

Herausforderungen in der Produktion von Receivern für Parabolrinnenkraftwerke

Dr. Nikolaus Benz
SCHOTT
nikolaus.benz@schott.com

Dr. Thomas Kuckelkorn
SCHOTT
thomas.kuckelkorn@schott.com

Andreas Neumayr
SCHOTT
andreas.neumayr@schott.com

Wolfgang Graf
Fraunhofer ISE
wolfgang.graf@ise.fraunhofer.de

Dr. Eckhard Lüpfer
DLR
eckhard.luepfert@dlr.de

Nach ersten Markterfolgen in den späten 80er Jahren haben solarthermische Kraftwerke in den letzten Jahren – vor allem aufgrund günstiger Rahmenbedingungen in Spanien und den USA – einen beachtlichen Aufschwung erlebt.

Die derzeit einzige kommerziell erprobte Technik basiert auf linear fokussierenden Parabolrinnenkollektoren. Diese bis zu 150 m langen Kollektoren sind aus rinnenförmigen parabolischen Spiegeln mit einer Aperturweite von knapp 6 m aufgebaut, welche die Solarstrahlung auf rohrförmige Receiver bündeln, die sich in der Brennlinie befinden. In den Receivern wird die konzentrierte Sonnenstrahlung dazu benutzt, ein zirkulierendes Wärmeträgeröl auf 400 Grad Celsius zu erwärmen. Mit diesem wird nachgeschaltet Dampf erzeugt, der wiederum eine konventionelle Turbine zur Stromerzeugung treibt.

Solarthermische Kraftwerke sind eine äußerst aussichtsreiche Technologie für den großtechnischen Ausbau von erneuerbaren Energien. In den sonnenreichen Gebieten der Erde können damit zukünftig in kostengünstiger Weise signifikante Anteile des Elektrizitätsbedarfs gedeckt werden. Aufgrund der zunehmenden Nachfrage in Spanien und den USA werden starke Wachstumsraten erwartet. Die Firma SCHOTT betreibt seit August 2006 eine hochautomatisierte Serienfertigung im nordbayerischen Mitterteich und wird aufgrund der hohen Marktnachfrage Anfang 2008 eine weitere Fertigungsstätte in Spanien in Betrieb nehmen.

Der Receiver besteht aus einem 4 Meter langen Stahlrohr mit strahlungsselektiver Absorberbeschichtung, das von einer evakuierten Hülle aus Glas mit einer Antireflexbeschichtung umgeben ist (*Abb. 1*). Metallische Faltenbälge an den Enden kompensieren die unterschiedliche Wärmedehnung von Absorber und Hülle. Für die vakuumdichte Verbindung zwischen Metall

und Glashülle sorgt ein Glas-Metall-Einschmelzverbund. Der Receiver konvertiert die konzentrierte Solarstrahlung mit einem maximalen Wirkungsgrad von knapp über 70 % in Wärme. Erreicht wird dies durch eine optimierte Strahlungsabsorption bei minimierten Wärmeverlusten. Das auf knapp 400°C erwärmte Öl wird zur Dampferzeugung genutzt. Mit dem gewonnenen Dampf wird eine konventionelle Turbine zur Stromerzeugung betrieben. In einem 50 MW_{el}-Kraftwerk werden rund 15.000 Receiver zu einer Gesamtlänge von 60 km verbaut.

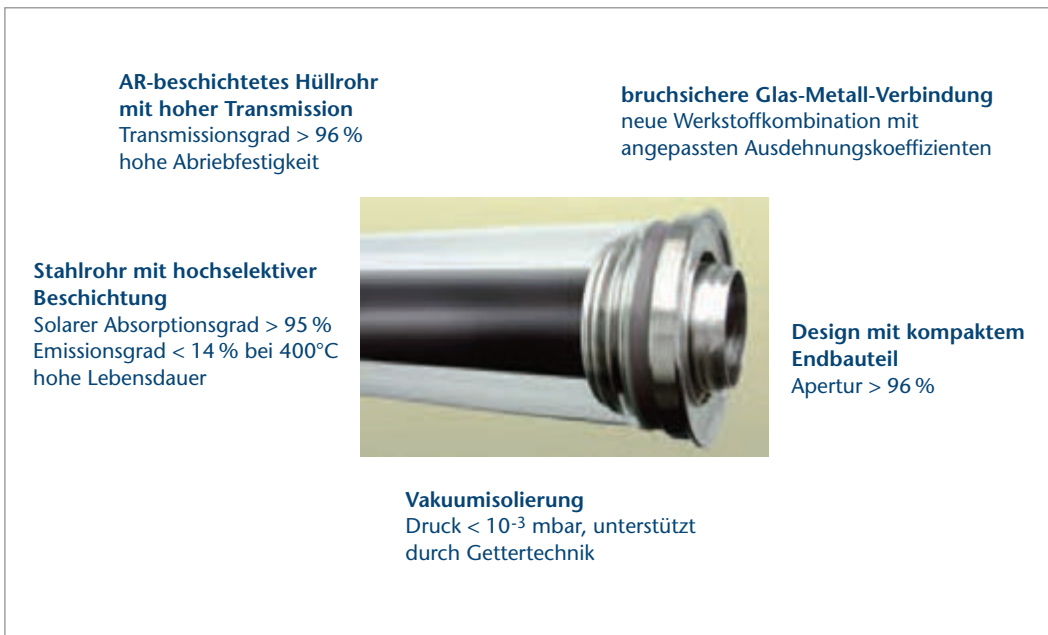
Die Qualitätsanforderungen an die Schlüsselkomponente Receiver sind hoch, da die Kraftwerksprojekte auf eine Lebensdauer über 20 Jahre bei geringsten Leistungsverlusten und geringen Wartungs- und Instandhaltungskosten bauen. Für dieses thermisch und mechanisch hoch belastete Bauteil müssen sich Entwicklung und Produktion vor allem folgenden Herausforderungen stellen:

