

Wege zur 100 % erneuerbaren Stromversorgung

Sondergutachten

Januar 2011

Inhalt

	Seite
Abbildungsverzeichnis	17
Tabellenverzeichnis	22
Abkürzungsverzeichnis	24
0 Kurzfassung für Entscheidungsträger	31
1 Einleitung	37
1.1 Fragestellung	37
1.2 Aufbau des Sondergutachtens	38
2 Nachhaltige Stromversorgung: Anforderungen und Bewertung der Technologieoptionen	39
2.1 Einleitung	39
2.2 Verfassungsrechtliche Grundlagen	39
2.2.1 Bedeutung und Bindungswirkung der Staatszielbestimmung des Artikels 20a Grundgesetz	39
2.2.2 Das Klima als Schutzgegenstand des Artikels 20a Grundgesetz ..	40
2.2.3 Zum verfassungsrechtlich gebotenen Schutzniveau im Klimaschutz	41
2.2.4 Einwirkungen durch korrespondierende europa- und völkerrechtliche Vorgaben	42
2.2.5 Schlussfolgerungen	43
2.3 Ziele und Kriterien	44
2.3.1 Nachhaltigkeitskriterien	44
2.3.2 Klimaschutzziele	46
2.3.3 Erhaltung der biologischen Vielfalt	47
2.3.4 Das energiepolitische Zieldreieck	48
2.4 Nachhaltigkeitsbewertung verschiedener Optionen der Energieerzeugung	48
2.4.1 Kohle	48
2.4.2 Kernenergie	51
2.4.3 Erneuerbare Energien	53
2.5 Gesamtbewertung	56
3 Ziel: Dauerhaft klimaverträgliche und nachhaltige Stromversorgung im Jahr 2050	59
3.1 Einleitung	59
3.2 Nationale und internationale Szenariostudien zur Entwicklung des Stromsektors bis 2050	59

	Seite	
3.2.1	Einführung	59
3.2.2	Ergebnisse der Studien	63
3.2.2.1	Entwicklung der Stromnachfrage	63
3.2.2.2	Emissionen, Technologiepfade und Kosten in Europa	65
3.2.2.3	Emissionen, Technologiepfade und Kosten in Deutschland	66
3.2.2.4	Kosten	70
3.2.3	Zum Problem der systematischen Unterschätzung der erneuerbaren Energien	71
3.2.4	Schlussfolgerungen	75
3.3	Optionen der 100 %-Vollversorgung	76
3.3.1	Vorüberlegungen zur Methodik	76
3.3.1.1	Das Modell REMix des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt	76
3.3.1.2	Szenarien des SRU	82
3.3.1.3	Stromnachfrage	83
3.3.2	Potenziale der erneuerbaren Energieträger für die Stromerzeugung	84
3.3.2.1	Potenziale in Deutschland	84
3.3.2.2	Potenziale in der Region Europa-Nordafrika	87
3.3.3	Drei Szenariofamilien für eine regenerative Vollversorgung	89
3.3.3.1	Die theoretische Variante: eine rein deutsche regenerative elektrische Vollversorgung	89
3.3.3.2	Eine regenerative Vollversorgung im Verbund mit Norwegen und Dänemark	93
3.3.3.2.1	Nationale Vollversorgung mit ausgeglichener Export- Import-Bilanz	93
3.3.3.2.2	Nationale Versorgung mit einem zulässigen Nettoimport von 15 %	97
3.3.3.3	Eine regenerative Vollversorgung im Verbund Europa-Nordafrika	100
3.3.4	Schlussfolgerungen	105
3.4	Anforderungen an die Umweltverträglichkeit des Ausbaus von erneuerbaren Energien	108
3.4.1	Windenergie an Land	109
3.4.2	Windenergie auf See	110
3.4.3	Photovoltaik	112
3.4.4	Geothermie	113
3.4.5	Energetische Nutzung von Biomasse	114
3.4.6	Wasserkraft	117
3.4.7	Zusammenfassung	118
4	Der Weg: Zeitliche Sequenz der technischen Entwicklung und der notwendigen Entscheidungen	119
4.1	Aktuelle Stromnachfrage und Erzeugung	119
4.1.1	Gegenwärtige Energieversorgung	119
4.1.1.1	Primärenergiebedarf	119

