

Der Motor des Sonnenkollektors

Dr. Sonne

Der Solarabsorber ist eine eher unscheinbare Komponente des Sonnenkollektors. Da mit diesem Bauteil jedoch die Umwandlung der Strahlungsenergie der Sonne in nutzbare Wärme erfolgt, kann man den Absorber durchaus als Motor des Kollektors bezeichnen. Welche Arten von Absorbern und Beschichtungen es gibt, worin die Konstruktions- und Qualitätsunterschiede bestehen und worauf der Solar-Fachhandwerker bei der Kollektorauswahl achten sollte, wird nachfolgend erläutert.

Der Solarabsorber ist der „Motor“ des Sonnenkollektors. In ihm wird die Strahlungsenergie der Sonne in nutzbare Wärme umgewandelt. Im Folgenden werden einzelne Solarabsorber, deren Aufbau, Komponenten und die erforderlichen Beschichtungen beschrieben.

Solarabsorber im Vergleich

Bei den Flachkollektoren wurden in den vergangenen Jahren verschiedene Konzepte zur Verschaltung und Fertigung von Solarabsorbern entwickelt.

Serpentinen-/Mäanderabsorber

Beim Serpentinabsorber wird der gesamte Durchfluß des Wärmeträgers in einem einzigen Rohr durch den Kollektor gepumpt. Das Rohr wird in Form einer Serpentine mit dem Absorberblech verbunden (Bild 1). Der Serpentinabsorber ist einfacher zu

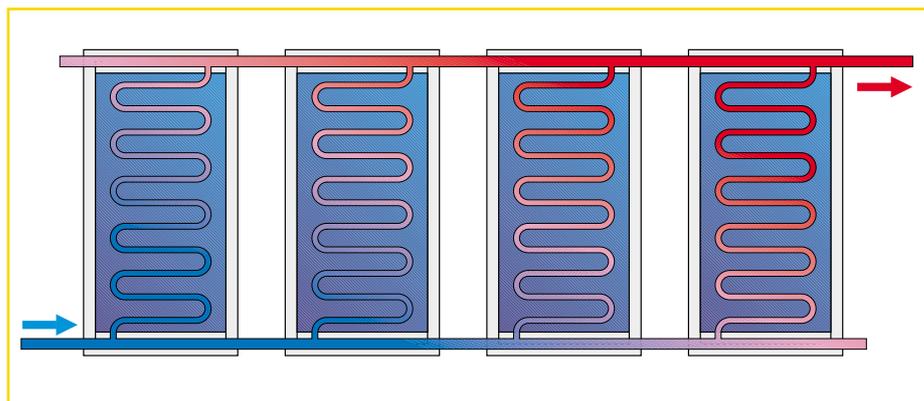


Bild 1: Kollektoren mit Serpentinabsorber

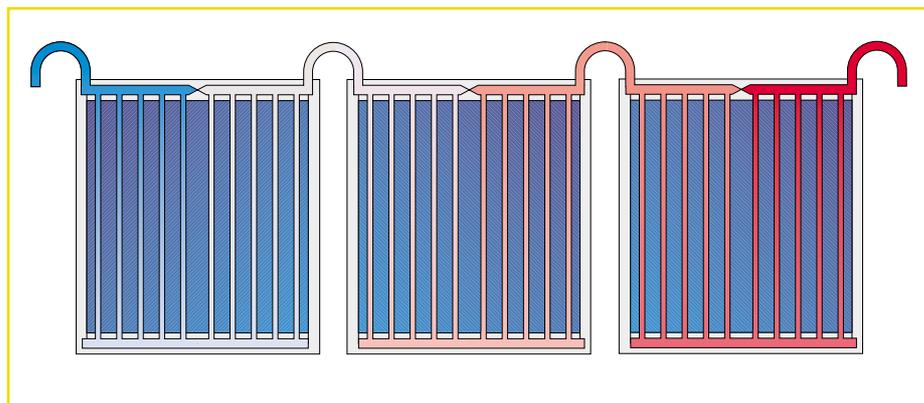


Bild 2: Kollektoren mit Harfenabsorbern

fertigen als Harfenabsorber und bietet strömungstechnische Vorteile bei speziellen Solarsystemen („Low Flow“-Anlagen spezifische Durchströmung der Kollektoren von 10–15 l/hm²).

