

Inhaltsverzeichnis

I Vorwort

II Einleitung – Erneuerbare Energien

1	Einleitung	29
2	Die Ziele der Bundesregierung.....	30
3	Technischer Überblick (gesamt und nach Energieträgern).....	31
3.1	Wasserkraft	31
3.2	Windkraft.....	31
3.3	Sonnenenergie	33
3.3.1	Solarkollektoren	33
3.3.2	Photovoltaik-Anlagen	33
3.3.3	Solarthermie	34
3.4	Biomasse, Biogas	34
3.5	Brennstoffzellen und Wasserstoff-Energie	35
3.6	Geothermie	36
4	Besondere Technologien.....	36
4.1	Aufwindkraftwerke	36
4.2	Gezeiten-, Wellen- und Meeresströmungsenergie.....	37
4.2.1	Gezeitenkraftwerke	37
4.2.2	Wellenkraftwerke	38
4.2.3	Floating Turbines.....	39
4.2.4	Osmosekraftwerke	40
5	Quellenverzeichnis und Internetadressen.....	40

III Windkraft

1	Einführung.....	45
2	Grundsätzliche Unterschiede in den Anlagenkonzepten	45
2.1	Windenergieanlagen mit Getriebe und schnell laufender Abtriebswelle.....	46
2.2	Windenergieanlagen mit Getriebe und langsam laufender Abtriebswelle.....	46
2.3	Getriebelose Windenergieanlagen	46
3	Bauelemente	47
3.1	Fundament	47
3.2	Turm	47
3.3	Chassis/Gondel	48
3.4	Gondel - Nachführung (Azimut-Antrieb).....	49
3.5	Rotornabe	49
3.6	Rotor.....	49
3.7	Hauptlager	49
3.8	Hauptwelle (auch Rotorwelle).....	50
3.9	Hauptgetriebe	50
3.9.1	Lastverzweigungsgetriebe.....	50
3.9.2	Getriebekonzept für konstante Abtriebsdrehzahl ohne Umrichter	51
3.10	Hydraulikanlage.....	52
3.11	Bremsen	52
3.12	Generator.....	52
3.13	Elektrische Anlagen.....	53
3.14	Übergabestation.....	54
3.15	Wertevertelung in der Windenergieanlage.....	54
4	Betriebssicherheit	54
4.1	Wartung	54
4.2	Blitzschutz der Windenergieanlage.....	55
4.3	Brandschutzsysteme.....	56
4.4	Bremssysteme	56
4.5	Condition Monitoring.....	56
4.6	Ölpartikelzählung.....	57
5	Stand der Entwicklung.....	57
5.1	Landgebundene Windenergieanlagen.....	57
5.2	Offshore Windenergieanlagen.....	58

6	Schadenpotenzial.....	58
6.1	Normale externe Bedingungen	59
6.2	Abnormale externe Bedingungen	59
6.3	Normale interne Bedingungen	59
6.4	Abnormale interne Bedingungen.....	59
6.5	Andere Bedingungen	60
7	Schadenszenarien	60
7.1	Onshore Windenergieanlagen	60
7.1.1	Rotorblätter	60
7.1.2	Getriebe und Rotorhauptlager	61
7.1.3	Generator	63
7.1.4	Elektrische Einrichtungen	63
7.1.5	Fundamente	65
7.1.6	Totalschäden	66
7.2	Offshore Windenergieanlagen.....	66
8	Betriebsunterbrechungsrisiko.....	66
8.1	Risikoerhöhende Faktoren.....	67
8.2	Vergütungssätze gemäß Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 21. Juli 2004 (EEG 2004) und 25. Oktober 2008 (EEG 2009)	67
8.3	Stromerträge, Wirkungsgrade.....	71
8.4	Schadenbetrachtung aus Maschinenbetriebsunterbrechungen	71
8.5	Wartungsverträge	73

Anhang 1 Druckstück VdS 891 Windenergieanlagen auf See (Offshore-WEA)

1	Vorwort zur 1. Auflage (März 2007) und zur 2. Auflage (November 2009).....	75
2	Einleitung	78
2.1	Stand der Planungen	78
2.2	Stand der Genehmigungen.....	78
2.3	Staatliche Förderung.....	80
2.4	Stiftung Offshore-Windenergie	80
2.5	Forschungsplattformen FINO 1, 2 und 3	81
3	Stand der Technik	82
3.1	Anlagentechnik	82
3.2	Gründungen und Fundamente	85
3.3	Seekabel und Landanbindung.....	89
3.3.1	Stromnetz	89