	Seite	
4.1.1.2	Endenergiebedarf	121
4.1.2	Stromnachfrage und Erzeugung	122
4.1.2.1	Derzeitige Stromnachfrage	122
4.1.2.2	Die notwendige Gleichzeitigkeit von Erzeugung und Nachfrage	122
4.1.2.3	Stromerzeugung und Außenhandel	123
4.1.2.4	Energieträgereinsatz in der Stromerzeugung	125
4.1.3	Der deutsche Kraftwerkpark	127
4.1.3.1	Fossil befeuerte Wärmekraftwerke	127
4.1.3.2	Kernkraftwerke	128
4.1.3.3	Elektrizitätserzeugung auf Basis erneuerbarer Energien	129
4.1.4	Übertragungsnetze	131
4.1.5	Treibhausgasemissionen	132
4.1.6	Ausblick: Kraftwerke in Bau und in Planung	133
4.2	Entwicklung des Kapitalstocks über die Zeit	134
4.3	Bedarfssenkung durch Effizienzsteigerung und Einsparung	139
4.3.1	Szenarien und Potenziale	139
4.3.2	Einsparung durch Effizienz als kostengünstige Brückentechnologie	141
4.4	Stromerzeugung aus regenerativen Energiequellen bis 2050	146
4.4.1	Übergangsszenario 2.1.a (509 TWh/a in 2050)	148
4.4.2	Übergangsszenario 2.1.b (700 TWh/a in 2050)	152
4.5	Ausbau der Energieinfrastruktur mit Netzen und Speichern	155
4.5.1	Begründung des Bedarfs	155
4.5.2	Speicher	156
4.5.3	Netze	166
4.6	Zukünftige Rolle von Grundlastkraftwerken	171
4.6.1	Die bisherige Elektrizitätsversorgung	171
4.6.2	Große Anteile erneuerbarer Stromerzeugung im System	171
4.6.3	Anforderungen an das zukünftige Elektrizitätssystem	173
4.7	Kosten des Entwicklungspfads	176
4.8	Fazit	181
5	Die europäische und deutsche Energie- und Klimapolitik und aktuelle energiepolitische Konflikte und Chancen- strukturen	185
5.1	Erneuerbare Energien im Durchbruch	185
5.2	Erneuerbare-Energien-Politik auf EU-Ebene	185
5.2.1	Einführungsphase bis 2001: Die erste Richtlinie im Schatten des Binnenmarktprogramms	185
5.2.2	Die Erneuerbare-Energien-Richtlinie von 2009: Durchbruch auf der Basis eines technologie-, energie- und klimapolitischen Gesamtansatzes	187

	Seite	
5.2.3	Perspektive 2050: Erneuerbare Energien als Schlüssel- technologie der Dekarbonisierung?	191
5.3	Erneuerbare-Energien-Politik in Deutschland	192
5.3.1	Erneuerbare-Energien-Politik vor 1998	192
5.3.2	Regierungswechsel 1998 als Wendepunkt	194
5.3.3	Aktuelle Akteurskoalitionen und Dekarbonisierungsstrategien auf nationaler Ebene	195
5.4	Internationale politische Ansätze für eine klimaverträgliche und nachhaltige Stromversorgung	198
5.5	Zusammenfassung und Ausblick	198
6	Elemente der Transformation	201
6.1	Grundlegende Herausforderungen	201
6.2	Weiterentwicklung der EU-Energiepolitik	202
6.2.1	Kompetenzverteilung zwischen der EU und den Mitglied- staaten im Bereich der Energiepolitik nach dem Vertrag von Lissabon	202
6.2.1.1	Die Kompetenzlage außerhalb der neuen Energiekompetenz	202
6.2.1.2	Die neue Energiekompetenz der EU nach dem Vertrag von Lissabon	204
6.2.1.2.1	Die energiepolitischen Ziele, insbesondere des Artikels 194 Absatz 1 lit. c) AEUV	204
6.2.1.2.2	Die Handlungsermächtigung des Artikels 194 Absatz 2 AEUV	205
6.2.1.2.3	Das Einstimmigkeitserfordernis des Artikels 194 Absatz 3 AEUV	205
6.2.1.2.4	Das Verhältnis des Artikels 194 AEUV zu anderen Kompetenzen	205
6.2.1.3	Energieaußenpolitik	207
6.2.1.4	Bedeutung der neuen Energiekompetenz gemäß Artikel 194 AEUV	207
6.2.1.5	Modalitäten der Kompetenzausübung auf europäischer Ebene	207
6.2.1.6	Verbleibende Zuständigkeiten der Mitgliedstaaten	208
6.2.1.7	Ergebnis	209
6.2.2	Weiterentwicklung des energiepolitischen Rahmens durch die EU	210
6.2.2.1	Die Weiterentwicklung der europäischen Klimaschutzziele	211
6.2.2.2	Weitere Ausbauziele für die erneuerbaren Energien: Roadmap 2030	211
6.2.2.3	Subsidiarität in der Förderpolitik	213
6.2.2.4	Ausbau der europäischen Fernnetze	214
6.2.2.5	Ergebnis: Kernelemente einer europäischen Förderpolitik	217
6.3	Bi- und multilaterale Kooperationen	218
6.3.1	Auf dem Weg zu vernetzten Strommärkten	218
6.3.2	Optimierung der länderübergreifenden Kooperationen	220
6.4	Politische Anforderungen an eine Transformation hin zur regenerativen Vollversorgung	222