Vorteile:

- große Parallelschaltungen einzelner Kollektoren möglich
- Betrieb auch einzelner Kollektoreinheiten in Low-Flow-Anlagen möglich (turbulente Durchströmung)
- geringe Anzahl von Rohrverbindungen erforderlich (einfachere Fertigung).

Harfenabsorber

Durch die vielfache Verwendung von Absorberfinnen hat der Harfenabsorber trotz seines höheren Fertigungsaufwands bislang einen höheren

Marktanteil als der Serpentinabsorber. Bei dieser Bauform werden mehrere parallele Rohre mit einem Vor- und einem Rücklaufrohr zu einer Art Harfe verbunden. Am Markt gibt es verschiedenste Varianten von Parallel- und Reihenschaltungen dieser Absorber (Bild 2).

Vorteile:

- alle Fügeverfahren in der Fertigung sind anwendbar
- geringe Druckverluste im Einzelkollektor möglich
- universeller Einsatz in verschiedensten Verschaltungen
- leichte Fertigung unter Nutzung von Absorberfinnen.

Solarexperte Dipl.-Ing. Karl-Heinz Remmers, alias Dr. Sonne, ist Vorstandsvorsitzender der Solarpraxis Supernova AG, 10115 Berlin, Tel. (0 30) 28 38 75 11, www.solarpraxis.de

Bild 3: Vollflächig durchströmter Absorber

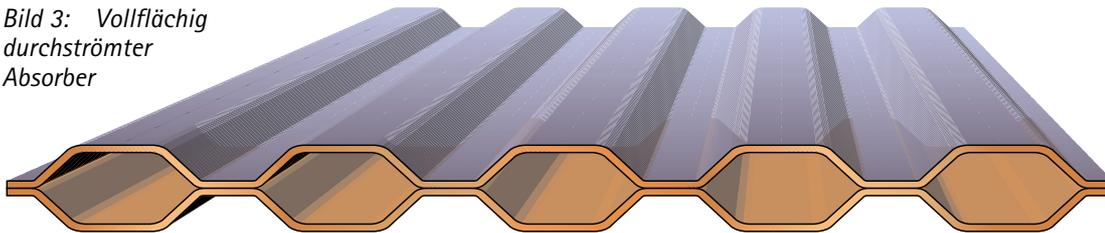
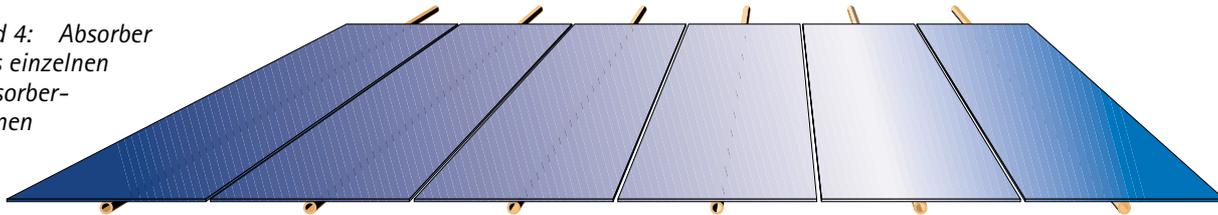


Bild 4: Absorber aus einzelnen Absorberfinnen



Vollflächig durchströmter Absorber
Beim vollflächig durchströmten Absorber wird quasi der gesamte Absorber von Rohren durchzogen, die einen beliebig geringen Abstand zueinander haben (Bild 3). Durch ihre große Anzahl können die einzelnen Rohre sehr geringe Querschnitte aufweisen. Vollflächig durchströmte Absorber werden in der Praxis durch das großflächige Fügen von z.B. zwei Edelstahlplatten mittels Verpressung oder Laserschweißen hergestellt. Ihre Druckbeständigkeit ist durch die Festigkeit der Verbindung und der Bleche begrenzt. Sie beträgt in der Regel max. 3 bar. Die Kosten der Anordnung sind verhältnismäßig hoch, so daß ihre Anwendung auf wenige Anbieter begrenzt ist.

