

## **Solarthermie 2000 plus: „Entwicklung eines neuartigen NIR-Lötverfahrens für Solarabsorber“**

**Teilvorhaben:**

**„Entwicklung des NIR-Lötverfahrens“**

**Förderkennzeichen: 0329282A**

**Abschlussbericht für den Zeitraum 01.03.2009 – 30.06.2010**

**Koordinator:** Technische Universität Dresden  
Professur Fügetechnik und Montage  
Prof. Dr.-Ing. habil. U. Füssel

**Zuwendungsempfänger Teilprojekt:**

Technische Universität Dresden  
Professur Fügetechnik und Montage  
01062 Dresden  
Tel.: 0351 / 4633 7615  
Fax.: 0351 / 4633 7249  
www.tu-dresden.de

**Projektleitung des Teilprojektes:**

Prof. Dr.-Ing. habil. U. Füssel,  
Dipl.-Ing. St. Six,  
Dipl.-Ing. J. Kalich

**Das Projekt wurde über das vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit finanzierte Förderprogramm „Solarthermie 2000plus“ gefördert und durch den Projektträger Jülich betreut sowie in Kooperation mit den Firmen Lambda Technology GmbH und Almeco-TiNOX GmbH bearbeitet.**

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>4</b>
1.1	Entwicklung Solarthermie.....	4
1.2	Stand der Technik bei der Absorberfertigung.....	4
1.3	Projektansatz .....	6
1.4	Begleitende Recherchen zur Patent- und Marktsituation.....	7
<b>2</b>	<b>Grundlagen.....</b>	<b>7</b>
2.1	Löten.....	7
2.2	Solareselektive Beschichtung und NIR-Strahlung .....	9
<b>3</b>	<b>Prozessgestaltung Löten .....</b>	<b>11</b>
3.1	Lotauswahl.....	11
3.2	Lotapplikation .....	13
<b>4</b>	<b>Aufbau und Erprobung Versuchsanlage 1 .....</b>	<b>14</b>
4.1	konstruktiver Aufbau.....	14
4.2	Lötversuche .....	19
4.2.1	Einleitung .....	19
4.2.2	Probenform .....	20
4.2.3	Lötparameter .....	20
4.2.4	Lötversuche .....	23
4.2.5	Optimierung der Prozessparameter.....	27
4.2.6	Lötversuche mit alternativen Fügeartikelwerkstoffen .....	29
<b>5</b>	<b>Aufbau und Erprobung Versuchsanlage 2 .....</b>	<b>31</b>
5.1	Überleitung der Ergebnisse von Versuchsanlage 1 .....	31
5.1.1	Anlagenkonzept.....	31
5.1.2	Temperaturregelung.....	33
5.1.3	Lotdosierung .....	36
5.2	Lötversuche und Weiterentwicklung der Versuchsanlage 2 .....	39
5.2.1	Einführung .....	39
5.2.2	Probe 500x160mm + 1 Rohr l=500mm .....	39
5.2.3	Probe 500x300mm + 2 Rohre l=500mm, Achsabstand 100mm .....	42
5.2.4	Probe 1000x300mm + 2 Rohre l=1000mm, Achsabstand 100mm ..	43

5.2.5	Probe 1870x900mm + 8 Rohre l=1870mm, Achsabstand 100mm ..	47
5.2.6	Probe 935x900mm + 8 Rohre l=935mm, Achsabstand 100mm .....	51
6	Weiterführende Arbeiten zur Prozessoptimierung .....	53
6.1	Einsatz eines Doppelstrahlers .....	53
6.2	Einsatz zusätzlicher Heizleiter .....	55
6.3	Einsatz quer angeordneter Zusatzstrahler .....	55
6.4	Stichversuche mit alternativen Lotwerkstoffen .....	57
7	Eignungsnachweis gelöteter Aluminium-Solarabsorber .....	58
7.1	Ausgasungstest .....	58
7.2	Korrosionstest .....	59
7.3	Wärmeübertragung der Lötverbindung .....	61
8	Zusammenfassung und Ausblick .....	64
9	Literatur .....	66

# **1 Einleitung**

## **1.1 Entwicklung Solarthermie**

Die Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien am Gesamtenergieverbrauch ist zentrale Zielstellung der Energiepolitik der Bundesrepublik. Dieses Ziel ist im Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) festgeschrieben und wird durch zusätzliche Maßnahmen, z.B. im Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) umgesetzt. Demnach soll der Anteil erneuerbarer Energien am Gesamtenergieverbrauch bis 2020 auf mindestens 18% steigen, während er im Jahr 2000 noch bei nur 3,8% lag /1/.

Um dieses Ziel zu erreichen, wurden und werden umfangreiche Förderprogramme aufgelegt. In diesem Umfeld ist das Förderkonzept „Solarthermie 2000plus“ angesiedelt, in dessen Rahmen das hier beschriebene Forschungsprojekt durchgeführt wurde. Die weiteren Förderschwerpunkte des Bundesumweltministeriums sind aktuell in der Förderbekanntmachung vom 22. November 2008 festgelegt.