	3.3.2	Umspannstation	90
4		Errichtung	91
5		Betrieb	93
	5.1	Anlagenüberwachung.....	93
	5.2	Wartung und Instandsetzung	94
	5.3	Brandschutz	94
	5.4	Anzuwendende Normen und Richtlinien (Gastbeitrag Germanischer Lloyd, Hamburg).....	95
6		Schadenpotenziale und -szenarien	96
	6.1	Schadenpotenziale	96
	6.2	Schadensszenarien.....	96
7		Versicherbarkeit	97
	7.1	Elementarrisiken.....	97
	7.1.1	Wind, Wellen und Gezeiten	97
	7.1.2	Hagel	98
	7.1.3	Eisgang.....	98
	7.1.4	Eisansatz / Eisbildung.....	98
	7.1.5	Blitzschlag.....	99
	7.1.6	Erdbeben	99
	7.1.7	Tsunami	99
	7.2	Betriebsunterbrechungsrisiken.....	99
	7.3	Innere Schäden (Herstellergarantien)	101
	7.4	Haftpfl ichtrisiken.....	102
	7.5	Transportrisiken (Seekasko)	103
	7.6	Kumulkontrolle.....	103
		Anhang 1.1	105
		Anhang 1.2	106
		Anhang 1.3	107
1		Höchstentschädigung.....	107
2		Versicherte Sachen.....	107
3		Deckungen für zusätzliche Kosten.....	108
	3.1	Kosten der Schadenabwendung und Schadenminderung	108
	3.2	Zusätzlicher Arbeitsaufwand zur Neupositionierung eines Anlagenteiles.....	108
	3.3	Beseitigung von Wracks, Wrackteilen und/oder Offshore-Trümmern	108
	3.4	Standby-Kosten (Bereitstellungskosten)	108
	3.5	Offshore-Stornierungskosten.....	109
	3.6	Kosten der Schadensuche.....	109

3.7	Umweltgefährdung	109
3.8	Kosten des Weitertransports	109
4	Sachverständiger (Warranty Surveyor)	110
5	Sonstige Bedingungen	112
5.1	Fundamente	112
5.2	Gerichtetes horizontales Bohren	112

Anhang 2 VdS 3523 Brandschutz in Windenergieanlagen (WEA)

1	Vorbemerkungen	113
2	Anwendungsbereich	113
3	Risiken	114
3.1	Sachschäden und Folgekosten	114
3.1.1	Sachschadenrisiko	114
3.1.2	BU-Exponierung	115
3.2	Schadenbeispiele	115
3.2.1	Brandschaden infolge Blitzschlags	115
3.2.2	Brandschaden infolge Maschinenbruchs	116
3.2.3	Brandschaden infolge von Fehlern in elektrischen Einrichtungen	117
3.2.4	Brandschaden infolge elektrischer Schwingkreise	117
3.3	Brandschadenursachen	117
3.3.1	Erhöhte Gefahren der Brandentstehung durch Blitzschlag	118
3.3.2	Elektrische Anlagen	118
3.3.3	Heiße Oberflächen	118
3.3.4	Feuergefährliche Arbeiten	118
3.3.5	Brandlast	119
3.3.6	Stark eingeschränkte Zugänglichkeit für die Brandbekämpfung	119
3.3.7	Einschränkungen bei der Instandhaltung (Wartung, Inspektion und Instandsetzung)	119
4	Schutzziele und Schutzkonzept	119
5	Schutzmaßnahmen	121
5.1	Verringerung der Brandentstehungsgefahren	121
5.1.1	Blitz- und Überspannungsschutz	121
5.1.2	Minimierung von Gefahren aus elektrischen Anlagen	122
5.1.3	Minimierung brennbarer Stoffe	123
5.1.4	Vermeidung von möglichen Zündquellen	123
5.1.5	Feuergefährliche Arbeiten	124
5.1.6	Instandhaltung (Wartung, Inspektion und Instandsetzung) maschineller und elektrischer Anlagen	124
5.1.7	Rauchverbot	125
5.1.8	Schulung	126

