

modul) mit fester Orientierung variiert die Intensität als Funktion der Tages- und Jahreszeit sowie der meteorologischen Bedingungen. Es ist üblich, die Intensität über den Jahresverlauf zu integrieren und die genannten Reduktionsfaktoren durch die Angabe einer äquivalenten Stundenzahl pro Jahr mit voller Einstrahlungsintensität (Vollaststunden) zu berücksichtigen, welche dieselbe Gesamtenergie ergeben. Im Schweizer Mittelland beträgt diese Zahl etwa 1000 Vollaststunden, in den Walliser Alpen 2000 Stunden und in den Wüstengebieten des Sonnengürtels der Erde bis zu 3000 Stunden.<sup>14</sup> Da die Energieerzeugungskosten einer Solaranlage (bei welcher keine Aufwendungen für Primärenergie anfallen!) zur Zahl der Betriebsstunden invers proportional sind, ist es sinnvoll, für grosse solarthermische Anlagen Standorte im Sonnengürtel in Betracht zu ziehen.

Damit ergibt sich die Notwendigkeit des Transportes in die Regionen mit hohem Energiebedarf sowie der Zwischenspeicherung zum Ausgleich saisonaler Ungleichgewichte. Das Konzept der Solarchemie besteht darin, dieses Problem dadurch zu lösen, dass anstelle von Strom direkt transportfähige chemische Energieträger erzeugt werden. Dazu bedient man sich endothermer chemischer Reaktionen. Die solare Kalzinierung<sup>15</sup> als Teilschritt der Zementherstellung ist ein Beispiel, wie durch das Einkoppeln von Sonnenenergie in einen energieintensiven Prozess fossile Energieäquivalente eingespart und damit CO<sub>2</sub>-Emissionen reduziert werden können. Das langfristige Ziel ist die Produktion von solaren Brennstoffen wie Wasserstoff oder energiereichen Materialien wie Zink.

Das Konzept<sup>16</sup> der am Paul Scherrer Institut verfolgten Prozesse ist in Abbildung 3 illustriert. In einem Hochtemperaturschritt wird ein Metalloxid (z. B. Eisen-, Zink- oder Manganoxid) durch die solare Einstrahlung (partiell) dissoziiert und dabei Sauerstoff abgespalten. Konzentriertes Sonnenlicht liefert die Energie für diese stark endotherme chemische Reaktion, und das reduzierte Metalloxid ist der direkt produzierte Energieträger. Dieser kann (etwa im Fall von Zink) direkt als Produkt verwendet werden; Alternativen sind die Produktion von Wasserstoff als sekundärem Energieträger durch eine exotherme Wasserspaltungsreaktion und die Option der Stromerzeugung in einer Brennstoffzelle.

Um die erforderlichen Temperaturen (typisch zwischen 1000 und 2000 °C) zu erreichen, muss das Sonnenlicht 1000- bis 3000-fach konzentriert werden. Im Labormassstab (typisch 10 kW) wurde das Konzept an den Solaröfen des PSI erfolgreich demonstriert.<sup>17</sup> Im industriellen Massstab entspricht die Auslegung einer derartigen Anlage einem solarthermischen Turmkraftwerk, d. h. sie besteht aus

14 W. Durisch, J. Keller, W. Bulgheroni, L. Keller, H. Fricker, *Applied Energy* 52, 111–124 (1995); W. Durisch, *Klimatologische Untersuchungen für Solarkraftwerke in den Alpen*, Bulletin SEV/VSE 10/96, pp. 16–18 (1996)

15 A. Imhof, in «Solar Thermal Concentrating Technologies», M. Becker and M. Böhmer (Eds.), Vol. 3, pp. 1241–1249, Müller Verlag, Heidelberg, 1997.

16 A. Steinfeld, P. Kuhn, A. Reller, R. Palumbo, J. Murray, Y. Tamaura, *Hydrogen Energy Progress XI*, 601–609 (1996); A. Steinfeld, *Energy* 22, 311–316 (1997)

17 K. Ehrensberger, A. Frei, P. Kuhn, H.R. Oswald, P. Hug, *Solid State Ionics* 78, 151 (1995)