

# Inhaltsverzeichnis

## I Vorwort

## II Einleitung – Erneuerbare Energien

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>29</b>
<b>2</b>	<b>Die Ziele der Bundesregierung .....</b>	<b>30</b>
<b>3</b>	<b>Technischer Überblick (gesamt und nach Energieträgern) .....</b>	<b>31</b>
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
<b>4</b>	<b>Besondere Technologien .....</b>	<b>36</b>
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
<b>5</b>	<b>Quellenverzeichnis und Internetadressen .....</b>	<b>40</b>

### III Windkraft

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>45</b>
<b>2</b>	<b>Grundsätzliche Unterschiede in den Anlagenkonzepten</b>	<b>45</b>
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
<b>3</b>	<b>Bauelemente</b>	<b>47</b>
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	Werteverteilung in der Windenergieanlage	54
<b>4</b>	<b>Betriebssicherheit</b>	<b>54</b>
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
<b>5</b>	<b>Stand der Entwicklung</b>	<b>57</b>
5.1	Landgebundene Windenergieanlagen	57
5.2	Offshore Windenergieanlagen	58

<b>6</b>	<b>Schadenpotenzial.....</b>	<b>58</b>
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
<b>7</b>	<b>Schadenszenarien .....</b>	<b>60</b>
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
<b>8</b>	<b>Betriebsunterbrechungsrisiko.....</b>	<b>66</b>
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)**

<b>1</b>	<b>Vorwort zur 1. Auflage (März 2007) und zur 2. Auflage (November 2009).....</b>	<b>75</b>
<b>2</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>78</b>
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
<b>3</b>	<b>Stand der Technik .....</b>	<b>82</b>
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
<b>4</b>	<b>Errichtung .....</b>	<b>91</b>
<b>5</b>	<b>Betrieb .....</b>	<b>93</b>
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
<b>6</b>	<b>Schadenpotenziale und -szenarien .....</b>	<b>96</b>
6.1	Schadenpotenziale .....	96
6.2	Schadenszenarien.....	96
<b>7</b>	<b>Versicherbarkeit .....</b>	<b>97</b>
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	Haftpflichtrisiken.....	102
7.5	Transportrisiken (Seekasko) .....	103
7.6	Kumulkontrolle.....	103
<b>Anhang 1.1</b>	<b>.....</b>	<b>105</b>
<b>Anhang 1.2</b>	<b>.....</b>	<b>106</b>
<b>Anhang 1.3</b>	<b>.....</b>	<b>107</b>
<b>1</b>	<b>Höchstentschädigung .....</b>	<b>107</b>
<b>2</b>	<b>Versicherte Sachen.....</b>	<b>107</b>
<b>3</b>	<b>Deckungen für zusätzliche Kosten .....</b>	<b>108</b>
3.1	Kosten der Schadenabwehrung 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
<b>4</b>	<b>Sachverständiger (Warranty Surveyor).....</b>	<b>110</b>
<b>5</b>	<b>Sonstige Bedingungen .....</b>	<b>112</b>
5.1	Fundamente.....	112
5.2	Gerichtetes horizontales Bohren.....	112

## **Anhang 2 VdS 3523 Brandschutz in Windenergieanlagen (WEA)**

<b>1</b>	<b>Vorbemerkungen .....</b>	<b>113</b>
<b>2</b>	<b>Anwendungsbereich .....</b>	<b>113</b>
<b>3</b>	<b>Risiken.....</b>	<b>114</b>
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
<b>4</b>	<b>Schutzziele und Schutzkonzept .....</b>	<b>119</b>
<b>5</b>	<b>Schutzmaßnahmen.....</b>	<b>121</b>
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
<b>6</b>	<b>Literatur / Quellen .....</b>	<b>132</b>

### **Anhang 3 Technischer Anhang**

<b>1</b>	<b>Bestimmungen und Qualitätskriterien zur Errichtung von fabrikfertigen Stationen .....</b>	<b>135</b>
1.1	Einleitung.....	135
1.2	Allgemeines.....	135
<b>2</b>	<b>Errichtung der Station.....</b>	<b>135</b>
2.1	Typprüfungen .....	135
2.2	Prüfungen zum Nachweis der Erwärmung der Hauptbestandteile in einer Station (Erwärmungsprüfungen).....	135
2.3	Störlichtbogenprüfung .....	136
<b>3</b>	<b>Dokumentation/Prüfprotokolle.....</b>	<b>136</b>
<b>4</b>	<b>Mindestanforderungen an die Stationsausstattung .....</b>	<b>136</b>
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
<b>5</b>	<b>Service.....</b>	<b>138</b>

