

# INHALTSVERZEICHNIS

|   |               |
|---|---------------|
| <b>1 EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG</b>                          | <b>- 1 -</b>  |
| <b>2 STAND DES WISSENS</b>  | <b>- 5 -</b>  |
| <b>2.1 Konzepte zur solarthermischen Stromerzeugung</b>           | <b>- 5 -</b>  |
| 2.1.1 Linienfokusierende Systeme                                  | - 6 -         |
| 2.1.2 Punktfokusierende Systeme                                   | - 6 -         |
| 2.1.3 Vorangegangene Potenzialbewertungen                         | - 8 -         |
| <b>2.2 Komponenten von Solarturmkraftwerken</b>                   | <b>- 9 -</b>  |
| 2.2.1 Heliostatenfeld, Turmreflektor und CPC                      | - 10 -        |
| 2.2.2 Turm  | - 11 -        |
| 2.2.3 Receiver  | - 12 -        |
| 2.2.4 Thermischer Speicher und Wärmetransportsystem               | - 13 -        |
| 2.2.5 Dampfprozesse   | - 13 -        |
| <b>2.3 Receiverkonzepte für Solarturmsysteme</b>                  | <b>- 15 -</b> |
| 2.3.1 Rohrreceiver  | - 15 -        |
| 2.3.2 Volumetrische Receiver                                      | - 16 -        |
| 2.3.3 Direkt absorbierende Receiver                               | - 17 -        |
| 2.3.4 Receiver für Turmreflektorsysteme                           | - 19 -        |
| <b>2.4 Stand der Umsetzung von Solartürmen mit Salzschnmelzen</b> | <b>- 20 -</b> |
| 2.4.1 Solar-Two   | - 21 -        |
| 2.4.2 Gemasolar   | - 22 -        |
| <b>3 KONZEPTBEWERTUNG</b>   | <b>- 23 -</b> |
| <b>3.1 Übergeordnete Annahmen</b>                                 | <b>- 24 -</b> |
| 3.1.1 Basis- bzw. Referenzkonzept und Leistungsklasse             | - 24 -        |
| 3.1.2 Standort und Auslegungszeitpunkt                            | - 24 -        |
| 3.1.3 Heliostatenfeld   | - 24 -        |
| 3.1.4 Receiver  | - 25 -        |
| 3.1.5 Wärmeträgermedium   | - 25 -        |
| 3.1.6 Wärmetransportsystem und thermischer Speicher               | - 25 -        |
| 3.1.7 Kosten  | - 26 -        |
| <b>3.2 Werkzeuge</b>  | <b>- 26 -</b> |
| <b>3.3 Datenfluss</b>   | <b>- 27 -</b> |
| <b>3.4 Receiver für erhöhte Temperaturen</b>                      | <b>- 28 -</b> |
| 3.4.1 Rohrreceiver  | - 28 -        |
| 3.4.2 Direktabsorption mit Flüssigfilmkühlung                     | - 33 -        |
| 3.4.3 Tankreceiver mit poröser Absorberstruktur                   | - 35 -        |