Absorberfinne

Nachdem in den Anfängen der Kollektorproduktion der überwiegende Teil der Kollektoren mit Plattenabsorbern aus Aluminium, Stahl oder Edelstahl erstellt wurde, folgte eine rasche Verbreitung von Absorberfinnen als Basismaterial für Absorber (Bild 4). Bis 1995 wurde ein großer Teil der Absorber unter Verwendung der Absorberfinnen hergestellt. Bis Anfang der 90er Jahre war ein Aluminium/Kupferabsorber mit dem Namen „Sunstrip“ der Wegbereiter für selektive Absorber. Dieser Absorber ist mit einer Nickelbeschichtung versehen, welche durch ein galvanisches bzw. bei einem neuen Produkt im Sputterverfahren aufgetragen wird. Durch sinkende Kupferpreise, bessere

Verarbeitungsbedingungen und die höhere Wärmeleitfähigkeit wurde zunehmend auf Kupferabsorber umgestellt. Eine Leistungssteigerung der Kollektoren war die Folge. Aus fertigungstechnischen Gründen bei der Beschichtung und in der Weiterverarbeitung werden breite Kupferbänder in schmale Bänder getrennt und dann weiter verarbeitet. Mit zunehmender Professionalisierung in der Kollektorfertigung verlieren die Absorberfinnen aufgrund des höheren Aufwands bei der Produktion rapide an Bedeutung. Ihr Anwendungsbereich wird künftig in individuell gefertigten Flachkollektoren sowie in Röhrenkollektoren liegen.

Absorberplatte

Das Fügen von Rohrleitungen mit einer (verschieden großen) Absorberplatte gewinnt zunehmend an Bedeutung (Bild 5). Der sogenannte Vollflächenabsorber kann nur unter Verwendung von Fertigungsvorrichtungen weiter verarbeitet werden, da sein Handling und die Verarbeitung höhere Anforderungen als bei der Verarbeitung von Absorberfinnen stellen. Neben dem Wegfall des Fertigungsschrittes der Blechteilung wird mit Kollektoren, die über eine Absorberplatte verfügen, potentiell ein höherer Wirkungsgrad als bei der Verwendung von Absorberfinnen erzielt. Die Begründung hierfür liegt in der Vermeidung von konvektiven Wärmetransportmechanismen zwischen den sich überlappenden Absorberfinnen (Bild 6). Die genauen Unterschiede im Wirkungsgrad zwischen Finnenabsorbern und Absorberplatten sind

jedoch auch in einem starken Maß von der Qualität in der Absorber- und Kollektorfertigung abhängig.

Verschiedene Arten der Beschichtung

Seit ca. 20 Jahren werden in Sonnenkollektoren selektive Beschichtungen zur Verminderung der Wärmeverluste in Form von Wärmestrahlung eingesetzt. Zuvor wurden Solarabsorber meist elektrochemisch geschwärzt oder mit schwarzem Lack versehen, um in den Kollektoren die gewünschten Temperaturen zu erzeugen. Zur Verminderung der Wärmeverluste wurden zudem oft Zweifach- oder Einfach-Verglasungen mit einer zweiten Abdeckung aus einer transparenten Folie verwendet. In Deutschland begann die Ära der selektiven Absorberschichten in großem Umfang mit der Einführung des „Sunstrip“-Absorbers der schwedischen Firma TeknoTerm. Neben dem „Sunstrip“-Absorber kamen verschiedene Beschichtungen auf den Markt. Bis zum Jahr 1998 nahmen Schwarzschrombeschichtungen auf Kupferabsorbern einen sehr breiten Raum ein. Im Zuge der technischen Weiterentwicklung haben sich – seit dem Markteintritt der „Tinox“-Beschichtung 1995 und von „Sunselect“ 1998 – die Sputter- und PVD-Schichten am Markt durchgesetzt (Bild 7). Doch wie sieht es mit der Leistungsfähigkeit, Herstellungsverfahren, Alterungsbeständigkeit, Marktverfügbarkeit, Gesundheits- und Umweltschutz und dem wirtschaftlichen Potential bei den einzelnen Produkten aus?

