K., HEILMANN J., ZASPEL B. (2011): Wie viel Platz die Windkraft braucht. In: Neue Energie – Das Magazin für Erneuerbare Energien (8), S. 34-37.

EKINS P., MEYER B., SCHMIDT-BLEEK (2009): Reducing Resource Consumption – A Proposal for Global Resource and Environmental Policy. Osnabrück.

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE (EDF) (2009): Das Kernkraftwerk Fessenheim im Zeichen einer sicheren, wettbewerbsfähigen und CO₂-neutralen Stromproduktion im Herzen der Region Oberrhein. Presseerklärung: http://energies.edf.com/fessenheim-de/pdf/Fessenheim09_Pressespiegel.pdf, (11.03.2010).

ENDLICHER W., GERSTENGARBE F.-W. [Hrsg.] (2007): Der Klimawandel – Einblicke, Rückblicke und Ausblicke. Potsdam.

ENDURA KOMMUNAL (2010): Chancen für Kommunen – Wertschöpfung und Co. <http://www.endura-kommunal.de/chancen-fuer-kommunen/wertschoepfung-co.html>, (11.03.2010).

ENERCON GMBH (2011): E 126 – Spitzenperfektion. <http://www.enercon.de/de-de/66.htm>, (04.08.2011).

ENERGIEPORTAL (2009): CO₂-Emissionen erreichen 2008 den tiefsten Stand. www.das-energieportal.de/startseite/nachrichtendetails/datum/2009/03/31/eintrag/co2-emissionen-erreichen-2008-den-tiefstem-stand-seit-1990/, (04.11.2009).

ENERGIEWIRTSCHAFTLICHES INSTITUT AN DER UNIVERSITÄT ZU KÖLN (EWI), PROGNOSE AG (PROGNOS) (2006): Auswirkungen höherer Ölpreise auf Energieangebot und -nachfrage. Ölpreisvariante der Energiewirtschaftlichen Referenzprognose 2030. Köln, Basel.

ENTRUP N. L., KIVELITZ H. (2010): Plädoyer für die Ackerfutter- und Energiepflanzen-Leitkultur. In: Biogas Journal, Sonderheft Energiepflanzen, S. 36-39.

ERNEUERBARE-ENERGIEN-GESETZ (EEG) (2010): Technologie-Bonus. <http://www.buzer.de/gesetz/8423/a156976.htm>, (31.08.2010).

- EUPD RESEARCH (2008): The German Photovoltaic Market 2007/2008 – From Sales to Strategic Marketing. Bonn.
- EURACTIV (2010): Geopolitische Aspekte der EU-Energieversorgung. <http://www.euractiv.com/de/energie/geopolitische-aspekte-eu-energieversorgung/article-142798>, (11.03.2010).
- EUROPÄISCHES INSTITUT FÜR KLIMA UND ENERGIE (EIKE) (2010a): Rahmstorf vom PIK bestätigt: Anthropogenen Klimawandel gibt es nicht! <http://www.eike-klima-energie.eu/news-anzeige/rahmstorf-vom-pik-bestaetigt-anthropogenen-klimawandel-gibt-es-nicht/>, (03.11.2010).
- EUROPÄISCHES INSTITUT FÜR KLIMA UND ENERGIE (EIKE) (2010b): Immer wieder merkwürdige Probleme mit den IPCC Zahlen! Geschätzte Klimasensitivität deutlich zu hoch? <http://www.eike-klima-energie.eu/news-anzeige/immer-wieder-merkwuerdige-probleme-mit-den-ipcc-zahlen-geschaetzte-klimasensitivitaet-deutlich-zu-hoch/>, (03.11.2010).
- EUROPÄISCHES INSTITUT FÜR KLIMA UND ENERGIE (EIKE) (2010c): Vom Wert der Klimaprognosen: Nicht heiß genug, nicht kalt genug... <http://www.eike-klima-energie.eu/news-anzeige/vom-wert-der-klima-prognosen-nicht-heiss-genug-nicht-kalt-genug/>, (03.11.2010).
- EUROPÄISCHE UNION (EU) (2001): Richtlinie 2001/77/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. September 2001 zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt. Brüssel.
- EUROPÄISCHE UNION (EU) (2003): Richtlinie 2003/30/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Mai 2003 zur Förderung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor. Brüssel.
- EUROPÄISCHE UNION (EU) (2006): GRÜNBUCH – Eine europäische Strategie für nachhaltige, wettbewerbsfähige und sichere Energie. Brüssel.
- EUROPÄISCHE UNION (EU) (2008a): Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen. Brüssel.
- EUROPÄISCHE UNION (EU) (2008b): Begleitpapier zum Paket der Durchführungsmaßnahmen für die Ziele der EU in den Bereichen Klimawandel und erneuerbare Energie bis 2020. Brüssel.
- EUROPÄISCHE UNION (EU) (2009a): Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG. <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32009L0028:DE:NOT>, (03.09.2010).

- EUROPÄISCHE UNION (EU) (2009b): EmployRES – The impact of renewable energy policy on economic growth and employment in the European Union. Karlsruhe.
- EUROPEAN COMMISSION (EC) (1995): The PRIMES Project. Brüssel.
- EUROPEAN COMMISSION (EC) (1999): The Shared Analysis Project, Energy in Europe. Luxembourg.
- EUROPEAN COMMISSION (EC) (2003): European Energy and Transport Trends to 2030. Luxembourg.
- EUROPEAN PLATFORM AGAINST WINDFARMS (EPAW): Stopp dem unnützen, zerstörerischen Windenergieprogramm. <http://www.epaw.org/>, (03.05.2011).
- EUROPEAN WIND ENERGY ASSOCIATION (EWEA) [Hrsg.] (2009): TradeWind – Integrating Wind. Developing Europe's power market for the large-scale integration of wind power. Brüssel.
- EVANGELISCHE AKADEMIE BADEN [Hrsg.] (2001): Verlust der Stille – Ansätze zu einer akustischen Ökologie. Karlsruhe.
- FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (FNR) (2004): Handreichung – Biogasgewinnung und -nutzung. Gülzow.
- FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (FNR) (2007): Leitfaden Bioenergie – Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. Gülzow.
- FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (FNR) (2008): Wege zum Bioenergiedorf – Leitfaden. Gülzow.
- FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (FNR) (2011): Die Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum* L.) aus der Gattung *Silphium* aus der Familie der Asteraceae (Korbblütler). <http://www.energiepflanzen.info/pflanzen/portraits/durchwachsene-silphie.html>, (02.05.2011).
- FACHVERBAND BIOGAS [Hrsg.] (2005): Biogas – das Multitalent für die Energiewende. Freising.
- FACHVERBAND BIOGAS (2007): Stellungnahme zum EEG-Erfahrungsbericht. In: *Biogas Journal* (3), S. 12.
- FAHL U., BAUR J., ELLERSDORFER I., HERRMANN D., HOECK C., REMME U., SPECHT H., STEIDLE A., STUIBLE A., VOß A. (2000): *Energieverbrauchsprognose Bayern*. Stuttgart.