5.2	Branderkennung und Brandbekämpfung	126
5.2.1	Branderkennung.....	126
5.2.2	Brandbekämpfung.....	128
5.2.3	Störungsüberwachung.....	130
5.2.4	Außerbetriebnahme von Sicherheitseinrichtungen	131
5.3	Maßnahmen zur Schadenbegrenzung	131
5.4	Qualitätssicherung.....	132
6	Literatur / Quellen	132

Anhang 3 Technischer Anhang

1	Bestimmungen und Qualitätskriterien zur Errichtung von fabrikfertigen Stationen	135
1.1	Einleitung.....	135
1.2	Allgemeines.....	135
2	Errichtung der Station.....	135
2.1	Typprüfungen	135
2.2	Prüfungen zum Nachweis der Erwärmung der Hauptbestandteile in einer Station (Erwärmungsprüfungen).....	135
2.3	Störlichtbogenprüfung	136
3	Dokumentation/Prüfprotokolle.....	136
4	Mindestanforderungen an die Stationsausstattung	136
4.1	Gebäude.....	136
4.2	Mittelspannungsschaltanlage	136
4.3	Drehstrom-Öl-Transformator	137
4.4	Niederspannungsverteilung.....	137
4.5	Stationsinterne Verkabelung.....	137
4.6	Erdungsanlage.....	137
4.7	Überspannungsschutz/Blitzstromableiter	137
4.8	Geräteschutz.....	138
5	Service.....	138

Anhang 4 Anforderungen an Condition Monitoring Systeme für Windenergieanlagen

1	Richtlinie für die Zertifizierung von Condition Monitoring Systemen für Windenergieanlagen	139
1.1	Einleitung	139
1.2	Hintergrund	140

1.3	Condition Monitoring System	140
1.3.1	Richtlinie für die Zertifizierung von Condition Monitoring Systemen für Windenergieanlagen	140
1.3.2	Condition Monitoring System	141
1.3.3	Anforderungen an den WEA Hersteller	143
1.3.4	Anforderungen an die Überwachungsstelle	143
1.4	Zusammenfassung	144
1.5	Literatur	144

IV Solare Energiesysteme

1	Einleitung	147
2	Photovoltaik: Zellen und Module	147
2.1	Gebräuchliche Unterscheidungen	148
2.2	Abmessungen	148
2.3	Laminat-Module	149
2.4	Konzentratormodul (CPV)	149
2.5	Photothermie (PVT)	149
2.6	Röhrenkollektoren	149
2.7	Transparente Module	150
2.8	Gebäudeintegrierte PV (GIPV)	151
2.9	Gebräuchliche Zellmaterialien und ihre Kurzbezeichnungen	152
2.10	Leistungsverlust durch Alterung (Degradation)	152
2.11	Kanten- und Rückseitenversiegelung	153
2.12	Hot Spots	153
2.13	Delamination	153
2.14	Modulrahmen	154
2.15	Modulanschlussdose und Kabelaustritt	154
2.16	Steckverbinder	155
2.17	Generatoranschlusskasten	155
2.18	Prüf- und Sicherheitsnormen	155
2.19	Hageltest	157
3	Wechselrichter	157
3.1	Wechselrichter mit Transformator	158
3.2	Wechselrichter ohne Transformator	158

3.3	Zusatzfunktionen	158
3.4	Modulwechselrichter.....	158
3.5	Installationsvorschriften.....	159
3.6	Wechselrichterzuverlässigkeit	159
4	Montagesysteme	160
4.1	Einwirkungen und Lasten.....	160
4.2	Nachführsysteme	161
4.2.1	Einachsige Nachführung	161
4.2.2	Zweiachsige Nachführung.....	161
4.3	Sturmsicherheit	161
4.4	Fassadenanlagen	162
5	Stand sicherheitsnachweis (Statik).....	163
6	Kabel	163
7	Blitz- und Überspannung.....	164
7.1	Äußerer Blitzschutz.....	164
7.2	Innerer Blitzschutz	164
7.3	Normen für Blitzschutzanlagen.....	165
7.4	Literatur zum Blitzschutz.....	165
8	Schadenerfahrungen	166
8.1	Blitz- und Überspannungsschäden.....	166
8.2	Schadenhäufigkeit und -verteilung an Photovoltaikanlagen	166
8.3	Marderschäden	167
8.4	Umweltbelastung.....	167
9	Unterbrechungsschäden.....	168
9.1	Betriebsunterbrechung	168
9.2	Ertragsprognosen	169
9.3	Einstrahlungsdaten.....	169
9.4	Datenquellen	169
9.5	Performance Ratio.....	170
10	Vergütungssätze 2010	170
11	Thermische Solaranlagen und -kraftwerke	170
11.1	Sonnenwärmekraftwerk.....	170
11.2	Kleinanlagen	171
11.2.1	Wesentliche Bestandteile einer thermischen Solaranlage	171
11.2.1.1	Flachkollektor.....	171
11.2.1.2	Vakuumröhren-Kollektor.....	171
11.2.1.3	Warmwasserspeicher.....	171