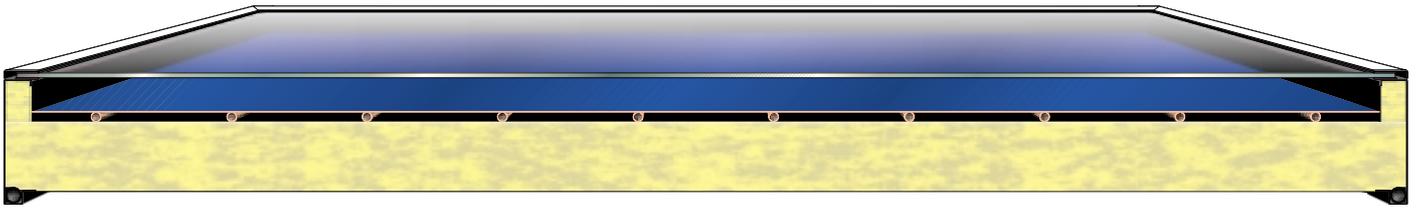


Bild 5: Absorber als Absorberplatte

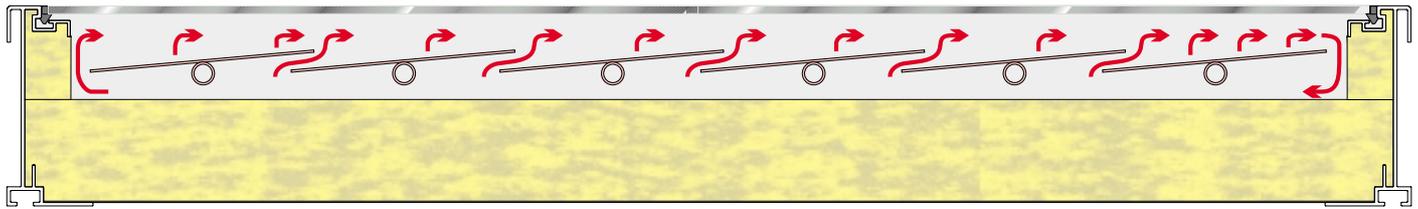


Bild 6: Konvektion zwischen den Absorberfinnen

Wirkungsprinzip der selektiven Beschichtung

Bei einem 200 °C warmen Körper wird nur ein Prozent der entstehenden Wärmestrahlung mit Wellenlängen unter 2,5 μm abgestrahlt. In diesem Wellenlängenbereich werden, wie bereits beschrieben, 98 % der Lichtenergie des Sonnenlichts eingestrahlt. Der Minimierung der Wärmestrahlung bei Wellenlängen oberhalb 3 mm steht eine optimale Aufnahme des Sonnenlichts nicht im Weg. So wird es möglich, Oberflächen so zu gestalten, daß einerseits mit hoher Effizienz die Solarstrahlung unter 2,5 mm aufgenommen werden kann und gleichzeitig die unerwünschte Abstrahlung von Wärme mit Wellenlängen oberhalb 2,5 μm sehr stark minimiert werden kann. Aufgrund der Trennung in Bereiche mit hoher Lichtaufnahme auf der einen und geringsten Wärmeverlusten auf der anderen Seite werden diese Oberflächen als selektiv bezeichnet.