- FAHL U., REMME U., BLES L. M. (2002): Szenarienerstellung, Endbericht für die Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung“ des Deutschen Bundestages. Stuttgart.
- FAHL U., BLES L. M., VOß A., FRONDEL M., LÖSCHEL A., MENNEL T. (2010): Energieprognose 2009: Die Entwicklung der Energiemärkte bis 2030. In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen (9), S. 30-34.
- FASSL P. (2009): Landschaftsveränderungen durch großflächige Photovoltaikanlagen. In: BAYERISCHER LANDESVEREIN FÜR HEIMATPFLEGE e. V. [Hrsg.]: (=Schönere Heimat – Erbe und Auftrag), Jahrgang 98, (4), S. 229-232.
- FEHR E., GÄCHTER S. (1998): Reciprocity and Economics: The Economic Implications of Homo Reciprocanus. In: European Economic Review, Vol. 42, S. 845-859.
- FISCHER G., SCHRATTENHOLZER L. (2001): Global bioenergy potentials through 2050. In: Biomass & Bioenergy 20 (3), S. 151-159.
- FISHBONE L. G., ABILOCK H. (1981): MARKAL, a linear-programming model for energy systems analysis: technical description of the BNL version. In: International Journal of Energy Research (5), S. 353-375.
- FISHBONE L. G., GIESEN G., GOLDSTEIN G. A., HYMMEN H. A., STOCKS K. J., VOS H., WILDE D., ZÖLCHER R., BALZER C., ABILOCK H. (1983): User's guide for MARKAL – A Multiperiod, linear programming model for energy systems analysis (BNL/KFA Version 2.0). Brookhaven.
- FORSCHUNGSVERBUND ERNEUERBARE ENERGIE (FVEE) [Hrsg.]: Energiekonzept 2050 – Eine Vision für ein nachhaltiges Energiekonzept auf Basis von Energieeffizienz und 100 % erneuerbaren Energien. Berlin.
- FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH (FZJ), FORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE (FZK), MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR PLASMAPHYSIK (IPP) [Hrsg.] (2006): Kernfusion. Jülich.
- FRIENDS OF THE SUPERGRID (FOSG) (2010): European Supergrid. <http://www.friendsofthesupergrid.eu/>, (09.09.2010).
- FRITSCH U. R., DEHOUST G., JENSEIT W., HÜNEKE K., RAUSCH L., SCHÜLER D., WIEGMANN K., HEINZ A., HIEBEL M., ISING M., KABASCI S., UNGER C., THRÄN D., FRÖHLICH N., SCHOLWIN F., REINHARDT G., GÄRTNER S., PATYK A., BAUR F., BEMMANN U., GROß B., HEIB M., ZIEGLER C., FLAKE M., SCHMEHL M., SIMON S.-M. (2004). Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse. Berlin.
- FRITSCH M. (1990): Zur Bedeutung des kleinbetrieblichen Sektors für die Regionalpolitik. In: BERGER J., DOMEYER V., FUNDER M. [Hrsg.]: Kleinbetriebe im wirtschaftlichen Wandel. Reihe des Forschungsschwerpunkts Zukunft der Arbeit, Universität Bielefeld, 7, S. 241-268.

- FROITZHEIM U.-J. (2011): Kampf der Konzepte. In: *Technology Review – Das M.I.T.-Magazin für Innovation* (1), Spezialheft Energie, S. 8-13.
- GEBHARDT H., GLASER R., RADTKE U., REUBER P. [Hrsg.] (2007): *Geographie – Physische Geographie und Humangeographie*. Heidelberg.
- GEINITZ C. (2010): China will Kontrolle über Spezialrohstoffe. In: *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, vom 08. Juli 2010. <http://www.faz.net/artikel/C30770/seltene-erden-china-will-kontrolle-ueber-spezialrohstoffe-30282214.html>, (13.09.2011).
- GEITMANN S. (2010): *Erneuerbare Energien – Mit neuer Energie in die Zukunft*. Berlin.
- GERKING H. (1989): *Die Ermittlung flexibler Entscheidungselemente in der strategischen Langfristplanung in der Energiewirtschaft*. Stuttgart.
- GERLOFF J. U. (2008): Ölsande und Ölschiefer – Reserven des globalen Ölmarktes? In: *Geographische Rundschau* (1), S. 42-49.
- GESELLSCHAFT FÜR SOZIALFORSCHUNG UND STATISTISCHE ANALYSEN MBH (Forsa) (2009): *Umfrage zum Thema "Erneuerbare Energien" 2009*. http://www.unendlich-viel-energie.de/fileadmin/content/Presse/Ergebnisse_forsa09.pdf, (15.06.2010).
- GIESE E. (1997): Die ökologische Krise der Aralseeregion – Ursachen, Folgen, Lösungsansätze. In: *Geographische Rundschau* (5), S. 293-299.
- GILLE D. (2010): Startschuss: Millionen Watt wandern durch die Nordsee. In: *Erneuerbare Energien – Das unabhängige Monatsmagazin für die Zukunftsenergien* (6), S. 24-27.
- GOTTWALD T., HERRMANN M. (2010): Streitfall Konversionsfläche. In: *Erneuerbare Energien – Das unabhängige Monatsmagazin für die Zukunftsenergien* (9), S. 156-161.
- GÖTZ W. (2011): Rebellion der Romantiker. In: *Süddeutsche Zeitung*, Nr. 26, vom 02. Februar 2011, S. V2/ 2.
- GRANOVETTER M. (1985): Economic Action and Economic Structure: The Problem of Embeddedness. In: *American Journal of Sociology*, Vol. 91, S. 481-510.
- GRANOVETTER M. (1990): The Old and New Economic Sociology. A History and an Agenda. In: FRIEDLAND R., ROBERTSON A. F. [Hrsg.]: (=Beyond the Market Place: Rethinking Economy and Society), S. 89-112.
- GREER J. M. (2010): Barbarism and good brandy. In: POST CARBON INSTITUTE [Hrsg.]: *Energy Bulletin*. Published March 10, 2010. <http://www.energybulletin.net/51901>, (30.10.2010).

- GROSCURTH H.-M., BRUCKNER T., KÜMMEL R. (1995): Modeling of energy-services supply systems. In: Energy – The International Journal (20), S. 941-958.
- GROTELÜSCHEN F. (2011): Die Macht der Strömung. In: Technology Review – Das M.I.T.-Magazin für Innovation (1), Spezialheft Energie, S. 78-81.
- GUTSCHER H. (2007): Biotechnologie in gesellschaftlicher Deutung – Intuitionen, Emotionen, soziales Vertrauen und Wertvorstellungen im gesellschaftlichen Diskurs zur Biotechnologie. <http://www.forschungsportal.ch/unizh/p7213.htm>, (23.02.2011).
- HAAF W., FRIEDRICH K., MAYR G., SCHLAICH J. (1983): Solar Chimneys – Part I: Principle and Construction of the Pilot in Manzanares. In: Solar Energy (2), S. 3-20.
- HAAF W. (1984): Solar Chimneys – Part II: Preliminary Test Results from the Manzanares Pilot Plant. In: Solar Energy (2), S. 141-161.
- HAGGETT P. (2001): Geographie – Eine globale Synthese. Stuttgart.
- HASSE J. (1999): Bildstörung – Windenergie und Landschaftsästhetik. In: Wahrnehmungsgeographische Studien zur Regionalentwicklung. Oldenburg.
- HEINKEN S. (2009): Wege in die Zukunft – Ein Dorf geht voran. In: National Geographic [Hrsg.]: Energie – Wege in die Zukunft. Collector's Edition (11), S. 110-112.
- HENKEL G. (2004): Der Ländliche Raum – Gegenwart und Wandlungsprozesse seit dem 19. Jahrhundert in Deutschland. In: GEBHARDT H., BENDIX J., LÖFFLER E., REUBER P. [Hrsg.]: (= Studienbücher der Geographie). Berlin, Stuttgart.
- HENNICKE P., SUPERSBERGER N. (2005): Endlichkeit fossiler Energien, steigende Ölpreise und Übergang zum Zeitalter erneuerbarer Energien durch Kooperation. Vortrag im Rahmen des Kolloquiums „Weltmacht Energie. Herausforderung für Demokratie und Wohlstand“, 28.09.2005, Hannover.
- HENZGEN D., KLÄR A. (2010): Der lange Weg zur Nachhaltigkeit. In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen (9), S. 56-59.
- HERMINGHAUS H. (2009): CO₂-Emissionen vergleichen. www.co2-emissionen-vergleichen.de/Stromerzeugung/CO2-Vergleich-Stromerzeugung.html#CO2-Vergleich-Stromerzeugung, (19.11.2009).
- HEUER S. (2011): Strom aus der Schüssel. In: Technology Review – Das M.I.T.-Magazin für Innovation (1), Spezialheft Energie, S. 54-61.
- HEUP J., RENTZING S. (2011): Industriemotor Photovoltaik. In: Neue Energie – Das Magazin für Erneuerbare Energien (6), S. 42-45.

