INHALT

SEITE
1 KLEINWASSERKRAFT 9
1.1 EINFÜHRUNG 9
1.1.1 Grundlagen 9
1.1.2 Planung einer Kleinwasserkraftanlage 9
1.2 WASSERKRAFTPOTENTIALE UND ANLAGENAUSWAHL 10
1.2.1 Hydrologie 10
1.2.2 Wasserkraftpotentiale 10
1.2.3 Jahresenergieproduktion 11
1.2.4 Standortwahl und Anlagenanordnung 11
1.3 WASSERBAULICHE ANLAGENTEILE 12
1.3.1 Dämme und Wehre 12
1.3.2 Einlassbauwerk 12
1.3.3 Kanäle 12
1.3.4 Druckrohrleitungen 14
1.3.5 Abflusskanäle 14
1.4 ELEKTROMECHANISCHE AUSRÜSTUNG 14
1.4.1 Turbinen 14
1.4.2 Getriebe und Drehzahlübersetzer 17
1.4.3 Generatoren 17
1.4.4 Regler 17
1.4.5 Schalt- und Schutzeinrichtungen 18
1.4.6 Automatische Steuerung 18
1.4.7 Hilfseinrichtungen 19
1.5 KOSTEN UND WIRTSCHAFTLICHKEIT 19
1.6 GENEHMIGUNGEN UND BEWILLIGUNGSVERFAHREN 19
1.7 UMWELTAUSWIRKUNGEN 20
2 WINDENERGIE 20
2.1 WINDKRAFT 20
2.1.1 Die Entstehung des Windes 20
2.1.2 Leistungsdichte des Windes 20
2.1.3 Windverhältnisse 21
2.1.3.1 Zeitabhängigkeit der Windgeschwindigkeit 21
2.1.3.2 Höhenabhängigkeit der Windgeschwindigkeit 22
2.1.3.3 Standortabhängigkeit der Windgeschwindigkeit 23
2.1.4 Globale Windpotentiale 23
2.1.5 Entwicklung und Perspektiven der Windenergienutzung 23
2.2 AUFBAU VON WINDKRAFTANLAGEN 24
2.2.1 Allgemeines 24
2.2.2 Rotor 24
2.2.3 Gondel 25
2.2.3.1 Rotorwelle 25
2.2.3.2 Scheibenbremse 25
2.2.3.3 Getriebe 25
2.2.3.4 Generator 26
2.2.3.5 Windrichtungsnachführung 26
2.2.4 Turm 26
2.2.4.1 Freitragende Rohrtürme 26
2.2.4.2 Freitragende Gittertürme 27
2.2.4.3 Abgespannte Türme 27
2.2.5 Leistungsregelung 27
2.2.6 Rotordrehzahl 27
2.3 LEISTUNGSCHARAKTERISTIK 28
2.3.1 Einsatzbereiche von Windkraftanlagen 28
2.3.1.1 Windparks 28
2.3.1.2 Dezentraler Einsatz von Windkraftanlagen 28
2.3.1.3 Hybridsysteme 29
2.3.2 Energieertrag von Windkraftanlagen 29
2.3.2.1 Allgemeines 29
2.3.2.2 Abschätzung der Jahresenergieertrages 29
2.3.2.3 Auslastungsfaktor 30
2.3.3 Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit von Windkraftanlagen 30
2.3.4 Netzintegration von Windkraftanlagen 30