	11.2.1.4	Wärmetauscher	172
	11.2.1.5	Mess-, Steuer- und Regelanlage	172
	11.2.1.6	Luftkollektoren.....	172
11.3		Solarthermische Kraftwerke	172
	11.3.1	Solarthermische Kraftwerke mit Bündelung der Direktstrahlung	172
	11.3.1.1	Parabolrinnenkraftwerk; Degradation des Receivers	173
	11.3.1.2	Fresnel-Solarkraftwerk.....	173
	11.3.1.3	Solarturmkraftwerke.....	174
	11.3.1.4	Paraboloidkraftwerk (Dish-Stirling-System).....	175
	11.3.1.5	Thermikkraftwerk	176
	11.3.2	Solarthermische Kraftwerke ohne Bündelung und Solarteichkraftwerke	176
12		GDV-Publikationen	176
13		Internetadressen.....	177

V Biomasse

1		Grundlagen.....	181
	1.1	Biogene Festbrennstoffe.....	181
	1.2	Holzartige Biomasse	181
	1.3	Energiepflanzen	181
2		Eigenschaften der Biomasse.....	182
3		Aufbereitung, Lagerung und Transport	184
	3.1	Feste Biomasse	184
	3.2	Flüssige Bioenergieträger	185
4		Energetische Nutzung.....	185
	4.1	Wärme aus fester Biomasse	186
	4.1.1	Feuerungstechniken.....	186
	4.1.2	Thermochemische Vergasung	190
	4.1.3	Wärme und Strom	198
	4.1.4	Verflüssigung fester Biomasse (Pyrolyse).....	200
5		Relevante gesetzliche Rahmenbedingungen	200
	5.1	Allgemeine Gesichtspunkte für die Genehmigung	200
	5.2	Die deutsche Biomasseverordnung	203
	5.3	Altholzverordnung	204
	5.4	Europäische Normung für Biomasse-Festbrennstoffe	
		Klassen für Holzhackschnitzel nach prCEN/TS 14961	205
	5.5	Holzpellets nach DIN 51731	206

6	Schadenpotenziale.....	206
7	Unterbrechungsschäden.....	207
8	Schadenerfahrungen	207
9	Ausblick	208
10	Regelwerke und Vorschriften	208
11	Quellenverzeichnis und Internetadressen.....	209

VI Biogene Kraftstoffe

1	Grundlagen.....	213
1.1	Treibstoffarten.....	213
1.2	Pflanzenöl als Kraftstoff	214
2	Eigenschaften von Pflanzenölen	214
3	Herstellung.....	215
3.1	Herstellungsvergleich zwischen Biodiesel und Pflanzenöl.....	215
3.2	Aufbereitung	215
3.3	Verwendbarkeit.....	215
3.4	Besonderheiten.....	216
4	Motortechnik	216
4.1	Brennverfahren beim Dieselmotor	216
4.1.1	Vorkammervverfahren.....	217
4.1.2	Wirbelkammervverfahren	217
4.1.3	Direkteinspritzung.....	217
4.2	Umrüstung	218
5	Rahmenbedingungen	218
5.1	Richtlinie 2003/30/EG.....	218
5.2	Normung.....	219
5.3	Qualitätsnormentwurf E DIN 51605	219
6	Betriebserfahrungen.....	220
6.1	Stationärer Betrieb (BHKW)	220
6.2	Mobiler Betrieb	222
6.3	100 Traktoren-Demonstrationsprojekt.....	222
7	Unterbrechungsschäden.....	223
8	Schadenerfahrungen	224
9	Schadenprävention	227