### **Anhang 4 Anforderungen an Condition Monitoring Systeme für Windenergieanlagen**

<b>1</b>	<b>Richtlinie für die Zertifizierung von Condition Monitoring Systemen für Windenergieanlagen .....</b>	<b>139</b>
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
<b>4</b>	<b>Montagesysteme .....</b>	<b>160</b>
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
<b>5</b>	<b>Standsicherheitsnachweis (Statik).....</b>	<b>163</b>
<b>6</b>	<b>Kabel .....</b>	<b>163</b>
<b>7</b>	<b>Blitz- und Überspannung.....</b>	<b>164</b>
7.1	Äußerer Blitzschutz.....	164
7.2	Innerer Blitzschutz .....	164
7.3	Normen für Blitzschutzanlagen.....	165
7.4	Literatur zum Blitzschutz.....	165
<b>8</b>	<b>Schadenerfahrungen .....</b>	<b>166</b>
8.1	Blitz- und Überspannungsschäden.....	166
8.2	Schadenhäufigkeit und -verteilung an Photovoltaikanlagen .....	166
8.3	Marderschäden .....	167
8.4	Umweltbelastung.....	167
<b>9</b>	<b>Unterbrechungsschäden.....</b>	<b>168</b>
9.1	Betriebsunterbrechung .....	168
9.2	Ertragsprognosen .....	169
9.3	Einstrahlungsdaten.....	169
9.4	Datenquellen .....	169
9.5	Performance Ratio.....	170
<b>10</b>	<b>Vergütungssätze 2010 .....</b>	<b>170</b>
<b>11</b>	<b>Thermische Solaranlagen und -kraftwerke .....</b>	<b>170</b>
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	<b>GDV-Publikationen .....</b>	<b>176</b>
13	<b>Internetadressen .....</b>	<b>177</b>

## V Biomasse

1	<b>Grundlagen.....</b>	<b>181</b>
1.1	Biogene Festbrennstoffe.....	181
1.2	Holzartige Biomasse .....	181
1.3	Energiepflanzen .....	181
2	<b>Eigenschaften der Biomasse.....</b>	<b>182</b>
3	<b>Aufbereitung, Lagerung und Transport .....</b>	<b>184</b>
3.1	Feste Biomasse .....	184
3.2	Flüssige Bioenergieträger .....	185
4	<b>Energetische Nutzung.....</b>	<b>185</b>
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	<b>Relevante gesetzliche Rahmenbedingungen .....</b>	<b>200</b>
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

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

## **VI Biogene Kraftstoffe**

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

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

## VII Biogas

<b>1</b>	<b>Grundlagen.....</b>	<b>233</b>
1.1	Mikrobiologie und Biochemie der Vergärung .....	233
1.2	Einphasiges Verfahren.....	233
1.3	Zweiphasiges Verfahren.....	234
1.4	Eigenschaften von Biogas.....	234
<b>2</b>	<b>Anlagentechnik .....</b>	<b>235</b>
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
<b>3</b>	<b>Substrataufbereitung .....</b>	<b>243</b>
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 <sub>4</sub> -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
<b>4</b>	<b>Biogasaufbereitung .....</b>	<b>249</b>
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
<b>5</b>	<b>Biogaseinspeisung .....</b>	<b>252</b>
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	Deponegas .....	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
<b>6</b>	<b>Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) .....</b>	<b>257</b>
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
<b>7</b>	<b>Smart Grid (oder Stromnetze, die mitdenken) .....</b>	<b>262</b>
<b>8</b>	<b>Korrosion .....</b>	<b>264</b>
<b>9</b>	<b>Unterbrechungsschäden .....</b>	<b>265</b>