- HEUP J. (2011a): Keimzelle. In: Neue Energie – Das Magazin für Erneuerbare Energien (6), S. 48-52.
- HEUP J. (2011b): Solarstadel. In: Neue Energie – Das Magazin für Erneuerbare Energien (11), S. 58-61.
- HOOGWIJK M., FAAIJ A., VAN DEN BROEK R., BERNDES G., GIELEN D., TRUNKENBURG W. (2003): Exploration of the ranges of the global potential of biomass for energy. In: Biomass & Bioenergy 25, (2), S. 119-133.
- HORBELT A. (2008): Der volle Durchblick in Sachen Bioenergie. In: Biogas Journal (2), S. 16.
- HS ONLINEMARKETING GMBH (2012): Wirtschaftlichkeit von Photovoltaikanlagen – Kosten. <http://www.photovoltaik-information.de/static/5/Photovoltaikanlagen+Kosten.html>, (03.02.2012).
- IBRAHIM F. N. (1984): Der Hochstaudamm von Assuan: eine ökologische Katastrophe? In: Geographische Rundschau (36), S. 236-242.
- INGENIEURBÜRO FÜR NEUE ENERGIEN (IFNE) (2009): Nutzen durch erneuerbare Energien im Jahr 2008 – Vermiedene fossile Energieimporte und externe Kosten. Teltow.
- INSTITUT FÜR ANGEWANDTE ÖKOLOGIE (ÖKO-INSTITUT) [Hrsg.] (2005): Risiko Kernenergie. Es gibt Alternativen! Freiburg.
- INSTITUT FÜR SOLARE ENERGIEVERSORGUNGSTECHNIK (ISET) (2008): Das regenerative Kombikraftwerk. Kassel.
- INTERDISZIPLINÄRES ZENTRUM FÜR NACHHALTIGE ENTWICKLUNG (IZNE) (2007): Bioenergiedörfer – Dörfer mit Zukunft. Göttingen.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) (1999): International Energy Agency Energy Technology Systems Analysis Programme: Dealing with uncertainty together, Summary of Annex VI (1996-1998). Paris.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) (2002): International Energy Agency Energy Technology Systems Analysis Programme: Contribution to the Kyoto Protocol, Summary of Annex VII (1999-2002). Paris.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) (2005): World Energy Outlook 2005. Paris.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) (2006): World Energy Outlook 2006. Paris.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) (2007): World Energy Outlook 2007. Paris.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) (2008): World Energy Outlook 2008. Paris.

- INTERNATIONALES WIRTSCHAFTSFORUM REGENERATIVE ENERGIEN (IWR) (2000): Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) vom 25.02.2000. <http://www.iwr.de/re/iwr/info0005.html>, (10.09.2010).
- JACKSON S., SLEIGH A. (2001): The political economy and socio-economic impact of China's Three Gorges Dam. *Asian Studies Review* (25), S. 57-72.
- JANDEWERTH M. & DRESEN B. (2009): Identifikation der Einspeisepotenziale von Biogas in das Erdgasnetz durch Einsatz von GIS-Technologien. In: *Geoinformatik 2009 – Konferenzband*. 31. März – 2. April 2009, Osnabrück.
- JANDEWERTH M., DRESEN B., SCHUCK O. (2008a): Optimierte Standortanalyse von Biogasanlagen. Anbindung von Gasnetzen mit innovativem Webservice. In: *ESRI GEOINFORMATIK GMBH [Hrsg.]: arcaktuell. Organisation von Versorgungsnetzen*, S. 18-19.
- JANDEWERTH M., URBAN W., DRESEN B. (2008b): Geoinformationssysteme und Biogaseinspeisung – Einsatz von Geoinformationssystemen zur Analyse von Biomassepotenzialen für den Technologiepfad Biogaseinspeisung. In: *emw – Zeitschrift für Energie, Markt, Wettbewerb* (5), S. 20-23.
- JANZING B. (2008): Strom nach Bedarf. In: *Neue Energie – Das Magazin für Erneuerbare Energien* (8), S. 60-62.
- JANZING B. (2011a): Heiss auf Ökowärme. In: *Technology Review – Das M.I.T.-Magazin für Innovation* (1), Spezialheft Energie, S. 94-95.
- JANZING B. (2011b): Windgas für jedermann. In: *Neue Energie – Das Magazin für Erneuerbare Energien* (7), S. 35-37.
- JANZING B. (2011c): Unterirdisches Renommee. In: *Neue Energie – Das Magazin für Erneuerbare Energien* (10), S. 64-67.
- JENSEN D., BENSMANN M. (2008): Böser Biokraftstoff? In: *Neue Energie – Das Magazin für Erneuerbare Energien* (5), S. 20-22.
- JENSEN D. (2008): Wettrennen der Konzepte. In: *Neue Energie – Das Magazin für Erneuerbare Energien* (8), S. 54-58.
- JENSSEN T. (2010): Einsatz der Bioenergie in Abhängigkeit von der Raum- und Siedlungsstruktur – Wärmetechnologien zwischen technischer Machbarkeit, ökonomischer Tragfähigkeit, ökologischer Wirksamkeit und sozialer Akzeptanz. Wiesbaden.
- JÜRGENS U. (2004): Cahora Bassa – Vergangenheit und Zukunft eines Wassergroßprojektes im Südlichen Afrika. In: *Geographische Rundschau* (12), S. 36-38.

- JURISTISCHER INFORMATIONSDIENST (2010): Baugesetzbuch – § 35 Bauen im Außenbereich. <http://dejure.org/gesetze/BauGB/35.html>, (Zugriff am 02.11.2010).
- KALLMÜNZER B. (2006): Photovoltaische Freiflächenanlagen – energiewirtschaftliche und planungsrechtliche Rahmenbedingungen und GIS-gestützte Standortsuche am Beispiel der Gemeinde Kirchweidach, Landkreis Altötting. In: SCHMUDE J., KLEIN K. [Hrsg.]: (=Arbeitsmaterialien Wirtschaftsgeographie Regensburg, Bd. 14). Regensburg.
- KALTSCHMITT M., STREICHER W., WIESE A. [Hrsg.] (2006): Erneuerbare Energien – Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. 4. Aufl., Berlin.
- KAMPWERTH K. (2010): Massiver Widerstand – Bürgerprotest verhindert Biogasanlage. In: Süddeutsche Zeitung, vom 17.06.2010. <http://www.sueddeutsche.de/muenchen/ebersberg/politik/massiver-widerstand-buergerprotest-verhindert-biogasanlage-1.960679>, (12.10.2010).
- KANNING H., BUHR N., STEINKRAUS K. (2009): Erneuerbare Energien – Räumliche Dimensionen, neue Akteurslandschaften und planerische (Mit)Gestaltungspotenziale am Beispiel des Biogaspfades. In: Raumforschung und Raumordnung 67, (2), S. 142-156.
- KAPFENBERGER-POCK A. (2010): Grazer Solardachkataster – GIS-gestützte Standortanalyse für Solaranlagen. In: STROBL J., BLASCHKE T., GRIESEBNER G. [Hrsg.]: (=Angewandte Geoinformatik 2010 – Beiträge zum 22. AGIT-Symposium Salzburg), S. 504-513.
- KARG J. (2012): Wo in Bayern aus Wind Energie werden könnte. In: Augsburger Allgemeine Zeitung, Nr. 33, vom 09.02.2012, S. 15.
- KARL F. (2006): Erneuerbare Energien als Gegenstand von Festlegungen in Raumordnungsplänen. In: Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Arbeitsmaterialien 319. Hannover.
- KELLY B. (2007a). Comparison of Wet and Dry Rankine Cycle Heat Rejection. Nexant, Inc. A Bechtel-Affiliated Company. San Francisco.
- KELLY B. (2007b). Southwest Desert Site Developments 250 MWe Parabolic Trough Solar Power Plant Wet, Dry and Hybrid Heat Rejection Studies. San Francisco.
- KING L., HARTMANN H., GEMMER M., BECKER S. (2004): Der Drei-Schluchten-Staudamm am Yangtze – Ein Großprojekt und seine Bedeutung für den Hochwasserschutz. In: Petermanns Geographische Mitteilungen (148), S. 26-33.
- KIRSCHBAUM G. (1982): Die Entstehung neuer Unternehmen im regionalen Kontext – Theoretische Analysen und empirische Untersuchungen zur Gründungsproblematik am Beispiel Nordrhein-Westfalens von 1973-1979. Köln.