10	Ausblick	228
10.1	Pflanzenölbetrieb im stationären Betrieb.....	228
10.2	Pflanzenölbetrieb im mobilen Betrieb.....	228
11	Regelwerke und Vorschriften	229
12	Quellenverzeichnis und Internetadressen.....	229

VII Biogas

1	Grundlagen.....	233
1.1	Mikrobiologie und Biochemie der Vergärung	233
1.2	Einphasiges Verfahren.....	233
1.3	Zweiphasiges Verfahren.....	234
1.4	Eigenschaften von Biogas.....	234
2	Anlagentechnik	235
2.1	Einstufiges mesophiles Verfahren.....	235
2.2	Zweistufiges mesophiles Verfahren mit liegendem Fermenter	236
2.3	Mesophiles Verfahren mit zwei in Reihe geschalteten Fermentern.....	237
2.4	Mesophiles Verfahren mit zwei in Reihe geschalteten Fermentern.....	238
2.5	Zweistufiges mesophiles Verfahren mit integrierter Hygienisierung	239
2.6	Dreistufiges thermophiles Verfahren mit möglicher Hygienisierung	240
2.7	Trockenvergärung	241
2.8	Batch-Verfahren	242
3	Substrataufbereitung	243
3.1	Sand	243
3.2	Hygienisierung	243
3.3	Fermenter	243
3.4	Co-Fermentation	243
3.5	Temperaturen	243
3.6	Verweilzeit	244
3.7	Abbaugrad	244
3.8	Ultraschallbehandlung („CH ₄ -Booster“)	244
3.9	Trockensubstanzgehalt.....	244
3.10	Störung der Biologie	244
3.11	Durchmischungsverfahren.....	245
3.12	Gasspeicher, Rohrleitungen und Armaturen	246
3.13	Sicherheitseinrichtungen für Gasbehälter.....	247

3.14	Betonbehälter in Biogasanlagen	248
3.15	Prozesssteuerung	248
3.16	Gasanalyse	249
4	Biogasaufbereitung	249
4.1	Gasreinigung	249
4.2	Schwefelwasserstoff	249
4.3	Entschwefelungsverfahren	250
4.3.1	Biologische Entschwefelung (Entschwefelung durch Luftzugabe)	250
4.3.2	Biofilter, Biowäscher und Tropfkörperanlagen	250
4.3.3	Eisenhydroxid	251
4.3.4	Eisen-(II)-Sulfat	251
4.3.5	Chemische externe Entschwefelung	252
5	Biogaseinspeisung	252
5.1	Prozessschritte	252
5.2	Anforderungen an das Gas	252
5.3	Methananreicherung / Kohlendioxidabtrennung	254
5.3.1	Druckwäsche	254
5.3.2	Druckwechselverfahren	254
5.3.3	Membran-Trennverfahren	254
5.3.4	Übersicht der Kohlendioxidabtrennungs-Verfahren	254
5.4	Siloxane	255
5.5	Andere Verfahren der Gasgewinnung	255
5.5.1	Grubengas	255
5.5.2	Deponiegas	256
5.5.3	Klärgas	256
5.5.4	Wasserstoffgas	256
5.6	Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG, 2009)	256
5.7	Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz (EEWärmeG)	257
6	Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)	257
6.1	Blockheizkraftwerk (BHKW)	257
6.2	Mikrogasturbine	258
6.3	Brennstoffzellen	258
6.4	Motorische BHKW	259
6.4.1	Zündstrahlmotor	260
6.4.2	Gas-Ottomotor	261
7	Smart Grid (oder Stromnetze, die mitdenken)	262
8	Korrosion	264
9	Unterbrechungsschäden	265

10 **Sicherheitsregeln für landwirtschaftliche Biogasanlagen.....265**
10.1 Gefahren und Risiken265
10.2 Brandschutz266
10.3 Blitz- und Überspannungsschutz268
10.4 GDV-Publikationen268
11 **Gütekriterien für Biogasanlagen nach VDI 4631268**
12 **Prävention269**
12.1 Wartungsvertrag.....269
12.2 Revisionen.....269
12.3 Thermografie269
13 **Schadenerfahrungen270**
13.1 Eintragsystem.....270
13.2 Fermentertechnik270
13.3 Turboladerschaden.....270
13.4 Korrodierte Pleuelbuchsen271
13.5 Generatorausfall271
13.6 Großschadenereignisse.....271
14 **Ausblick272**
15 **Fazit.....273**
16 **Regelwerke und Vorschriften273**
17 **Literaturverzeichnis274**