- **Hochtransparente, abriebfeste Antireflex-Beschichtung**

Es wurde ein neues Verfahren zur Herstellung von Antireflex-Beschichtungen auf Rohren aus Borosilikatglas entwickelt. Es basiert auf SiO₂-Nanopartikeln in alkoholischer Lösung. Die Besonderheit ist die sehr gute Abriebbeständigkeit, für die zusammen mit der TU Clausthal-Zellerfeld ein patentiertes Verfahren entwickelt wurde. Dieses zeichnet sich zudem gegenüber herkömmlichen Sol-Gel-Verfahren¹ durch eine einfache und kostengünstige Prozessführung aus. In der Fertigung wird damit ein Transmissionsgrad $\geq 96\%$ sicher erreicht, der über eine eigens entwickelte und aufwändige Messtechnik nachgewiesen wird.

¹ Der Sol-Gel-Prozess ist ein Verfahren zur Synthese von Gelen auf Basis eines Sols.

Abbildung 1
Receiverrohr



- **Bruchfeste Glas-Metall-Verbindung**
Eines der Hauptprobleme der in den 80er Jahren gebauten Kraftwerke war die hohe Versagensrate der Glas-Metall-Verbunde bei den Receivern. Dies konnte durch eine neue Glas-Metall-Verbindungstechnik mit angepassten Dehnungseigenschaften beider Materialien gelöst werden, die ohne Übergangsgläser auskommt und automatisiert hergestellt werden kann. In der Fertigung wird die Qualität mit einem 100 %-Prooftest gesichert.
- **Neues kostengünstiges Beschichtungsverfahren für den Absorber**
Durch Sputtertechniken (in DC und MF-Betriebsweise) und gezielte Vorbehandlung der Substrate konnte ein effizienter Beschichtungsprozess realisiert werden. Neben den strahlungsoptischen Eigenschaften der Schichten ist die Beständigkeit bei Temperaturen von über 400°C von großer Bedeutung. Im Fertigungsprozess wird ein solarer Absorptionsgrad von $\geq 95\%$ und ein thermische Emissionsgrad bei 400°C von $\leq 14\%$ erreicht. Diese Parameter sowie die Langzeitbeständigkeit werden durch spektrometrische Messungen und beschleunigte Alterungstests laufend überwacht.
Für die produktionsstaugliche Messung der Absorptions- und Emissionsgrade auf den stark gekrümmten Oberflächen der

Absorberrohre wurden umfangreiche Messverfahren entwickelt.

- **Dauerhaftes Vakuum**
Ein Problem des heute üblichen synthetischen Thermoöls als Wärmeträger ist die einsetzende Zersetzung bei Temperaturen nahe 400°C. In diesem Prozess entsteht Wasserstoff, der dann durch den Stahlabsorber in die evakuierte Hülle diffundiert. Dies wird vakuumtechnisch beherrscht durch einen speziellen Stahl mit niedriger Wasserstoffpermeationsrate und einer richtig dimensionierten Menge an Gettermaterial im Vakuum, dass den Wasserstoff bindet. Durch eine platzsparende Anordnung von Faltenbalg und Glas-Metall-Verbund, die zu einer Vergrößerung der Apertur führt, wurde eine Steigerung von 2 % im Wirkungsgrad erreicht.

Im Zeitraum 2002–2006 wurde das Entwicklungsprojekt vom Bundesministerium für Umwelt (BMU) im Rahmen der Projekte PARASOL und PARFOR mit insgesamt rund 3,8 Mio. € gefördert. Partner von SCHOTT sind das Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR), das Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (Fraunhofer ISE) und die Firma Flagsol GmbH. Die Beteiligten danken dem BMU für die Unterstützung.