

Peter Weilharter

Wüstenstrom für Europa

Chancen und Herausforderungen bei der Nutzung
solarthermischer Großkraftwerke

Diplomarbeit

BACHELOR + MASTER
Publishing

Weilharter, Peter: Wüstenstrom für Europa: Chancen und Herausforderungen bei der Nutzung solarthermischer Großkraftwerke, Hamburg, Bachelor + Master Publishing 2013

Originaltitel der Abschlussarbeit: Chancen und Herausforderungen bei der Nutzung solarthermischer Großkraftwerke

Buch-ISBN: 978-3-95684-041-8

PDF-eBook-ISBN: 978-3-95684-541-3

Druck/Herstellung: Bachelor + Master Publishing, Hamburg, 2013

Covermotiv: © Kobes - Fotolia.com

Zugl. Westsächsische Hochschule Zwickau, Zwickau, Deutschland, Diplomarbeit, Juni 2013

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden und die Diplomica Verlag GmbH, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Alle Rechte vorbehalten

© Bachelor + Master Publishing, Imprint der Diplomica Verlag GmbH
Hermannstal 119k, 22119 Hamburg
<http://www.diplomica-verlag.de>, Hamburg 2013
Printed in Germany

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Bilderverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	VI
Abkürzungen und Einheiten	VII
1 Einleitung	1
1.1 Zielsetzung	1
1.2 Bedeutung von solarthermischen Kraftwerken	1
1.3 Methodik	2
2 Grundlagen.....	3
2.1 Standortvoraussetzungen	3
2.2 Arten von solarthermische Großkraftwerken - CSP	4
2.2.1 Parabolrinnen-Kollektoren – PRK	4
2.2.2 Fresnel-Spiegel-Kollektoren – FSK.....	10
2.2.3 Zentralreceiver- bzw. Solarturm	12
2.2.4 Dish-Stirling-Anlagen	15
2.2.5 Hybride Solarkraftwerke.....	16
2.3 Energieumwandlung	19
2.3.1 Clausius-Rankine-Vergleichsprozess	19
2.3.2 Überhitzung des Frischdampfes	23
2.3.3 Zwischenüberhitzung	24
2.3.4 Gas- und Dampfturbinenkraftwerk - GuD.....	24
2.3.5 Kühlsysteme	28
2.4 Leistungsfähigkeit von Solarkraftwerken.....	30
3 Technischer Entwicklungsbedarf und Trends	32
3.1 Vollzeitbetrieb	32
3.1.1 Thermische Speicherung	32
3.1.2 Sensible Wärmespeicher	32
3.1.3 Latente Wärmespeicher.....	34
3.1.4 Chemische Wärmespeicherung	35

3.1.5	Sorption-Wärmespeicherung	36
3.1.6	Investitionskosten verschiedener Speichersysteme.....	36
3.2	Solarthermochemische Herstellung von Wasserstoff.....	37
3.2.1	Aktuelle Projekte	38
3.3	Trends.....	42
4	Ökonomische Auswirkungen	43
4.1	Investitionskosten	43
4.2	Stromgestehungskosten von solarthermischen Großkraftwerken.....	44
4.3	Vergleich mit konkurrierenden Techniken	50
4.3.1	Jahresstromproduktion in einem Solarkraftwerk	50
4.3.2	Vollkosten der Stromerzeugung.....	51
4.3.3	Unterschiede zwischen PV und CSP	53
5	Zusammenfassung und Ausblick.....	53
	Literaturverzeichnis	56

Bilderverzeichnis

<u>Bild</u>	<u>Bildunterschrift</u>	<u>Seite</u>
Bild 1:	Sonnengürtel der Erde /1/	2
Bild 2:	Prozentueller Flächenbedarf pro Energiequelle nach /2/	3
Bild 3:	Parabolrinnen-Kollektor PRK /1/	4
Bild 4:	Schema eines PRK-Kraftwerks mit Zweitank-Wärmespeicherung /1/	5
Bild 5:	Andasol 3 /5/	6
Bild 6:	Shams 1 /6/	8
Bild 7:	Schema von Shams 1 mit hybridem Kraftwerksteil nach /7/	8
Bild 8:	Funktionsprinzip der Primärreflektoren /8/	10
Bild 9:	Querschnitt Receiver /8/	10
Bild 10:	30 MW solarthermisches Kraftwerk PE 2 /9/	11
Bild 11:	Prinzip Solarturmkraftwerk /10/	12
Bild 12:	Schema Solarturmkraftwerk /12/	13
Bild 13:	Solarthermisches Turmkraftwerk PS 20; Sevilla 2009 /5/	14
Bild 14:	Aufbau Dish-Stirling-Anlage /13/	15
Bild 15:	Maricopa Solar – Dish-Stirling-Kraftwerk /14/	16
Bild 16:	Prinzip eines Parabolrinnenkraftwerks mit parallelem Dampferzeuger und getrenntem Kollektor- und Dampfturbinenkreis /15/	17
Bild 17:	Prinzip eines GuD-Kraftwerks mit integriertem Parabolrinnenkollektorfeld /15/	18
Bild 16:	Wärmeschaltplan des einfachsten Dampfkraftwerks nach /16/	19
Bild 17:	Zustandsverlauf des idealisierten C-R-Prozesses (Satttdampf-Prozess) nach /16/	20
Bild 20:	Wärmeschaltbild mit Überhitzung nach /16/	23
Bild 21:	C-R-Prozess mit Überhitzung nach /16/	23
Bild 22:	C-R-Prozess mit Zwischenüberhitzung nach /16/	24
Bild 23:	GuD Schaubild nach /20/	26
Bild 24:	ACC Modul /24/	29
Bild 25:	Thermische Speicher in Andasol mit Flüssigsalzgemisch aus 60% Natriumnitrat (NaNO_3) und 40% Kaliumnitrat (KNO_3) /1/	33