- KLAGGE B., BROCKE T. (2010): Erneuerbare Energien als Chance für die wirtschaftliche Entwicklung strukturschwacher Räume? Eine Untersuchung am Beispiel von zwei Pionierregionen. Thesenpapier im Rahmen der Wissenschaftlichen Plenarsitzung der Akademie für Raumforschung und Landesplanung, am 3. und 4. Juni 2010, „Neue Energien – neue Chancen und Konflikte für Städte und Regionen“. Erfurt.
- KLANDT H. (1984): Aktivität und Erfolg des Unternehmensgründers. Eine empirische Analyse unter Einbeziehung des mikrosozialen Umfeldes. Bergisch Gladbach.
- KNAB E. M. (2011): Heimatpfleger mahnt: „Rettet die Kamine“. In: Augsburgener Allgemeine, vom 03. Mai 2011, <http://www.augsburger-allgemeine.de/augsburg/Heimatpfleger-mahnt-Rettet-die-Kamine-id14938196.html>, (03.05.2011).
- KNIES J. (2010): Windkraftanlagen in Schottland – Möglichkeiten von Sichtbarkeitsanalysen. In: STROBL J., BLASCHKE T., GRIESEBNER G. [Hrsg.]: (= Angewandte Geoinformatik 2010 – Beiträge zum 22. AGIT-Symposium Salzburg), S. 514-522.
- KOMPETENZNETZWERK DEZENTRALE ENERGIETECHNOLOGIEN (DEENET) (2010) [Hrsg.]: Regionale Erfolgsbeispiele auf dem Weg zu 100% EE – Sammelband zur Posterausstellung „100%-EE-Meile“. Kassel.
- KOOB M., MARTIN N., JÜCHTERN L., SPREIER D., GROSSKOPF A., GEDIK S., SICK T., RAA´FAT L., KALUZA A. (2010): Atlantropa. http://www.cad.architektur.tu-darmstadt.de/atlantropa/projekt/projekt_start.html, (28.06.2010).
- KOOP D. (2006): Photovoltaik verspiegelt Landschaft. In: Solarthemen. <http://www.solarthemen.de/?p=516>, (17.02.2011).
- KÖNIG A. (2009): Ganzheitliche Analyse und Bewertung konkurrierender energetischer Nutzungspfade für Biomasse im Energiesystem Deutschland bis 2030. Stuttgart.
- KRAUS N. (2010): Bonusregelungen bei Biogasanlagen – Kleinanlagen profitieren. In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen (9), S. 26-27.
- KREUTZMANN H. (2004): Staudammprojekte in der Entwicklungspraxis: Kontroversen und Konsensfindung. In: Geographische Rundschau (12), S. 4-9.
- LANDRATSAMT LANDSBERG AM LECH (2011): Städte und Gemeinden. <http://www.lra-ll.de/landkreis/gemeinden/VerlinkungIntranet.php?navid=34>, (20.09.2011).
- LEIDORF K. (2010): Luftbilddokumentation. http://www.leidorf.de/index.php?option=com_frontpage&Itemid=1, (05.06.2010).
- LESSNER A. (2009): Die Kraft des Meeres. In: Erneuerbare Energien – Das unabhängige Monatsmagazin für die Zukunftsenergien (11), S. 78-80.

- LESSNER A. (2010a): CSP vor neuem Schub. In: Erneuerbare Energien – Das unabhängige Monatsmagazin für die Zukunftsenergien (2), S. 52-55.
- LESSNER A. (2010b): Wie ein Korken im Wasser – Entwicklung von schwimmenden Offshore-Fundamenten steht am Anfang. In: Erneuerbare Energien – Das unabhängige Monatsmagazin für die Zukunftsenergien (2), S. 18-21.
- LESSNER A. (2010c): Widerstand formiert sich. In: Erneuerbare Energien – Das unabhängige Monatsmagazin für die Zukunftsenergien (4), S. 76-78.
- LEXIKON DER NACHHALTIGKEIT (2010): Hans Carl von Carlowitz 1713.
http://www.nachhaltigkeit.info/artikel/hans_carl_von_carlowitz_1713_1393.htm,
 (02.09.2010).
- LIENAU C. (2000): Die Siedlungen des ländlichen Raumes. In: GLAWION R., LESER H., POPP H., ROTHER K. [Hrsg.]: (=Das Geographische Seminar), 4. überarbeitete Aufl. Braunschweig.
- LINDENBERGER D. (2010): Kernenergie – Politik und Marktmechanismen.
http://www.ewi.uni-koeln.de/fileadmin/user/Veroeff/2009_Lindenberger_n_ergie.pdf, (01.09.2010).
- LLOYD P. E. & MASON C. M. (1983): New Firm Formation in the UK. In: Social Science Research Council (SSRC) Newsletter (49), S. 23-24.
- LÖFKEN J.-O. (2011a): Vorreiter Afrika. In: Technology Review – Das M.I.T.-Magazin für Innovation (1), Spezialheft Energie, S. 62-63.
- LÖFKEN J.-O. (2011b): Afrika entdeckt die Sonne. In: Technology Review – Das M.I.T.-Magazin für Innovation (6), S. 26-32.
- LOVINS A. (2009): Wege in die Zukunft – Fragen an Amory Lovins, Pionier des Energiesparens. In: NATIONAL GEOGRAPHIC [Hrsg.]: Energie – Wege in die Zukunft. Collector's Edition (11), S. 110-112.
- MAIER J., PAESLER R., RUPPERT K., SCHAFFER F. (1977): Sozialgeographie. In: [Hrsg.]: (= Das Geographische Seminar). Braunschweig.
- MAY H. (2009a): Siemens zur Sonne. In: Neue Energie – Das Magazin für Erneuerbare Energien (11), S. 90-92.
- MAY H. (2009b): Die richtigen Knoten bilden. In: Neue Energie – Das Magazin für Erneuerbare Energien (3), S. 30-35.
- MAY N. (2005): Ökobilanz eines Solarstromtransfers von Nordafrika nach Europa. Braunschweig.

- http://www.dlr.de/tt/Portaldata/41/Resources/dokumente/institut/system/publications/Oekobilanz_eines_Solarstromtransfers.pdf, (10.09.2010).
- MCGRAIL B. P., SCHAEF H. T., HO A. M., CHIEN Y. J., DOOLEY J. J., DAVIDSON C. L. (2006): Potential for carbon dioxide sequestration in flood basalts. In: *Journal of Geophysical Research*. VOL. 111, B12201, doi: 10.1029/2005JB004169.
- MCKIBBEN B. (2009): Energie: Die Herausforderung. In: *National Geographic* [Hrsg.]: *Energie – Wege in die Zukunft*. Collector's Edition (11), S. 30-33.
- MEADOWS D., RANDERS J., MEADOWS D. (2006): *Grenzen des Wachstums – Das 30-Jahre-Update*. Signal zum Kurswechsel. 3. Aufl., Vermont.
- MENDL L., LAMPART W., LAMPART A. (2010): Keine Bio-Gasanlage an diesem Standort!! www.biogasanlage-markt-schwaben.de, (05.07.2010).
- MERKLI C. (2010): Windenergie: Das Problem der seltenen Erden. In: PATTHEY R., WEISS H., MERKLI C. [Hrsg.]: (=Windkraftnutzung in der Schweiz – Kritische Betrachtung einer faszinierenden Technologie), vom 05. April 2010. <http://www.windland.ch/wordpress/2010/04/05/das-problem-der-seltenen-erden/>, (13.09.2011).
- MESSNER S., STRUBEGGER M. (1995): User's Guide for MESSAGE III, WP-95-69, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg.
- MESSNER S., STRUBEGGER M. (1996): Energy Policy Evaluation for Cities – Proceedings of the International Conference on Energy and Environment (ICEE). In: CHEN Z., VEZIROGLU T. N., REAY A. [Hrsg.]: (=Energy and Environment), S. 22-29, New York.
- MILL J.-S. (1994): *Principles of Political Economy*. Oxford.
- MOU M., CAI W. (1998): Resettlement in the Xin'an River Power Station Project. In: DAI Q. [Hrsg.]: *The River Dragon Has Come*. S. 104-123, London.
- MÜLLER B. (2011a): Kraftwerk zum Wohnen. In: *Technology Review – Das M.I.T.-Magazin für Innovation* (1), Spezialheft Energie, S. 96-99.
- MÜLLER B. (2011b): Verflixt und zugepflastert. In: *Technology Review – Das M.I.T.-Magazin für Innovation* (6), S. 62-67.
- MÜLLER U. (2008): Wüsten-Türme. In: *Neue Energie – Das Magazin für Erneuerbare Energien* (12), S. 98-101.
- MUSIOL F., OTTMÜLLER M., NIEDER T. (2010): Zielerreichung 2020: Zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. In: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* (9), S. 8-11.