Aufnahme des Sonnenlichts: Absorption und Reflexion

Grundlage der Nutzung der Energie des Sonnenlichts ist die größtmögliche Absorption des Lichtes (= Lichtaufnahme) durch ein zu erwärmendes Material. Die Absorption wird abkürzend mit dem Buchstaben α bezeichnet. Auf jeder Oberfläche wird jedoch immer ein Teil der auftreffenden Strahlung abreflektiert. Idealerweise sollte die Absorption vor allem die Bereiche des Lichtspektrums umfassen, welche den größten Teil der Energie des Lichts beinhalten. Eine vollständige Absorption des Lichtes ist hierbei

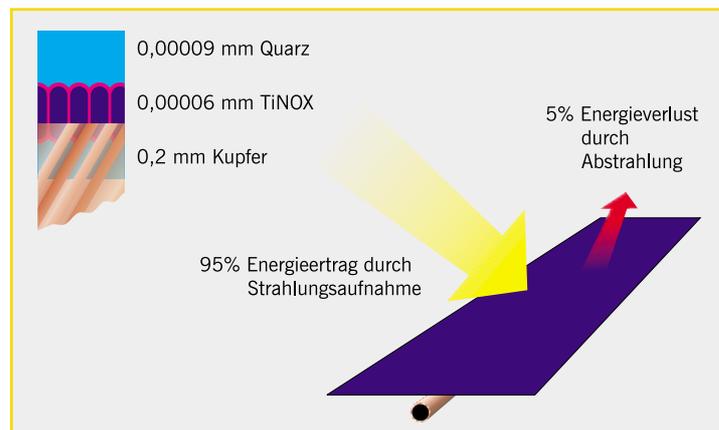


Bild 7: Prinzipieller Aufbau und Wirkungsweise einer selektiven (Tinox-) Absorberschicht

nur von theoretischer Bedeutung, die Physik spricht hier von einem sogenannten schwarzen Strahler. In der Praxis sind Oberflächen mit einer Absorption α von max. 98 % (= 0,98) über einen größeren Teil von Wellenlängen realisierbar. Bei selektiven Solarabsorbern werden Werte von 95 % ($\alpha = 95\%$ oder = 0,95) erzielt.

Energieverluste durch Wärmestrahlung: Emission

Erwärmt sich ein Körper, so strahlt dieser mit zunehmender Temperatur in verstärktem Maße Wärme ab. Dieser Wärmetransportmechanismus ist sehr gut bei Kachelöfen oder der Sonne zu beobachten. Die Emission ϵ bestimmt die Verluste durch Wärmestrahlung des erhitzten Absorbers. So beschreibt eine Emission von 5 % (= 0,05) einen Wärmestrahlungsverlust von lediglich 5 % des maximal möglichen Wertes für eine bestimmte Temperatur. In der

Regel werden die Werte für die Emission einer Oberfläche bei einer Temperatur von 100 °C angegeben. Schwarze Farbe hat beispielsweise eine Emission ϵ von 98 % (= 0,98), was dazu führt, daß ca. 50 % der durch die Aufnahme des Sonnenlichts entstandenen Wärme wieder an die Umgebung abgestrahlt werden.

Herstellungsverfahren von Beschichtungen

Die Absorption von Beschichtungen auf der Basis von Lackierungen und galvanischer Verfahren (z. B. Schwarzchrom) basiert auf dem „Verschlucken“ des Lichts. Die Beschichtungen haben aufgrund ihrer zum Korrosionsschutz erforderlichen Dicke eine mehr oder weniger hohe thermische Emission und so eine begrenzte Selektivität und Leistungsfähigkeit. Bei Beschichtungen im PVD-/Sputterverfahren (Tinox, Sunselect) erfolgt die Absorption durch das „Auslöschchen“

von verschiedenen Wellenlängen des Lichts durch Interferenz. Aufgrund der geringen Schichtdicke (der Korrosionsschutz wird durch atomare Bindungen erzielt) wird eine hohe Selektivität und Leistungsfähigkeit erzielt (Bild 8, 9).