Bild 26: Feststoffspeicher vor Anbringen der Isolation /26/	34
Bild 27: Sensible und latente Wärmespeicherung nach /27/	35
Bild 28: Spezifisches Invest für einen 8h-Speicher (erwartete Kosten 2035) nach /28/	36
Bild 29: Solarturm mit integriertem Pilotreaktor auf der Plataforma Solar de Almería in Südspanien /30/	39
Bild 30: Wasserstoffkonzentration im Abgas der Pilotanlage Hydrosol-2 /31/	40
Bild 31: Schema der solaren Zinkherstellung nach /32/	41
Bild 32: Gesamtleistung in MW der CSP-Kraftwerke weltweit (Stand:02.04.2013) /34/	42
Bild 33: Ressourcenanteile im europäischen Strommix des TRANS-CSP Scenarios /35/	43
Bild 34: Kostenaufteilung eines 50MW PRK– Kraftwerks mit 7h Speicher nach /37/	44
Bild 35: Stromgestehungskosten für PV, CSP und WIND (WEA) an Standorten in Deutschland und Spanien. Der Wert unter der Technologie bezieht sich auf die solare Einstrahlung in kWh/m ² /a (optimaler Neigungswinkel für PV berücksichtigt, DNI für CSP), bei Windkraft auf die Volllaststundenanzahl pro Jahr. /38/	46
Bild 36: Stromgestehungskosten für CSP nach Anlagentyp und Einstrahlung (DNI in kWh/m ² /a) /38/	47
Bild 37: Sensitivitätsanalyse CSP (100MW mit Speicher) mit jährlicher Einstrahlung von 2000 kWh/m ² /a, 100% entspricht Mittelwert für Parabol + Speicher aus Bild 36. /38/	48
Bild 38: Prognose für Stromgestehungskosten für EE anhand von Lernkurven und des konventionellen Strommix in Spanien bis 2030. /38/	48
Bild 39: Sensitivitätsanalyse für die Prognose von Stromgestehungskosten von CSP-Kraftwerken mittels Lernkurven. /38/	49
Bild 40: Marktprognose der kumulierten Kraftwerksleistung für solarthermische Kraftwerke 2010-2030, Sarasin (2009), Trieb (2009), Greenpeace (2009) /38/	49
Bild 41: Vollkosten der Stromerzeugung (Berechnung der CAPEX mit unterschiedlichen Betriebsstunden der Anlagen, Kostenstand 13.Juli.2011, Solarenergie PV und CSP in Spanien, Wind on- und	

offshore durchschnittliche Windbedingungen für Europa, Kohle und
Gas inkl. CO₂-Zertifikatskosten) /28/

52

Tabellenverzeichnis

<u>Tabelle</u>	<u>Tabellenüberschrift</u>	<u>Seite</u>
Tabelle 1:	Daten zu den Andasol-Kraftwerken /1/	6
Tabelle 2:	Daten zu Shams 1 /8/	9
Tabelle 3:	Daten zum Solarkraftwerk PE 2 /8/	11
Tabelle 4:	Daten zu PS20 – Solarturmkraftwerk /12/	14
Tabelle 5:	Eckdaten von Maricopa Solar /14/	16
Tabelle 6:	CO ₂ -Vergleich bei der Stromerzeugung in Deutschland /19/	25
Tabelle 7:	Korrekturfaktoren für Gasturbinenleistung /23/	28
Tabelle 8:	Art der Kühlung und Wirkungsgrad von Großkraftwerken /23/	29
Tabelle 9:	Vergleich verschiedener Kraftwerke und ihrer Volllaststunden und ihres Jahres-Kapazitätsfaktors nach /38/	51
Tabelle 10:	Unterschiedliche Parameter für PV und CSP	53