VIII Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologie

1 **Brennstoffzellen.....279**
2 **Brennstoffzelleneigenschaften279**
3 **Brennstoffzellenfunktion280**
4 **Brennstoffzellen.....280**
4.1 Einteilung der Brennstoffzellen280
4.1.1 Protonen-Austausch-Membran-Brennstoffzelle, Polymer Electrolyte
Fuel Cell auch: Proton Exchange Membrane FC (PEM-FC); (PEFC).....280
4.1.2 Hochtemperatur PEM-FC (HT-PEM).....282
4.1.3 Solid Acid Fuel Cell (SAFC)283
4.1.4 Anion Exchange Membrane FC (AEM-FC)283

4.1.5	Direkt-Methanol-Brennstoffzelle (DMFC)	284
4.1.6	Ethanol BZ (DEFC; DAFC)	284
4.1.7	Alkalische Brennstoffzelle (AFC).....	284
4.1.8	Phosphorsäure Brennstoffzelle (PAFC) (Phosphoric Acid Fuel Cell).....	285
4.1.9	Schmelzkarbonat-Brennstoffzelle (MCFC) (Molten Carbonate Fuel Cell).....	286
4.1.10	Festoxidkeramische Brennstoffzelle (SOFC) (Solid Oxide Fuel Cell).....	287
4.2	Einsatz von Brennstoffzellen	288
4.2.1	Kraftwerkseinsatz	288
4.2.2	Gebäude-Energieversorgungskonzepte.....	288
4.2.3	Tragbare Geräte	289
4.2.4	Kraftfahrzeug-Anwendungen.....	290
4.2.5	Infrastruktur	292
4.2.6	Kosten für KFZ mit Elektroantrieb	292
4.2.7	Berstschutz	292
4.2.8	Forschung und Entwicklung (F & E) bei Brennstoffzellensystemen	292
5	Wasserstoff	294
5.1	Wasserstoffeigenschaften.....	294
5.2	Wasserstofferzeugung	294
5.2.1	Elektrolyse.....	295
5.2.2	Erdgasreformer.....	295
5.2.3	Chemische Wasserstoffgewinnung	295
5.2.4	Dampfreformierung	295
5.2.5	Reformierung aus kohlenstoffhaltigen Energieträgern.....	296
5.2.6	Wasserstoff aus Ethanol	296
5.2.7	Solarer Wasserstoff	296
	5.2.7.1 Hydrosol.....	296
	5.2.7.2 SOLZINC - Solar-Wasserstoff	297
5.3	Wasserstoffreinigung.....	297
5.3.1	Entstaubung.....	297
5.3.2	Entschwefelung.....	297
5.3.3	CO ₂ -Wäsche	298
5.3.4	Feinreinigungsverfahren	298
	5.3.4.1 Katalytische Verfahren.....	298
	5.3.4.2 Druckwechseladsorptionen.....	298
	5.3.4.3 Membranverfahren	298
	5.3.4.4 Metallhydride.....	298
	5.3.4.5 Klärgasreinigung (Biogasreinigung).....	298
5.4	Transport und Speicherung.....	299
5.4.1	Wasserstoff als Speichermedium für Windstrom	299
5.4.2	Wasserstoffspeicherung	300
	5.4.2.1 Druckgasspeicher	300
	5.4.2.2 Flüssiggasspeicher	300

	5.4.2.3	Metallhydridspeicher	301
	5.4.2.4	Grafitspeicher	301
	5.4.3	Weitere Speicherentwicklungen	301
6		Wasserstoffsicherheit	302
	6.1	Versprödung von Metallen.....	302
7		Regelwerke	302
8		Prognosen für den Brennstoffzellenmarkt.....	304
9		Forschung und Entwicklung (Zusammenfassung)	305
10		Quellenverzeichnis und Internetadressen.....	306