- NAKICENOVIC N., RIAHI K. (2002): An assessment of technological change across selected energy scenarios. Laxenburg.
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA) (1978): Satellite Power System (SPS) Concept Development and Evaluation Program Plan. Washington D. C..
- NATURSCHUTZBUND DEUTSCHLAND (NABU) (2010): Zehn-Punkte-Papier Biogas: Grundsätze für eine naturverträgliche Produktion. <http://niedersachsen.nabu.de/imperia/md/content/niedersachsen/resolutionen/7.pdf>, (14.05.2010).
- NITSCH, J., KREWITT W., NAST M., VIEBAHN P., GÄRTNER S., PEHNT M., REINHARDT G., SCHMIDT R., UIHLEIN A., SCHEUERLEN K., BARTHEL C., FISCHEDICK M., MERTEN F. (2004). Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland. Stuttgart, Heidelberg, Wuppertal.
- NITSCH J. (2007): Leitstudie 2007: Ausbaustrategie Erneuerbare Energien – Aktualisierung und Neubewertung bis zu den Jahren 2020 und 2030 mit Ausblick bis 2050. Stuttgart.
- NITSCH J. (2008): Leitstudie 2008 – Weiterentwicklung der Ausbaustrategie Erneuerbare Energien vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas. Stuttgart.
- NITSCH J., PREGGER T., SCHOLZ Y., NAEGLER T., STERNER M., GERHARDT N., v. OEHSEN A., PAPE C., SAINT-DRENAN Y.-M., WENZEL B. (2010): Leitstudie 2010 – Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. Stuttgart.
- NOHL W (2001): Ästhetisches Erlebnis von Windkraftanlagen in der Landschaft. In: Naturschutz und Landschaftsplanung, Bd. 33, (12), S. 365-372.
- NOHL W. (2010): Landschaftsästhetische Auswirkungen von Windkraftanlagen. In: BAYERISCHER LANDESVEREIN FÜR HEIMATPFLEGE e. V. [Hrsg.]: (= Schöner Heimat – Erbe und Auftrag), Jahrgang 99, (1), S. 3-12
- NORDHAUS W., TOBIN J. (1972): Is Growth obsolete? In: Economic Growth. National Bureau of Economic Research. New York.
- NORD STREAM (2011): Nord Stream AG befüllt Pipeline schrittweise mit technischem Gas. http://media.nord-stream.com/media/news/press_releases/de/2011/09/nord-stream-ag-befuellt-pipeline-schrittweise-mit-technischem-gas_20110906_1.pdf, (14.10.2011).
- NÜRNBERGER K. (2007): Warum die Erde Fieber bekommen hat. In: Hamburger Abendblatt. 19. Februar 2007.

<http://www.abendblatt.de/politik/europa/article845409/Warum-die-Erde-Fieber-bekommen-hat.html>, (29.10.2010).

- O'BRIAN M., BRINGEZU S., SCHÜTZ H. (2010): Global Biomass Use and the Environmental Impacts of Biofuels. In: Geographische Rundschau – International Edition, Vol. 6 (4), S. 4-9.
- ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD) (2001): OECD Science, Technology and Industry Scoreboard – Towards a knowledge-based economy. Paris.
- OWENS S. E. (1990): Land use planning for energy efficiency. In: CULLINGWORTH B. [Hrsg.]. S. 53-98.
- OZLEM B. (2008): Unschuldiger Prügelknabe. In: Biogas Journal (1), S. 24-26.
- PADUCH M. (2007): Emissionen minimieren. In: Biogas Journal (1), S. 22-25.
- PASCHEN H., OERTEL D., GRÜN WALD R. (2003): Möglichkeiten geothermischer Stromerzeugung in Deutschland. Arbeitsbericht Nr. 84 Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag.
- PECCEI A. (1977): The Human Quality. New York.
- PECCEI A. (1982): One Hundred Pages for the Future: Reflections of the President of the Club of Rome. New York.
- PELLMEYER J. (2008): Acht vor zwölf! In: Biogas Journal (4), S. 3.
- PETERS J., GRAUMANN U. (2005): Methodik zur Ableitung schützenswerter Kulturlandschaftsräume in Brandenburg. Teilprojekt zu Kap.4: Bosch & Partner, Prof. Dr. J. Peters, IE, Bohl & Coll. (2005): Flächenbedarfe und kulturlandschaftliche Auswirkungen regenerativer Energien am Beispiel der Region Uckermark-Barnim“ im Auftrag des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung, Forschungsprogramm Aufbau Ost.
- PETERS J. (2008): Erneuerbare Energien und Kulturlandschaft – Folgen und Handlungsempfehlungen aus Sicht der Raumordnung. Expertentagung am 09.12.2008.
- PETERS J. (2010): Landschaft als Energieressource – Biomasseproduktion und die Auswirkungen auf die Kulturlandschaft. Fachtagung „Raumplanung und die steigende Nutzung von Bioenergie, am 28. September 2010 Wetzlar. <http://www.na-hessen.de/downloads/10n102biomassekulturlandschaft.pdf>, (13.12.2010).
- PETERS J., TORKLER F., HEMPP S., HAUSWIRTH M. (2009): Ist das Landschaftsbild „berechenbar“? – Entwicklung einer GIS-gestützten Landschaftsbildanalyse für die Re-

- gion Uckermark-Barnim als Grundlage für die Ausweisung von Windeignungsgebieten. In: Naturschutz und Landschaftsplanung, Bd. 41 (1), S. 15-20.
- PETERS W., AHMELS P., REHFELDT K., KLINSKI S., GÜNNEWIG D., WACHTER T., NAGEL D. (2009): Abschätzung der Ausbaupotenziale der Windenergie an Infrastrukturachsen und Entwicklung von Kriterien der Zulässigkeit. Band I: Langfassung. Berlin.
- PEYKE G., BOSCH S. (2010): Von A bis Z – Erneuerbare Energien. Augsburg.
- PEYKE G., BOSCH S., BRANDHUBER B. (2011): Von A bis Z – Erneuerbare Energien. Augsburg.
- PHOTOVOLTAIK-MAGAZIN (PV-MAGAZIN) (2009a): Modulpreise werden weiter sinken. http://www.photovoltaik.eu/nachrichten/details/beitrag/modulpreise-werden-weiter-sinken_100001144/, (17.09.2010).
- PHOTOVOLTAIK-MAGAZIN (PV-MAGAZIN) (2009b): Modulpreise stark in Bewegung. http://www.photovoltaik.eu/nachrichten/details/beitrag/modulpreise-stark-in-bewegung_100001150/, (17.09.2010).
- PHOTOVOLTAIK-MAGAZIN (PV-MAGAZIN) (2011): Photovoltaik-Zubau bei 7400 Megawatt im Jahr 2010. http://www.photovoltaik.eu/nachrichten/details/beitrag/photovoltaik-zubau-bei-7400-megawatt-im-jahr-2010_100004846/, (03.02.2012).
- PLATA A. (2008): Optimale Standorte von Biogasanlagen – Geographische Informationssysteme als entscheidungsunterstützende Instrumente im Bereich Bioenergie. In: Standort – Zeitschrift für Angewandte Geographie (32), S. 141-146.
- POMAROLI G. (o. J.): Die Raumverträglichkeitsprüfung. Ein Instrument gewinnt an Bedeutung. http://www.raumordnung-noe.at/uploads/magazin_raum_und_ordnung/1999/4/499_Pom.pdf, (05.12.2011).
- POMREHN W. (2011): Energie für die Dorfkasse. In: Technology Review – Das M.I.T.-Magazin für Innovation (1), Spezialheft Energie, S. 50-53.
- POPPINGA O. (2006): Bilanz der gemeinsamen Agrarpolitik in der Europäischen Union. In: Geographische Rundschau (12), S. 20-27.
- PRED A. R. (1967): Behavior and Location: Foundations for a Geographic and Dynamic Location Theory: Part 1. Lund.
- PRICE WATERHOUSE COOPERS (PWC) (2010): 100 % renewable electricity – A roadmap to 2050 for Europe and North Africa. Norwich.
- PRÖLL M. (2008): Windkraft im Winter: Zum Thema Eiswurf. http://oekoecenter.bewag.at/index.php?id=2795&tx_t3blog_pi1%5BblogList%5D%5

BshowUid%5D=593&tx_t3blog_pi1%5BblogList%5D%5Byear%5D=2008&tx_t3blog_pi1%5BblogList%5D%5Bmonth%5D=12&tx_t3blog_pi1%5BblogList%5D%5Bday%5D=19&cHash=5b39573f2344208e281c1334c1622666, (28.02.2011).

QUASCHNING V. (2009): Regenerative Energiesysteme. München.

QUASCHNING V. (2010): Plataforma Solar de Almeria (Fotoserie). <http://www.volker-quaschning.de/fotos/psa/index.php>, (20.07.2010).

RAI K., SCHMIDT-VOGT D. (2004): Wasserkraft in Nepal – Zukunft von Staudammprojekten nach der Arun-3-Debatte. In: Geographische Rundschau (12), S. 16-20.

RAUCH T. (2009): Entwicklungspolitik – Theorien, Strategien, Instrumente. In: DUTTMANN R., GLAWION R., POPP H., SCHNEIDER-SLIWA R. [Hrsg.]: (=Das Geographische Seminar). Braunschweig.