2.3.4.1 Korrelation mit der erforderlichen Netzlast 31
2.3.4.2 Windparks 31
2.3.4.3 Qualitätskriterien der Leistung 31
2.3.5 Wirtschaftlichkeit 31
3 PHOTOVOLTAIK 32
3.1 EINFÜHRUNG 32
3.1.1 Hintergrund 32
3.1.2 Sonnenenergie 32
3.2 SOLARZELLEN 33
3.2.1 Entstehungsgeschichte von Solarzellen 33
3.2.2 Herstellung von Solarzellen 33
3.2.3 Funktionsweise von Solarzellen 34
3.3 PHOTOVOLTAIK-GENERATOR 35
3.3.1 Komponenten eines PV-Generators 36
3.3.1.1 Solarzelle 36
3.3.1.2 Strang 36
3.3.1.3 Solarmodul 36
3.3.1.4 Einkapselung 36
3.3.1.5 Schutzdioden 37
3.3.1.6 Montagesysteme 37
3.3..2 Funktionsweise eines PV-Generators 37
3.3.2.1 Serienschaltung 37
3.3.2.2 Parallelschaltung 38
3.3.2.3 Schutzdioden 38
3.3.2.4 Nachführung 38
3.4 PHOTOVOLTAIK-SYSTEME 39
3.4.1 Markt 39
3.4.2 Autarke Inselsysteme 40
3.4.2.1 Komponenten und Wartung 40
3.4.2.2 Kosten und Wirtschaftlichkeit 41
3.4.2.3 PV-Hybridsysteme 41
3.4.3 Netzgekoppelte Systeme 41
3.5 WIRTSCHAFTLICHE UND ÖKOLOGISCHE ASPEKTE 42
3.5.1 Wirtschaftlichkeit 42
3.5.2 Ökologische Aspekte 42
4 SOLARTHERMISCHE STROMERZEUGUNG 43
4.1 EINFÜHRUNG 43
4.2 SOLARTHERMISCHE KRAFTWERKSKONZEPTE 43
4.2.1 Parabolrinnen-Kraftwerke 43
4.2.2 Solarturm-Kraftwerke 45
4.2.3 Dish/Stirling-Anlagen (Paraboloidkraftwerke) 46
4.2.4 Aufwindkraftwerke 47
4.3 KOSTEN SOLARTHERMISCHER KRAFTWERKE 47
4.3.1 Parabolrinnen-Kraftwerke 47
4.3.2 Solarturm-Kraftwerke 48
4.3.3 Dish/Stirling-Anlagen 49
4.4 PROJEKTENTWICKLUNGEN 49
4.5 MARKTAUSSICHTEN 51
5 GEOTHERMISCHE ENERGIE 52
5.1 WESENTLICHE MERKMALE GEOTHERMISCHER ENERGIE 52
5.1.1 Grundlagen 52
5.1.2 Geothermische Vorkommen 52
5.1.2.1 Hydrothermale Niederdrucklagerstätten 52
5.1.2.2 Hydrothermale Hochdrucklagerstätten 53
5.1.2.3 Heiße, trockene Gesteine 53
5.1.2.4 Magmavorkommen 53
5.1.3 Nutzung der geothermischen Energie 53
5.1.3.1 Geothermische Stromerzeugung 54
5.1.3.2 Direkte Wärmenutzung 54
5.2 VERFAHREN ZUR STROMERZEUGUNG 54
5.2.1 Grundlagen 54
5.2.2 Anlagen mit direkter Nutzung des Dampfes 55
5.2.3 Anlagen mit Single- und Double-Flash-Systemen 55
5.2.4 Binäranlagen 56