Schwarzchrom/Schwarznickel

Um die Kupferbänder mit einer stabilen Schwarzchromschicht auf Nickelgrundlage zu versehen, werden diese zunächst in mehreren Schritten gereinigt. Danach wird galvanisch die Nickelschicht aufgetragen, in einem weiteren Schritt das Schwarzchrom. An diesem Punkt befindet sich der potentiell gesundheitsgefährdende Teil der Anlage. Das in saurer Lösung vorliegende Chrom ist krebserregend, der Hautkontakt sowie ein Einatmen der Dämpfe ist in jedem Fall zu

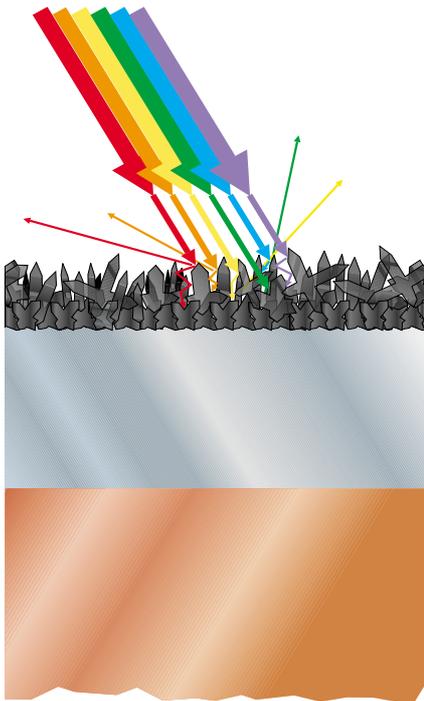


Bild 8: Lichteinfall und Absorption auf eine poröse Oberfläche. „Verschlucken“ der Lichtanteile in der porösen Deckschicht

vermeiden. Auch Nickel wird in der medizinischen Fachliteratur derzeit als krebserregend diskutiert. Über den Produktionsanlagen sind Absaug-einrichtungen zu installieren. Strenge Maßgaben müssen vor allem dort eingehalten werden, wo ein Kontakt mit den Bädern möglich ist. Im aufgetragenen Zustand ist Schwarzchrom und Schwarznickel ungefährlich. Ein umfassender Arbeitsschutz ist unum-

gänglich und in Deutschland in der Gefahrstoffverordnung beschrieben. Die Reinigungs-lösungen und Schwarzchrom-/Nickelbäder werden chemisch aufgearbeitet und dem Abwasser zugeführt. Der Energieverbrauch zur Herstellung der Schwarzchromschichten beträgt entsprechend verschiedenen Herstellerangaben zwischen 2,7 und 12,4 kWh/m².

Black Crystal

Nach der Reinigung des Kupferbleches wird wiederum eine Nickelschicht mit Kristallen beschichtet (die Zusammensetzung wird nicht benannt) und anschließend mit einem aufgesprühten Flüssigglas überzogen. Es handelt sich also nicht um ein rein galvanisches Verfahren. Die Problemzone des Chrombades wird vermieden. Die Reinigungs-lösungen und Nickelbäder werden chemisch aufgearbeitet und dem Abwasser zugeführt. Über den Energieverbrauch existieren widersprüchliche Angaben von Hersteller und Verarbeitern.

Schichtname: „Black Crystal“

PVD (Physical Vapour Deposition)

In einer Vakuumkammer wird ein Elektronenstrahl in einen Tiegel mit Beschichtungsmaterial gelenkt. Das Material verdampft und schlägt sich mit zugegebenen Sauer- und Stickstoff auf einem Kupferband nieder. Beim Tinox-Verfahren wird so zunächst Titan und in einem zweiten Durchlauf Quarz (SiO₂) aufgetragen. Im Verfahren gibt es keine potentiell gesundheitsgefährdenden Verfahrensschritte.

Der Energieaufwand zur Beschichtung von einem Quadratmeter Absorberblech liegt für die Verfahren von „Tinox“ bei ca. 1 kWh. Das Recycling der Kupferbleche kann aufgrund der geringen Materialstärken ohne das Entfernen der Beschichtungen erfolgen.