RECHNER PHOTOVOLTAIK (2011): Preisentwicklung bis 2012. <http://www.rechner-photovoltaik.de/photovoltaik-rechner-preisentwicklung-2012>, (03.02.2012).

REDAKTION SOLARTHEMEN (2011): Solarbundesliga – Solarsport für alle! <http://www.solarbundesliga.de/?content=solarbundesliga>, (04.05.2011).

REICHART T. (1999): Bausteine der Wirtschaftsgeographie. Bern, Stuttgart, Wien.

RELLER A. (2011): Materials critical to the energy industry – An introduction. Augsburg.

REMME U., GOLDSTEIN G. A., SCHELLMANN U., SCHLENZING C. (2002): MESAP/TIMES – Advanced Decision Support for Energy and Environmental Planning. In: Operations Research Proceedings 2001 – Selected Papers of the International Conference on Operation Research, Duisburg, S. 59-66.

REMME U. (2006): Zukünftige Rolle erneuerbarer Energien in Deutschland: Sensitivitätsanalysen mit einem linearen Optimierungsmodell. Stuttgart.

REMPEL H. (2008): Globale Verfügbarkeit nicht-erneuerbarer Energierohstoffe. In: Geographische Rundschau (1), S. 22-31.

RENTZING S. (2011a): Stille Treiber. In: Neue Energie – Das Magazin für Erneuerbare Energien (6), S. 54-57.

RENTZING S. (2011b): Im Schatten der Photovoltaik. In: Neue Energie – Das Magazin für Erneuerbare Energien (10), S. 48-51.

RENTZING S. (2011c): Quasi-Mono. In: Neue Energie – Das Magazin für Erneuerbare Energien (10), S. 52-55.

- RICHTER C., DERSCH J., STEINMANN W.-D. (2011): Wassersparende Kühlung solarthermischer Kraftwerke. http://www.dlr.de/sf/Portaldata/73/Resources/dokumente/Soko/soko2009/Poster/Wassersparende_Kuehlung_SolarthermKW.pdf, (17.11.2011).
- RIEKE S. (2011): Windstrom wird in Methan gespeichert. In: *Biogas Journal* (1), S. 89-93.
- RIST L., LEVANG P. (2010): "I want to change my fate now!" – The Role of Oil Palm in Indonesia's Rural Development. In: *Geographische Rundschau – International Edition*, Vol. 6 (4), S. 10-15.
- ROGERS H. (2007): Current Thinking. In: *The New York Times*. Published June 3, 2007. <http://www.nytimes.com/2007/06/03/magazine/03wwln-essay-t.html>, (30.10.2010).
- RÖHLING I. (2007): Bayern an der Spitze. In: *Biogas Journal* (1), S. 22-25.
- RUBNER J. (2011): Wüstenprojekt in Gefahr. In: *Süddeutsche Zeitung*, Nr. 27, vom 03. Februar 2011, S. 19.
- SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN (SRU) (2011): Wege zur 100 % erneuerbaren Stromversorgung – Sondergutachten. Berlin.
- SCHAMP E. W. (1983): Grundansätze der zeitgenössischen Wirtschaftsgeographie. In: *Geographische Rundschau* (35), S. 74-80.
- SCHARDINGER I. (2008): GIS-gestützte Standortevaluierung für Biogasanlagen im Bundesland Tirol. In: STROBL J., BLASCHKE T., GRIESEBNER G. [Hrsg.]: (=Angewandte Geoinformatik 2008 – Beiträge zum 20. AGIT-Symposium Salzburg), S. 491-500.
- SCHARDINGER I., BOTZNEHART F., HAMACHER T., BIBERACHER M. (2010): Ansätze einer räumlichen Optimierung regionaler Energiesysteme. In: STROBL J., BLASCHKE T., GRIESEBNER G. [Hrsg.]: (=Angewandte Geoinformatik 2008 – Beiträge zum 22. AGIT-Symposium Salzburg), S. 948-953.
- SCHÄTZL L. (2001): *Wirtschaftsgeographie 1: Theorie*. 8. Aufl., Paderborn.
- SCHEIDLER A. (2010): Verunstaltung des Landschaftsbildes durch Windkraftanlagen. In: *Natur und Recht* (32), S. 525-530.
- SCHEIDT M., JUNG T., MALINOWSKI P. (2004): Integrated Power Station Operation Optimization – BoFiT an Vattenfall Europe Case Study. Beitrag zur Konferenz: The European Electricity Market, Lodz.
- SCHLAICH BERGERMANN UND PARTNER (SBP) (2010): Solarenergie – Aufwindkraftwerke. <http://www.sbp.de/de/fla/mittig.html>, (08.09.2010).

- SCHLAICH J., BERGERMANN R., SCHIEL W., WEINREBE G. (2003): Design of Commercial Solar Tower Systems. Proceedings of ISEC 2003, March 15-18, Hawaii.
- SCHLAICH J., SCHIEL W., FRIEDRICH K., SCHWARZ G., WEHOWSKY P., MEINECKE W., KIERA M. (1990): Abschlußbericht Aufwindkraftwerk – Übertragbarkeit der Ergebnisse von Manzanares auf größere Anlagen. BMFT-Förderkennzeichen 0324249, Stuttgart.
- SCHLAICH J., SCHIEL W. (2001): Solar Chimneys – Encyclopedia of Physical Science and Technology, 3rd Edition, Academic Press, London.
- SCHMIDT-VOGT D. (2004): Staudämme am Mekong. In: Geographische Rundschau (12), S. 22-27.
- SCHMUDE J. (1994): Geförderte Unternehmensgründungen in Baden-Württemberg: Eine Analyse der regionalen Unterschiede des Existenzgründungsgeschehens am Beispiel des Eigenkapitalhilfe-Programms (1979 bis 1989). Stuttgart.
- SCHRÖDTER W., KURAS M. (2011): Auswirkungen des EEG 2010 auf die Planung von Flächen für Photovoltaikanlagen. In: Zeitschrift für Neues Energierecht, 15, (2), S. 144-151.
- SCHUMPETER J. A. (1961): Konjunkturzyklen: Eine theoretische, historische und statistische Analyse des kapitalistischen Prozesses, Bd. 1. Göttingen.
- SCHÜSSLER F. (2008): Die Haubergswirtschaft – Potenziale und Risiken eines traditionellen forstlichen Betriebssystems auf den Energiemärkten des 21. Jahrhunderts. In: Geographische Rundschau (1), S. 66-73.
- SCHÜTTE A. (2010): Energiepflanzen gewinnen an Bedeutung. In: Biogas Journal, Sonderheft Energiepflanzen, S. 6-8.
- SEBALD C. (2012): Wo die Brise weht – Umweltministerium legt Karte mit möglichen Standorten von Windrädern vor. In: Süddeutsche Zeitung, Nr. 27, vom 02.02.2012, S. 50.
- SEEBREGTS A. J., GOLDSTEIN G. A., SMEKENS K. E. (2002): Energy/environmental modeling with the MARKAL family of models. In: CHAMONI P., LEISTEN R., MARTIN A., MINNEMANN J., STADTLER H. [Hrsg.]: (=Operations Research Proceedings 2001 – Selected Papers of the International Conference on Operations Research), Duisburg, S. 75-82.
- SEKRETARIAT DER UN-KLIMARAHMENKONVENTION (UNFCCC) [Hrsg.] (2002): Das Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen. Bonn.
- SIMON A. (2010): Wer erhält Vorfahrt? In: Erneuerbare Energien – Das unabhängige Monatsmagazin für die Zukunftsenergien (9), S. 22-30.