|   |         |
|---|---------|
| <b>3.5 Dampfprozesse der Konzeptbewertung</b>                   | - 37 -  |
| <b>3.6 Kostenmodelle</b>  | - 37 -  |
| <b>3.7 Jahresrechnung</b>                                       | - 39 -  |
| <b>3.8 Ergebnisse der Konzeptbewertung und Konzeptauswahl</b>   | - 42 -  |
| 3.8.1 Gegenüberstellung der Konzentratorsysteme                 | - 42 -  |
| 3.8.2 Gegenüberstellung der Receiverkonzepte                    | - 44 -  |
| 3.8.3 Gegenüberstellung der Potenziale zur Kostenreduktion      | - 48 -  |
| <b>4 INNEN LIEGENDE DIREKTABSORPTION MIT FLÜSSIGFILMKÜHLUNG</b> | - 53 -  |
| <b>4.1 Modellbildung</b>  | - 53 -  |
| 4.1.1 Receivergeometrie und Funktionsweise                      | - 53 -  |
| 4.1.2 Strömung des Flüssigfilms                                 | - 55 -  |
| 4.1.3 Dicke des Flüssigfilms                                    | - 57 -  |
| 4.1.4 Strahlungsmodelle   | - 58 -  |
| 4.1.5 Freie Konvektion  | - 63 -  |
| 4.1.6 Erzwungene Konvektion                                     | - 64 -  |
| 4.1.7 Stoffübergang   | - 65 -  |
| 4.1.8 Stabilitätskriterien des Flüssigfilms                     | - 66 -  |
| 4.1.9 Tropfenaustrag  | - 69 -  |
| <b>4.2 Betriebsstrategien</b>                                   | - 70 -  |
| 4.2.1 Massenstromregelung                                       | - 70 -  |
| 4.2.2 Receiverrotation  | - 72 -  |
| <b>4.3 CFD-Implementierung</b>                                  | - 75 -  |
| 4.3.1 Entkoppeltes CFD-Modell                                   | - 75 -  |
| 4.3.2 Randbedingungen   | - 77 -  |
| 4.3.3 Diskretisierung und Netzstudie                            | - 78 -  |
| 4.3.4 Plausibilitätsprüfung                                     | - 79 -  |
| <b>5 AUSLEGUNG UND ANALYSE DES IDAR-LEITKONZEPTS</b>            | - 81 -  |
| <b>5.1 Randbedingungen der Auslegung</b>                        | - 81 -  |
| <b>5.2 IDAR-Leitkonzept</b>                                     | - 82 -  |
| 5.2.1 Heliostatenfeld und Turm                                  | - 82 -  |
| 5.2.2 Receiver  | - 85 -  |
| 5.2.3 Speicher  | - 94 -  |
| 5.2.4 Dampfprozess  | - 94 -  |
| 5.2.5 Ansätze zur Betriebsführung                               | - 94 -  |
| <b>5.3 Betriebskriterien des IDARs</b>                          | - 98 -  |
| 5.3.1 Analyse der Temperaturfelder                              | - 98 -  |
| 5.3.2 Analyse der Filmstabilität                                | - 103 - |
| 5.3.3 Austrag des Wärmeträgermediums durch Tropfen              | - 106 - |

|   |         |
|---|---------|
| <b>5.3.4 Austrag durch Diffusion</b>                                | - 108 - |
| <b>5.4 Analyse des Betriebsverhaltens</b>                           | - 109 - |
| <b>5.4.1 Auslegungs-Zeitpunkt</b>                                   | - 109 - |
| <b>5.4.2 Teillastverhalten</b>                                      | - 115 - |
| <b>5.4.3 Jahres-Ergebnisse</b>                                      | - 119 - |
| <b>5.5 Kostenrechnung</b>   | - 121 - |
| <b>6 AUSBLICK</b>   | - 127 - |
| <b>7 ZUSAMMENFASSUNG</b>  | - 129 - |
| <b>8 ANHANG</b>   | - 135 - |
| <b>8.1 Modellannahmen</b>   | - 135 - |
| <b>8.2 Kostenannahmen</b>   | - 141 - |
| <b>8.3 Wärmestrahlung des gekühlten porösen Absorbers</b>           | - 142 - |
| <b>8.4 Passive Massenstromregelung in porösen Absorbern</b>         | - 148 - |
| <b>8.5 Messung der optischen Eigenschaften von HT-Salzschmelzen</b> | - 150 - |
| <b>8.6 Turmhöhe, Windeinflüsse und freie Konvektion</b>             | - 155 - |
| <b>8.7 Lagerung des Receivers und Filmführung</b>                   | - 156 - |
| <b>8.8 Verschmutzung des Wärmeträgermediums</b>                     | - 157 - |
| <b>8.9 Korrosion bzw. Materialpaarung</b>                           | - 158 - |
| <b>8.10 Wärmeübertrager</b>   | - 158 - |
| <b>8.11 Thermische Speichertechnologie</b>                          | - 159 - |
| <b>8.12 Leistungsklasse überkritischer Dampfprozesse</b>            | - 160 - |
| <b>8.13 Verwendete Dampfprozesse</b>                                | - 161 - |
| <b>8.14 Basislegende Demonstrations- und Testanlagen</b>            | - 167 - |
| <b>8.14.1 Themis</b>  | - 167 - |
| <b>8.14.2 SSPS</b>  | - 167 - |
| <b>8.14.3 MSEE</b>  | - 168 - |
| <b>8.15 Jahreserträge der Konzeptbewertung</b>                      | - 169 - |
| <b>8.16 Sensitivitätsanalysen der Konzeptbewertung</b>              | - 169 - |
| <b>9 LITERATURVERZEICHNIS</b>                                       | - 173 - |