<b>10</b>	<b>Sicherheitsregeln für landwirtschaftliche Biogasanlagen.....</b>	<b>265</b>
10.1	Gefahren und Risiken .....	265
10.2	Brandschutz .....	266
10.3	Blitz- und Überspannungsschutz .....	268
10.4	GDV-Publikationen.....	268
<b>11</b>	<b>Gütekriterien für Biogasanlagen nach VDI 4631 .....</b>	<b>268</b>
<b>12</b>	<b>Prävention .....</b>	<b>269</b>
12.1	Wartungsvertrag.....	269
12.2	Revisionen.....	269
12.3	Thermografie .....	269
<b>13</b>	<b>Schadenerfahrungen .....</b>	<b>270</b>
13.1	Eintragsystem.....	270
13.2	Fermentertechnik .....	270
13.3	Turboladerschaden.....	270
13.4	Korrodierte Pleuelbuchsen .....	271
13.5	Generatorausfall .....	271
13.6	Großschadenereignisse.....	271
<b>14</b>	<b>Ausblick .....</b>	<b>272</b>
<b>15</b>	<b>Fazit.....</b>	<b>273</b>
<b>16</b>	<b>Regelwerke und Vorschriften .....</b>	<b>273</b>
<b>17</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>274</b>

## **VIII Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologie**

<b>1</b>	<b>Brennstoffzellen.....</b>	<b>279</b>
<b>2</b>	<b>Brennstoffzelleneigenschaften .....</b>	<b>279</b>
<b>3</b>	<b>Brennstoffzellenfunktion .....</b>	<b>280</b>
<b>4</b>	<b>Brennstoffzellen.....</b>	<b>280</b>
4.1	Einteilung der Brennstoffzellen .....	280
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
<b>5</b>	<b>Wasserstoff .....</b>	<b>294</b>
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 <sub>2</sub> -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	Metallhybridspeicher .....	301
5.4.2.4	Grafitspeicher .....	301
5.4.3	Weitere Speicherentwicklungen.....	301
<b>6</b>	<b>Wasserstoffsicherheit.....</b>	<b>302</b>
6.1	Versprödung von Metallen.....	302
<b>7</b>	<b>Regelwerke.....</b>	<b>302</b>
<b>8</b>	<b>Prognosen für den Brennstoffzellenmarkt.....</b>	<b>304</b>
<b>9</b>	<b>Forschung und Entwicklung (Zusammenfassung) .....</b>	<b>305</b>
<b>10</b>	<b>Quellenverzeichnis und Internetadressen.....</b>	<b>306</b>

## **IX Geothermie**

<b>1</b>	<b>Energiepotential .....</b>	<b>311</b>
<b>2</b>	<b>Die Nutzungsarten.....</b>	<b>311</b>
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, Energiefähle .....	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
<b>3</b>	<b>Geothermische Bohrverfahren.....</b>	<b>325</b>
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
<b>4</b>	<b>Das „Fündigkeitsrisiko“ .....</b>	<b>326</b>
<b>5</b>	<b>Betriebsunterbrechung .....</b>	<b>327</b>
<b>6</b>	<b>Fazit .....</b>	<b>327</b>
<b>7</b>	<b>Internetadressen .....</b>	<b>327</b>

## **X Carbon Capture and Storage**

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>333</b>
1.1	Der Energieträger Kohle .....	333
<b>2</b>	<b>Die CCS-Prozessschritte .....</b>	<b>334</b>
2.1	Übersicht .....	334
2.2	Die CO <sub>2</sub> -Abscheidung .....	335
2.3	Einsatzgebiete der Technologien .....	335
2.4	Das Post-Combustion-Verfahren .....	336
2.4.1	Der CO <sub>2</sub> -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 <sub>2</sub> -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
<b>3</b>	<b>Der CO<sub>2</sub>-Transport .....</b>	<b>346</b>
3.1	Verdichtung von CO <sub>2</sub> .....	346
3.2	Verflüssigung von CO <sub>2</sub> .....	347
3.3	Schiffstransport .....	347
3.4	Pipelines .....	347

<b>4</b>	<b>Die geologische CO<sub>2</sub>-Speicherung .....</b>	<b>348</b>
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
<b>5</b>	<b>Übergeordnete Betrachtungen .....</b>	<b>356</b>
5.1	Technologische Aspekte.....	356
5.2	Wirtschaftliche Aspekte.....	358
5.3	Politische Aspekte.....	359
5.4	Versicherungsspezifische Betrachtung.....	360
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>361</b>
<b>7</b>	<b>Quellenverzeichnis und Internetadressen.....</b>	<b>362</b>

## **XI    Glossar**

<b>A - C .....</b>	<b>367</b>
<b>D - E .....</b>	<b>370</b>
<b>F - J .....</b>	<b>373</b>
<b>K - M .....</b>	<b>376</b>
<b>N - R .....</b>	<b>379</b>
<b>S - Z .....</b>	<b>381</b>