- SIMON S.-M. (2007): Szenarien nachhaltiger Bioenergiepotenziale bis 2030 – Modellierung für Deutschland, Polen, Tschechien und Ungarn. Weihenstephan.
- SMITH D. M. (1971): Industrial Location: An Economic Geographical Analysis. New York.
- SOLARKOMMUNE KÖNIGSFELD (2011): Solar-/Energiespar-Kommune. <http://www.koenigsfeld.de/ceasy/modules/cms/main.php5?cPageId=794>, (04.05.2011).
- SÖRGEL H. (1948): Atlantropa. Wesenszüge eines Projektes. Stuttgart.
- SPITZER H. (1995): Einführung in die räumliche Planung. Stuttgart.
- SPONSEL W. (2009): Jede Region hat ihre Stärken – Warum das Allgäu keine weiteren Windräder braucht. Arbeitsgruppe Landschaftsschutz Buchenberg, Buchenberg.
- STARICK A., KLÖCKNER K., MÖLLER I., GAASCH N., MÜLLER K. (2011): Entscheidungshilfen für eine nachhaltige räumliche Entwicklung der Bioenergiebereitstellung – Methoden und ihre instrumentelle Anwendung. In: Raumforschung und Raumordnung (69), S. 367-382.
- STEINEL K. (1997): Atlantropa. Frankfurt a. Main.
- STEINSIEK P.-M. (1999): Nachhaltigkeit auf Zeit – Waldschutz im Westharz vor 1800. Göttingen.
- STERNER M., SAINT-DRENAN Y.-M., v. OEHSEN A., GERHARDT N., BOFINGER S., ROHRIG K. (2009): Dynamische Simulation der Stromversorgung in Deutschland nach dem Ausbauszenario der Erneuerbaren-Energien-Branche. Abschlussbericht im Auftrag des Bundesverbandes Erneuerbare Energie e. V. (BEE). Kassel.
- STIELER W., WALD M.-L. (2011): Sanfter Brüter. In: Technology Review – Das M.I.T.-Magazin für Innovation (1), Spezialheft Energie, S. 72-76.
- STÖBER G. (2004): Sadd el-Ali – Paradigma des Scheiterns? Die Assuan-Staudämme im Schulbuchdiskurs. In: Geographische Rundschau (12), S. 46-53.
- STOCK G., MERTSCH R. (1997): Betriebsoptimierung mit BoFiT am Beispiel eines Fernwärmeverbundnetzes. In: Euroheat & Power Fernwärme international (26), S. 565-572.
- STOCK U. (1994): Verspargelung? Nein danke! In: Die Zeit (60), vom 05.08.1994.
- TAGESSCHAU.DE (ARD) (2010): „Desertec war ein Hype“. <http://www.tagesschau.de/wirtschaft/desertec116.html>, (06.09.2010).

- TÄNZLER D., LUHMANN H.-J., SUPERSBERGER N., FISCHEDICK M., MAAS A., CARIUS A. (2007): Die sicherheitspolitische Bedeutung erneuerbarer Energien. Berlin.
- THEENS K. (1949) Afrika + Europa = Atlantropa. Bielefeld.
- THIERBACH D. (2006): Die zweite Ernte. In: Süddeutsche Zeitung, Nr. 63, S. 32.
- TSCHIRSCHKE M. (2008): Peak Oil ist da – Das Ende der billigen Energie ist erreicht. In: Erneuerbare Energien – Das unabhängige Monatsmagazin für die Zukunftsenergien (8), S. 64-65.
- TU-DARMSTADT (2010): Atlantropa. <http://www.cad.architektur.tu-darmstadt.de/atlantropa/startseite.html>, (04.09.2010).
- UCHATIUS W. (2000): Der Mensch, kein Egoist. In: Die Zeit, Nr. 23, 31.05.2000, S. 31.
- UMWELTBUNDESAMT (UBA) [Hrsg.] (2007a): Verfahren zur CO₂-Abscheidung und –speicherung. Dessau-Roßlau.
- UMWELTBUNDESAMT (UBA) [Hrsg.] (2007b): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen 2007. Nationaler Inventarbericht Zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990-2005. Dessau.
- UMWELTBUNDESAMT (UBA) [Hrsg.] (2008): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen 2008. Nationaler Inventarbericht Zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990-2006. Dessau.
- UMWELTBUNDESAMT (UBA) [Hrsg.] (2009): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen 2009. Nationaler Inventarbericht Zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990-2007. Dessau.
- UNITED NATIONS (UN) (1945): Charter of the United Nations and Statute of the International Court of Justice. San Francisco.
- UNITED NATIONS (UN) (1972): Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment. Stockholm.
- UNITED NATIONS (UN) (1987): Report of the World Commission on Environment and Development – Our Common Future. Genf.
- UNITED NATIONS (UN) (1992a): Report of the United Nations Conference on Environment and Development. Rio de Janeiro.
- UNITED NATIONS (UN) (1992b): United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). New York.

- URBAN W. (2007): Elimination of Technical, Legal and Economic Restraints for the Feed-in of Biogenous Gases into the Gas Network with the Aim of Reducing Climate Relevant Emissions by Means of Developing and Applying a Georeferenced Database – Strategy Development for the Political and Techno-economic Realization. In: BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (BMBF) [Hrsg.]: (=klima-zwei – Research for Climate Protection from Climate Impacts). Berlin.
- URBAN W., JANDEWERTH M., DRESEN B. (2007a): Biogaseinspeisung in das Erdgasnetz: Aufbau und Anwendung eines Geoinformationssystems zur Analyse regionaler Biogaspotenziale und zur Standortfindung für die Biogaseinspeisung. In: OSTBAYERISCHES TECHNOLOGIE-TRANSFER-INSTITUT E. V., REGENSBURG [Hrsg.]: (=16. Symposium Bioenergie – Festbrennstoffe, Flüssigkraftstoffe, Biogas). Kloster Banz.
- URBAN W., JANDEWERTH M., DRESEN B. (2007b): Klimaretter Biogas? In: DVGW energie/wasser-praxis (11), S. 10-14.
- VALLENTIN D., VIEHBAHN P. (2009): Ökonomische Chancen für die deutsche Industrie resultierend aus einer weltweiten Verbreitung von CSP (Concentrated Solar Power) – Technologien. Wuppertal.
- VAN DER VOORT E. (1985): Energy supply modeling package EFOM 12C MARK I. Vol. II (user's guide) EUR 8896 EN, Vol III EUR 8896 EN (CEC).
- VERIVOX (2005): Studie: Vogelschlag durch Windräder unbedeutend. <http://www.verivox.de/nachrichten/studie-vogelschlag-durch-windraeder-unbedeutend-8781.aspx>, (28.02.2011).
- VERIVOX (2008a): Gastransporte durch die Ukraine. <http://www.verivox.de/nachrichten/gastransporte-durch-die-ukraine-22665.aspx>, (12.03.2010).
- VERIVOX (2008b): Gaskonflikt zwischen Russland und Ukraine spitzt sich zu. <http://www.verivox.de/nachrichten/gaskonflikt-zwischen-russland-und-ukraine-spitzt-sich-zu-22664.aspx>, (12.03.2010).
- VERNON R. (1966): International Investment and International Trade in the Product Cycle. In: The Quarterly Journal of Economics (80), S. 190-207.
- VERNON R. (1979): The Product Cycle Hypothesis in a New International Environment. In: Oxford Bulletin of Economics and Statistics (41), S. 255-267.
- VERSECK K. (2011): Strom aus dem All. In: Technology Review – Das M.I.T.-Magazin für Innovation (1), Spezialheft Energie, S. 68-70.
- VESELKA T. D., BOYD G., CONZELMANN G., KORITAROV V., MACAL C., NORTH M., SCHOEPFLE B., THIMMAPURAM P. (2002): Simulating the behavior of electricity mar-

- kets with an agent-based methodology: the Electric Market Complex Adaptive Systems (EMCAS) model, Vancouver.
- VESTER F. (1990): *Ausfahrt Zukunft – Strategien für den Verkehr von morgen. Eine Systemuntersuchung.* München.
- VOGTHERR J., OECHSNER H. (2008): Endlager gasdicht verschließen. In: *Biogas Journal* (1), S. 40-43.
- VOIGT W. (1998): *Atlantropa. Weltbauten am Mittelmeer. Ein Architekturtraum der Moderne.* Hamburg.
- VOLKSINITIATIVE GEGEN WINDRÄDER (2011): *Energiepolitik in Brandenburg.* <http://www.volksinitiativewindrad.de/>, (13.09.2011).
- WACKERNAGEL M., SCHULZ N. B., DEUMLING D., LINARES A. C., JENKINS M., KAPOV V., MONFREDA C., LOH J., MYERS N., NORGAARD R., RANDERS J. (1999): *Tracking the Ecological Overshoot of the Human Economy.* *Proceedings of the Academy of Science* 99 (14), 9266-9271, Washington D. D..
- WANDLER R. (2011): *Der Sonnenkönig.* In: *Neue Energie – Das Magazin für Erneuerbare Energien* (7), S. 92-95.
- WARTNER H. (2010): *Solarfelder – Verschandelung oder Gewinn für die Kulturlandschaft.* In: *BAYERISCHER LANDESVEREIN FÜR HEIMATPFLEGE e. V. [Hrsg.]: (=Schönere Heimat – Erbe und Auftrag), Jahrgang 99 (3), S. 167-170*
- WEBER A. (1909): *Über den Standort der Industrien. Erster Teil: Reine Theorie des Standorts.* Tübingen.
- WEILAND U., WOHLLEBER-FELLER S. (2007): *Einführung in die Raum- und Umweltplanung.* Paderborn.
- WEINHOLD N. (2008): *Die Two-in-One-Lösung.* In: *Neue Energie – Das Magazin für Erneuerbare Energien* (5), S. 48-52.
- WEINHOLD N. (2009): *Deutscher Drahtseilakt.* In: *Neue Energie – Das Magazin für Erneuerbare Energien* (3), S. 37-39.
- WEINHOLD N. (2010): *Schlaues Supernetz.* In: *Neue Energie – Das Magazin für Erneuerbare Energien* (4), S. 59-60.
- WEINREBE G. (2000): *Solar Chimney Simulation.* *Proceedings of the IEA SolarPACES Task III Simulation of Solar Thermal Power System Workshop, 28th-29th September, Cologne.*