IX Geothermie

1		Energiepotential	311
2		Die Nutzungsarten.....	311
	2.1	Prinzip der hydrothermalen Nutzung	312
	2.2	Oberflächennahe Geothermie	313
	2.2.1	Arbeitsprinzipien von Wärmepumpen.....	314
	2.2.2	Grundwasserwärmepumpen.....	315
	2.2.3	Erdwärmekollektoren	316
	2.2.4	Erdwärmesonden (EWS).....	316
	2.2.5	Erdberührte Betonbauteile, Energiepfähle	317
	2.3	Hot Dry Rock-Verfahren (HDR)	318
	2.4	Geothermische Kraftwerke	319
	2.4.1	Direkte Nutzung des Fluides in einer Turbine.....	320
	2.4.2	Binäranlagen	322
	2.4.2.1	Rankine-Kreislauf (ORC)	322
	2.4.2.2	Kalina-Kreislauf	323
	2.4.2.3	Kalina Kraftwerke in Deutschland	324
	2.5	Nah- und Fernwärmenetze	324
	2.5.1	Das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes (EEWärmeG)	324
	2.5.2	Geothermie zur anteiligen Deckung des Wärmebedarfs	324
3		Geothermische Bohrverfahren.....	325
	3.1	Bohrspülung.....	325
	3.2	Imlochhammer (<i>drehschlagend</i>)	325
	3.3	Rammen (<i>schlagend</i>).....	325
	3.4	Rotarybohren (<i>drehend</i>).....	325

3.5	Schlagbohren (<i>schlagend</i>).....	325
3.6	Schneckenbohrer (<i>drehend</i>).....	325
3.7	Top-Drive-Bohren (<i>drehend</i>).....	325
3.8	Turbinenbohren (<i>drehend</i>).....	325
4	Das „Fündigkeitsrisiko“	326
5	Betriebsunterbrechung.....	327
6	Fazit.....	327
7	Internetadressen	327

X Carbon Capture and Storage

1	Einleitung	333
1.1	Der Energieträger Kohle.....	333
2	Die CCS-Prozessschritte	334
2.1	Übersicht.....	334
2.2	Die CO ₂ -Abscheidung.....	335
2.3	Einsatzgebiete der Technologien.....	335
2.4	Das Post-Combustion-Verfahren	336
2.4.1	Der CO ₂ -Abscheidungsprozess im Post-Combustion-Verfahren.....	337
2.4.2	Forschungs- & Entwicklungsbedarf	338
2.4.3	Wirkungsgrad und Investitionskosten	338
2.4.4	Pilotanlagenbeispiel RWE Niederaussem.....	339
2.5	Das Pre-Combustion-Verfahren	339
2.5.1	Der Vergaser	341
2.5.2	Der CO ₂ -Abscheidungsprozess im Post-Combustion-Verfahren.....	341
2.5.3	Forschungs- & Entwicklungsbedarf	342
2.5.4	Wirkungsgrad und Investitionskosten	342
2.5.5	Pilotanlagen	343
2.6	Das Oxyfuel-Verfahren.....	343
2.6.1	Forschungs- & Entwicklungsbedarf	344
2.6.2	Pilotanlagenbeispiel Oxyfuel-Kraftwerk Schwarze Pumpe, Spremberg.....	344
2.7	Gegenüberstellung der Verfahren.....	345
3	Der CO₂-Transport.....	346
3.1	Verdichtung von CO ₂	346
3.2	Verflüssigung von CO ₂	347
3.3	Schiffstransport	347
3.4	Pipelines	347

4 Die geologische CO₂-Speicherung 348

4.1 Ausgebeutete Salinen 349

4.2 Kohleflöze in einer Tiefe größer als 2.500 m..... 349

4.3 Ausgebeutete Kohleflöze..... 349

4.4 Ausgebeutete Ölfelder 350

4.5 Ausgebeutete Erdgasfelder..... 350

4.6 Saline Aquifere 350

4.7 Gegenüberstellung der Speichermöglichkeiten 352

4.8 Speicherpotenziale weltweit und in Deutschland 353

4.9 Erkundung von Speicherstätten 354

4.10 Forschungs- & Entwicklungsbedarf 354

4.11 Pilotanlagenbeispiele 355

5 Übergeordnete Betrachtungen 356

5.1 Technologische Aspekte..... 356

5.2 Wirtschaftliche Aspekte..... 358

5.3 Politische Aspekte..... 359

5.4 Versicherungsspezifische Betrachtung..... 360

6 Zusammenfassung..... 361

7 Quellenverzeichnis und Internetadressen..... 362

XI Glossar

A - C 367

D - E 370

F - J 373

K - M 376

N - R 379

S - Z 381