	Seite
6.4.1	Systementscheidung und Energiekonsens 222
6.4.2	Möglichkeiten und Voraussetzungen eines radikalen gesellschaftlichen Konsenses 223
6.5	Regionale und lokale Innovateure 225
7	Strategien und Instrumente zur Steigerung der Energieeffizienz 229
7.1	Herausforderungen für eine wirksame Stromsparpolitik 229
7.2	Effizienzpolitik neu ausrichten: Verbrauchsziel statt Einsparziel 231
7.3	Ambitionierte Effizienzpolitik ausgestalten 231
7.3.1	Energieeffizienzfonds 231
7.3.2	Weiße Zertifikate 232
7.3.3	Modellskizze für ein Stromkundenkonto 234
7.3.4	Produktstandards zur Mindesteffizienz 236
7.3.5	Energiemanagementsysteme 237
7.4	Fazit 237
8	Förderung von erneuerbaren Energien und Speichern 239
8.1	Zur Notwendigkeit einer Flankierung des Emissionshandels 239
8.1.1	Die grundsätzliche Funktionsweise des Emissionshandels 239
8.1.2	Prinzipielle Probleme eines Emissionshandelssystems im Stromsektor 240
8.1.3	Besonderheiten des Elektrizitätsmarktes 244
8.1.4	Zusammenfassung: Anforderungen an eine Flankierung des Emissionshandels im Stromsektor 248
8.2	Ein unvollkommener Emissionshandel – Probleme der Ausgestaltung 249
8.2.1	Emissionsziele 249
8.2.2	Überangebot an Zertifikaten in der zweiten Handelsperiode und deren langfristige Auswirkungen 251
8.2.3	Fehlentwicklungen aufgrund internationaler Projektmaßnahmen 253
8.2.4	Zusammenfassung und Reformvorschläge für einen effektiven Emissionshandel 253
8.3	Ergänzende ordnungs- und planungsrechtliche Instrumentierung zur Senkung von CO ₂ -Emissionen 256
8.3.1	Änderung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (BImSchG) 256
8.3.1.1	Europarechtliche Zulässigkeit 257
8.3.1.2	Verfassungsrechtliche Grenzen 260
8.3.2	Klimaverträglichkeitsprüfung 260
8.3.2.1	Umweltverträglichkeitsprüfung 260
8.3.2.2	Strategische Umweltprüfung und Raumplanung 261
8.3.3	Ergebnis 262