Dadurch soll auch der Beitrag der Niedertemperatur-Solarthermie deutlich erhöht werden. Neben der Verbesserung der Speichertechnologien und dem Erschließen neuer Anwendungsgebiete sollen vor allem auch die Anlagenkosten gesenkt werden. Dies zu erreichen, wird der Einsatz neuer, preiswerter Materialien und Technologien bei der Kollektorfertigung forciert. Gleichzeitig gilt es, die Effizienz der Anlagen zu erhöhen. Dabei fällt insbesondere der Absorberfertigung eine wichtige Rolle zu.

## **1.2 Stand der Technik bei der Absorberfertigung**

Einleitend sei zunächst in Abbildung 1 der Aufbau eines Solar-Kollektors dargestellt.

Herzstück eines Kollektors ist der Absorber. Dieser besteht aus dem Absorberblech (2) und aus Rohren (3), durch die ein Wärmeträgerfluid zirkuliert, das die Energie dem Solarspeicher zuführt. Diese Rohre können durch Sammelrohre zur Harfe zusammengefasst oder durchgehend als Mäander ausgebildet sein. Stand der Technik ist, dass die der Sonne zugewandte Seite des Absorberbleches solarselektiv beschichtet ist. Diese Beschichtung (1) erhöht einerseits das Absorptionsvermögen der Absorber insbesondere im infraroten Spektralbereich des Lichtes auf ca. 95%, andererseits minimiert sie ihre Emission, so dass das Sonnenlicht im Absorber effek-

tiv in Wärme umgesetzt und an das Wärmeträgerfluid weitergeleitet wird. Absorber, Wärmedämmung (4), Kollektorkasten (5) und Absorberglas (6) bilden den Kollektor.

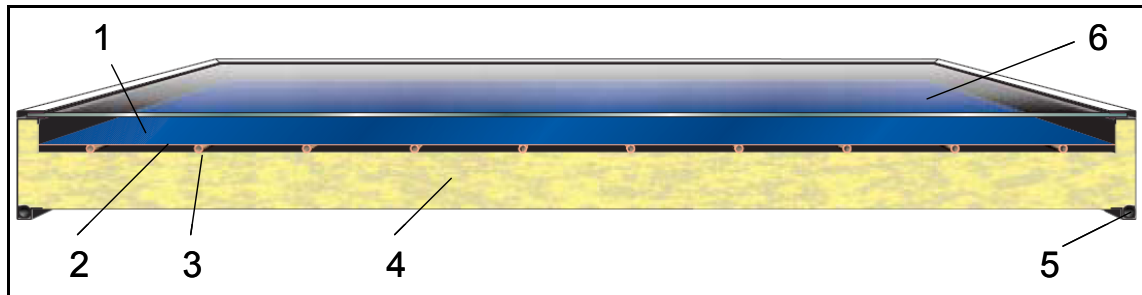


Abbildung 1: Aufbau eines Solar-Kollektors /1/

Weit verbreitet in der Absorberherstellung sind die Fügeverfahren Ultraschallschweißen und Laserschweißen. Bei diesen Verfahren findet ein lokal begrenzter Energieeintrag in die Fügezone statt. Beide führen jedoch im Bereich der Schweißnaht zur Schädigung der solarselektiven Schicht auf dem Absorberblech.

Auch das Löten von Rohrregister und Absorberblech ist ein etabliertes Fügeverfahren. Es existieren eine Vielzahl verschiedener Varianten in der Art und Weise der Erwärmung und der eingesetzten Lotwerkstoffe. Die Erwärmung erfolgt sehr häufig in Öfen, wobei der Absorber vollständig auf Löttemperatur erwärmt wird. Als Lotwerkstoffe kommen zurzeit ausschließlich Zinnbasislote mit harzhaltigen Flussmitteln und variierenden Legierungselementen zur Anwendung. Die typischen Löttemperaturen liegen hier bei ca. 220°C – 240°C im Bereich des Weichlötens.

Die so hergestellten Absorber bestehen häufig aus Kupfer, einzelne Hersteller fertigen auch in Mischbauweise aus Kupferrohren und Aluminiumblechen.

Fokussierte Infrarot (IR)-Strahlung als Energie zum Löten wird sehr häufig in der Mikroelektronik eingesetzt. Gerade im Bereich des Reflow-Lötens und des Selektiv-Lötens kommen Infrarotstrahler als Energiequelle zum Einsatz. Das Selektiv-Löten ist ein Verfahren, bei dem die Energie punktuell in die Fügezone eingeleitet wird, um einzelne Bauelemente elektrisch zu kontaktieren. Die in der Mikroelektronik eingesetzten Lotwerkstoffe sind ebenfalls Weichlote mit Löttemperaturen bis ca. 220°C.

Zum Löten in der Absorberfertigung kommen großflächige IR-Strahler zur Anwendung. Auch hier wird der Absorber wie beim Ofenlöten vollständig auf Löttemperatur erwärmt. Die hier eingesetzten IR-Strahler nutzen langwellige IR-Strahlung (MIR) mittlerer Intensität.