- WEINREBE G. (2003): Das Aufwindkraftwerk – Wasserkraftwerk der Wüste. http://www.sbp.de/de/fla/contact/download/Das_Aufwindkraftwerk.pdf, (08.09.2010).
- WETZEL D. (2010): Streit um giftiges Cadmium spaltet Solarindustrie. In: Welt Online, am 17.05.2010, <http://www.welt.de/wirtschaft/article7660982/Streit-um-giftiges-Cadmium-spaltet-Solarindustrie.html>, (28.02.2011).
- WIEDEMANN K. (2011a): Einspeisen auf Knopfdruck. In: Neue Energie – Das Magazin für Erneuerbare Energien (6), S. 58-60.
- WIEDEMANN K. (2011b): Der unsichtbare Speicher. In: Neue Energie – Das Magazin für Erneuerbare Energien (7), S. 30-34.
- WIEDEMANN K. (2011c): Den Rest nutzen. In: Neue Energie – Das Magazin für Erneuerbare Energien (7), S. 60-63.
- WIEHE J., RODE M. (2010): Maisanbau: Wirkungen auf Natur und Landschaft differenziert betrachten. In: Biogas Journal, Sonderheft Energiepflanzen, S. 18-20.
- WILLKE H. (1998): Systemisches Wissensmanagement. Stuttgart.
- WIMMER D. (2011): Steinzeit-Siedlung auf der Weltkulturerbe-Liste. In: Augsburg Allgemeine, vom 28. Juni 2011. <http://www.augsburger-allgemeine.de/landsberg/Steinzeit-Siedlungen-auf-der-Weltkulturerbe-Liste-id15658491.html>, (21.09.2011).
- WISSENSCHAFTLICHE BEIRAT DER BUNDESREGIERUNG GLOBALE UMWELTVERÄNDERUNGEN (WBGU) [Hrsg.] (2003): Sequestrierung von CO₂ – Technologien, Potenziale, Kosten und Umweltauswirkungen. WBGU-Hauptgutachten „Welt im Wandel: Energiewende zur Nachhaltigkeit“. Berlin.
- WITTMAN T., BRUCKNER T. (2007): Agentenbasierte Modellierung urbaner Energiesysteme. In: Wirtschaftsinformatik. Ausg. 49, (5), S. 352-360.
- WOLFF P. (1986): Folgeschäden des Hochdammes von Assuan. Eine Betrachtung aus landwirtschaftlicher und kulturtechnischer Sicht. In: Zeitschrift für Bewässerungswirtschaft (21), S. 112-119.
- WOLF J., BINDRABAN P. S., LUIJEN J. C. & VLEESHOUWERS L. M. (2002): Exploratory study on the land area required for global food supply and the potential global production of bioenergy. In: Agricultural Systems 76, (3), S. 841-861.
- WÖLZMÜLLER M. (2010): Windkraft – ist sie wirklich eine Alternative? http://www.akademie-bayern.de/imgspdfs/events/2010/20101118_woelzmueller.pdf, (22.02.2010).

- WÖRLEN C., RICKERSON W., MARRS B., HOLZHAUSEN G., CROWE J., SNELL J., HAMBRICK R. W. (2009): USA Energie- und Klimapolitik – Akteure und Trends im August 2009. Boston.
- YAMAMOTO H., YAMAJI K., FUJINO J. (1998): Dynamic analysis of biomass resources with a global land use and energy model. In: International Journal of Global Energy Issues 11, (1-4), S. 91-103.
- YAMAMOTO H., FUJINO J., YAMAJI K. (2001): Evaluation of bioenergy potential with a multi-regional global-land-use-and-energy model. In: Biomass & Energy, Vol. 21, (3), S. 185-203.
- ZAHORANSKY R. [Hrsg.] (2010): Energietechnik – Systeme zur Energieumwandlung. 5. Aufl., Wiesbaden.
- ZECH W. (2002): Salzböden – Klassifikation, Genese, Verbreitung und Nutzung. In: Geographische Rundschau (3), S. 36-40.
- ZHANG G. (2000): The Key Technology, Economics and Environment Problems of Three Gorges Project. In: CHINA YANGTZE THREE GORGES PROJECT DEVELOPMENT CORPORATION [Hrsg.]: Proceedings of China Yangtze Three Gorges Project. S. 8-12.
- ZIMMERMANN J.-R. (2011a): 50 Prozent plus – Strom aus Landwind. In: Neue Energie – Das Magazin für Erneuerbare Energien (4), S. 37-42.
- ZIMMERMANN J.-R. (2011b): Hürdenläufer. In: Neue Energie – Das Magazin für Erneuerbare Energien (7), S. 46-49.
- ZIMMERMANN J.-R. (2011c): Im Windschatten. In: Neue Energie – Das Magazin für Erneuerbare Energien (10), S. 40-42.
- ZIMMERMANN J.-R. (2011d): Viel Streit um neue Netze. In: Neue Energie – Das Magazin für Erneuerbare Energien (12), S. 24-27.
- ZIMMERMANN J.-R., WEINHOLD N. (2011): Das Netz wächst zusammen. In: Neue Energie – Das Magazin für Erneuerbare Energien (12), S. 17-23.
- ZINK R. (2010): Einbindung von GIS in einen nachhaltigen Planungsprozess von Photovoltaik-Freiflächenanlagen auf kommunaler Ebene. In: STROBL J., BLASCHKE T., GRIESEBNER G. [Hrsg.]: (=Angewandte Geoinformatik 2010 – Beiträge zum 22. AGIT-Symposium Salzburg), S. 954-963.
- ZÜFLE W. (2010): Bayern baut Windkraft aus – Staatssekretärin Huml will Bürger einbeziehen. In: Augsburg Allgemeine, Nr. 269, 20.11.2010, S. 5.
- ZWEIBEL K., MASON J., FTHENAKIS V. (2008): Amerikas Weg ins solare Zeitalter. In: Spektrum der Wissenschaft, S. 60-70.

Lebenslauf

Persönliche Angaben

Vorname/ Name: Stephan Bosch
Geburtsdatum: 24.07.1979
Geburtsort: München
Nationalität: deutsch

Ausbildung

Grundschule: Grundschule Heldenstein (1986-1990)
Gymnasium: Ruperti-Gymnasium Mühldorf a. Inn (1990-2000)
Universität: Universität Regensburg (2001-2007)
Fächer: Wirtschaftsgeographie, Politikwissenschaft und Geschichte

Praktische Tätigkeiten, beruflicher Werdegang und Projekte

Praktische Tätigkeiten: LUBAG – Ingenieurbüro für Geotechnik und Umweltschutz (2006)
Aufwind Schmack GmbH Neue Energien (2006-2007)
Hilfswissenschaftler an der Universität Augsburg am Lehrstuhl für Humangeographie und Geoinformatik (01.01.2008-31.03.2008)

Beruflicher Werdegang: Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Augsburg am Lehrstuhl für Humangeographie und Geoinformatik (seit 01.04.2008)

Promotion: seit Oktober 2008, am Lehrstuhl für Humangeographie und Geoinformatik (Prof. Dr. Gerd Peyke)

Projekte: GIS-gestützte Standortanalyse für Biogasanlagen in Deutschland (2008)
Erneuerbare Energien in der Regionalplanung (2009-2011)
Planung von Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsleitungen zwischen Nordafrika und Mitteleuropa mittels GIS (2012)
Entwicklung von Planungsinstrumenten zum Ausbau von Erneuerbaren Energien auf kommunaler und regionaler Ebene (laufende Forschung)