	Seite
8.4	Instrumente zur Förderung eines kostenminimalen Einsatzes von erneuerbaren Energien 262
8.4.1	Kritische Würdigung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes 262
8.4.2	Förderung der Offshore-Windenergie 267
8.4.3	Förderung der Stromerzeugung aus Biogas 273
8.4.3.1	Ziel 1: Lastfolgebetrieb 274
8.4.3.2	Ziel 2: Reststoffverwertung 276
8.4.3.3	Zusammenfassende Empfehlungen 277
8.4.4	Förderung der Solar- und der Onshore-Windenergie 277
8.4.4.1	Förderung der Photovoltaik 277
8.4.4.2	Förderung der Windenergie an Land 280
8.5	Akzeptanz für den Ausbau der erneuerbaren Energien 281
8.5.1	Förderung der Akzeptanz für regenerative Energie- erzeugungsanlagen 282
8.5.2	Öffentlichkeitsbeteiligung bei Zulassungsverfahren von Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien 283
8.5.3	Gesellschaftlich-integrative Strategie: Kommunikation, Transparenz und substanzielle Beteiligung 284
8.5.4	Zusammenfassung 286
8.6	Anreize für den Speicherausbau 286
8.6.1	Ökonomische Anreize für Speicher im Strommarkt 287
8.6.2	Pumpspeicherung in Norwegen 290
8.6.3	Förderung in Deutschland 290
8.6.4	Zusammenfassung 293
9	Rahmenbedingungen des Netzausbaus 295
9.1	Ökonomische und wirtschaftsrechtliche Investitionshemmnisse .. 296
9.1.1	Das drohende Problem zu geringer Investitionen 296
9.1.2	Staatlicher Regulierungsbedarf des Übertragungsnetzausbaus ... 298
9.1.3	Verpflichtung zum Ausbau 299
9.1.3.1	Systemische und punktuelle Investitionspflichten 299
9.1.3.1.1	Punktuelle Ausbauanprüche 299
9.1.3.1.2	Systemische Investitionspflichten 300
9.1.3.1.3	Zwischenbilanz 301
9.1.4	Nationale und EU-rechtliche Investitionsplanungspflichten 301
9.1.5	Anreizregulierung und Investitionen 302
9.1.5.1	Zielkonflikt: Kosteneffizienz versus Netzausbau 303
9.1.5.2	Investitionsbudgets und Netzausbau 303
9.1.6	Instrumentierung des Übertragungsnetzausbaus 305
9.2	Planung und Genehmigung von Stromübertragungsnetzen 306
9.2.1	Bestehende rechtliche Regelungen zur Planung und Genehmigung von Stromübertragungsnetzen 306
9.2.2	Defizite der gegenwärtigen Ausgestaltung 311
9.2.3	Reformvorschläge 312

	Seite
9.2.3.1	Für eine Reform zu beachtende Eckpunkte 312
9.2.3.2	Ein moderates Reformszenario: bessere Koordinierung 314
9.2.3.3	Ein weitreichendes Reformszenario: Zweistufige Fachplanung 314
9.2.3.4	Verfassungsrechtliche Zulässigkeit der Reformvorschläge 316
9.2.4	Ergänzende Reformoptionen 317
9.2.4.1	Vollzugserleichterung durch materielle Vorstrukturierung von Abwägungsentscheidungen 317
9.2.5	Ergebnis 319
9.2.6	Planung und Genehmigung von Offshore-Kabelanbindungen ... 319
9.2.6.1	Gegenwärtige Rechtslage 320
9.2.6.1.1	Raumordnung und Naturschutz 320
9.2.6.1.2	Genehmigung 322
9.2.6.1.3	Netzanbindung gemäß § 17 Absatz 2a EnWG 322
9.2.6.2	Defizite 323
9.2.6.3	Reformvorschläge 323
9.3	Akzeptanz für den Netzausbau 324
9.3.1	Öffentlichkeitsbeteiligung beim Ausbau von Energieleitungen ... 324
9.3.2	Erdverkabelung als Akzeptanz fördernder Faktor 325
9.3.3	Gesellschaftlich-integrative Ansätze zur Förderung der Akzeptanz für den Stromnetzausbau 326
9.3.4	Zusammenfassung 327
10	Zusammenfassung und Empfehlungen 329
10.1	100 % erneuerbare Energien als Ziel der Energie- und Klimaschutzpolitik 329
10.1.1	Fragestellung des Sondergutachtens 329
10.1.2	Das Ziel: Klimaverträgliche und nachhaltige Strom- versorgung bis 2050 329
10.1.3	Das Mittel: 100 % Vollversorgung mit Strom aus erneuerbaren Energien ist möglich, sicher und bezahlbar 331
10.1.4	Der Weg: Signifikante Laufzeitverlängerung oder neue Kohlekraftwerke sind für den Übergang nicht nötig 333
10.2	Herausforderungen der Transformation 333
10.2.1	Neue Balance zwischen Markt, staatlicher Planung und gesellschaftlicher Partizipation 333
10.2.2	Neue Impulse der Effizienzpolitik 335
10.2.3	Weiterentwicklung der europäischen Klimapolitik und des Emissionshandels 335
10.2.4	Stabile und effiziente Ausbauförderung der erneuerbaren Energien 336
10.2.5	Sozialverträgliches und zuverlässiges Auslaufen des Betriebes konventioneller Kraftwerke 338
10.2.6	Beschleunigter Ausbau von Netzen 338

	Seite
10.2.7 Regionale Kooperation mit Norwegen und den Nachbarstaaten zur Nutzung von Pumpspeichern als Rückgrat der Versorgungssicherheit	341
10.2.8 Ausblick: Die weitere Europäisierung der Energie- und Klimapolitik	342
Literaturverzeichnis	343
Rechtsquellenverzeichnis	387
Einrichtungserlass	391
Publikationsverzeichnis	393