5.2.4.1 Rankine-Prozess mit organischem Arbeitsmittel (Organic Rankine Cycle, ORC) 57
5.2.4.2 Kalina-Prozess 57
5.2.5 Hybrid-Kraftwerke 57
5.2.6 Wirkungsgrade 58
5.3 AUFSCHLIESSEN GEOTHERMISCHER RESSOURCEN/HERSTELLEN VON FÖRDERSONDEN 58
5.3.1 Tiefbohranlage 59
5.3.1.1 Bohrplatzerstellung und -einrichtung 59
5.3.1.2 Bohrverfahren 59
5.3.2 Bohrtechnik 59
5.3.3 Bohrspülungen 60
5.3.4 Verrohrung und Zementation 60
5.3.5 Komplettierung 60
5.4 POTENTIALE GEOTHERMISCHER STROMERZEUGUNG 61
5.4.1 Weltweit 61
5.4.2 Deutschland 61
5.5 KOSTEN UND WIRTSCHAFTLICHKEIT 62
5.6 UMWELTAUSWIRKUNGEN 62
5.6.1 Allgemein 62
5.6.2 Umweltauswirkungen im Normalbetrieb 63
5.6.3 Umweltauswirkungen durch Störfälle 63
6 BIOMASSE 63
6.1 BIOMASSE ALS ENERGIETRÄGER 63
6.1.1 Allgemeines 63
6.1.2 Kreislauf bei der energetischen Nutzung der Biomasse 64
6.1.3 Strom aus Biomasse 64
6.2 ARTEN VON BIOMASSE ZUR STROMERZEUGUNG 65
6.2.1 Holzartige Biomasse 65
6.2.1.1 Reststoffe aus der Zellstoff- und Papierindustrie 65
6.2.1.2 Waldrestholz 65
6.2.1.3 Be- und Verarbeitungsresthölzer 65
6.2.1.4 Altholz 65
6.2.2 Landwirtschaftliche Reststoffe 66
6.2.2.1 Bagasse 66
6.2.2.2 Reisspelzen 66
6.2.2.3 Stroh 66
6.2.3 Energiepflanzen 66
6.2.4 Abfälle 66
6.2.4.1 Abfälle aus der Industrie 66
6.2.4.2 Haushaltsabfälle 66
6.2.4.3 Abfälle aus der Tierhaltung 67
6.2.4.4 Abwässer 67
6.3 STROMERZEUGUNG AUS BIOMASSE 67
6.3.1 Technik der Energieumwandlung 67
6.3.2 Verbrennung 68
6.3.2.1 Festbettfeuerung 68
6.3.2.2 Wirbelschichtfeuerung 68
6.3.2.3 Einblasfeuerung 69
6.3.3 Ko-Verbrennung in Kohlekraftwerken 69
6.3.4 Vergasung 69
6.4 MARKTPOTENTIALE, UMWELT UND WIRTSCHAFT 71
6.4.1 Marktentwicklung 71
6.4.2 Ökologische Aspekte 71
6.4.3 Wirtschaftliche Vorteile 72
6.4.4 Markthemmnisse 72
7 SPEICHERSYSTEME 73
7.1 EINFÜHRUNG 73
7.2 ELEKTROCHEMISCHE SPEICHER / BATTERIEN 73
7.2.1 Blei-Säure-Akkumulatoren 73
7.2.2 Nickel-Cadmium- und Nickel-Metallhydrid-Akkumulatoren 74
7.2.3 Lithium-Akkumulatoren 74
7.2.4 Lade- und Entladekontrolle 74
7.3 PUMPSPEICHER 75
7.4 DRUCKLUFTSPEICHER 76
7.5 SCHWUNGRADSPEICHER 76

7.6 SUPRALEITENDE MAGNETISCHE ENERGIESPEICHER (SMES) 76
7.7 SUPERKONDENSATOREN 77
7.8 WASSERSTOFF 77
8 RAHMENBEDINGUNGEN, POTENTIALE UND MARKTPERSPEKTIVEN 78
8.1 ERNEUERBARE ENERGIEN IN DER ENERGIEVERSORGUNG 78
8.1.1 Der Strommarkt 78
8.1.2 Beitrag zur CO2 -Minderung 79
8.1.3 Wirtschaftliche Implikationen 79
8.1.4 Kosten der Energiebereitstellung 80
8.2 FINANZIELLE FÖRDERUNG 80
8.2.1 Förderung auf Bundesebene 82
8.2.1.1 Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) 83
8.2.1.2 Das Marktanreizprogramm zur Förderung der Nutzung erneuerbarer Energien 83
8.2.1.3 Das "100.000 Dächer Solarstrom" -Programm 83
8.2.2 Förderung durch die Bundesländer 85
8.2.3 Kommunale Förderung 85
8.2.4 Private Förderung 85
8.2.4.1 Förderung durch Energieversorgungsunternehmen 85
8.2.4.2 Fonds- und Beteiligungsmodelle 85
8.2.4.3 Grüner Strom 86
8.3 POLITIK ZUR FÖRDERUNG ERNEUERBARER ENERGIEN 86
8.3.1 Klimaschutz und erneuerbare Energien 86
8.3.2 Das europäische Leitbild zu erneuerbaren Energien 87
8.3.3 Ökologische Steuerreform 88
8.4 NUTZUNGSPERSPEKTIVEN ERNEUERBARER ENERGIEN 88
8.5 NUTZUNG ERNEUERBARER ENERGIEN IN EUROPA 88

ANHANG 90

LITERATURVERZEICHNIS 91