Schichtnamen: „Tinox“, „Tinox ecoselect“

Sputtern

Beim Gleichstromsputtern wird in Argon-Gas zwischen einer Anode und dem als Kathode geschalteten Beschichtungsmaterial eine Glimmladung gezündet, in der Argon-Ionen durch das angelegte Feld auf die Kathode hin beschleunigt werden. Diese erodiert durch den Beschuss oder wird zerstäubt. Die freigesetzten Ionen werden unter Verbindung mit zuge-

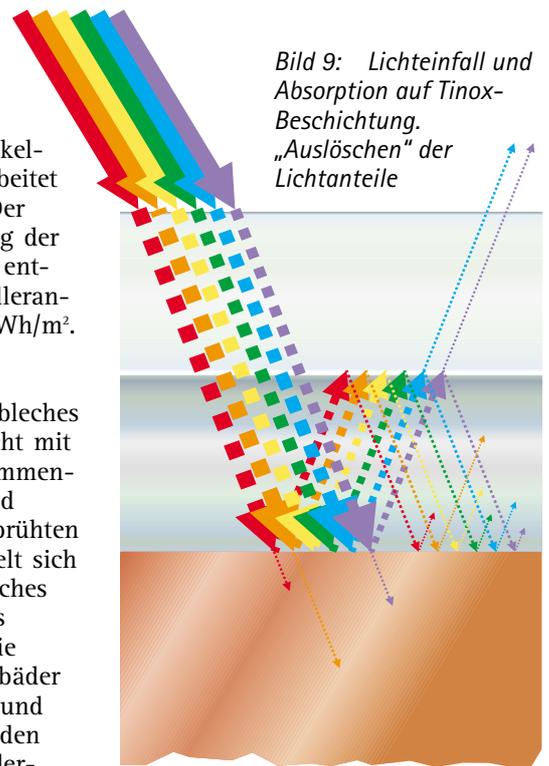


Bild 9: Lichteinfall und Absorption auf Tinox-Beschichtung. „Auslöschend“ der Lichtanteile

gegebenen Gasen auf das Kupferband abgeschieden. So entstehen mehrere Beschichtungslagen unterschiedlicher Zusammensetzung, welche die selektive Beschichtung bilden. Im Verfahren gibt es ebenfalls keine potentiell gesundheitsgefährdenden Verfahrensschritte, der Energieaufwand zur Beschichtung von einem Quadratmeter liegt bei ca. 1 kWh. Das Recycling der Kupferbleche kann aufgrund der geringen Materialstärken ohne das Entfernen der Beschichtungen erfolgen.

Schichtnamen: „Interpane Sunselect“, „Sunstrip“ – neu –, „Schott-Vakuumröhre“, alle „CPC“-Röhren

PECVD-Verfahren

Neben einer Beschichtung auf Basis des PVD-Verfahrens wird bei diesem Fertigungsverfahren eine weitere Schicht im CVD-Verfahren (Chemical Vapour Deposition) aufgetragen. Im CVD-Verfahren wird eine flüchtige chemische Verbindung, die Bestandteile der gewünschten Schicht enthält, mit einem Kupferband in einen Reaktionsraum gebracht. Auf dem erhitzten Kupferband zersetzt sich die Verbindung und hinterläßt eine Schicht aus anorganischen Elementen oder Verbindungen.

Schichtnamen: „Absorber 2000“/„Absorber Brillant“

	Produkt	α %	ε %	Beschichtung	Verfahren	Absorber	Verfügbar
Tekno Term	SunStrip	95± 2	15± 2	Ni auf oxidiertem Alu	elektrochemisch	Alu	ja
MTI	Black Chrome	95± 2	12± 2	SchwChr auf Ni	galv. Bandverf.	Cu	ja
Batec	Batec	95± 2	12± 2	SchwChr auf Ni	galv. Bandverf.	Cu	ja
GIBO	GIBO	95± 2	12± 2	SchwChr auf Ni	galv. Badverf.	Cu	ja
INCO Alloys	Maxorb	97± 1,5	10,5± 1,3	SchwNi	als Folie geklebt	Alu	ja
Energie Solaire	Solar Absorber	94± 2	18± 4	SchwChr auf Ni	galv. Badverf.	Edelstahl	ja
Thermafin	Black Crystal	≥ 95	≤10	Ni	Bandverf. mit Kristallisation	Cu	ja
TiNOx	TiNOx	95	5	TiNOx	PVD	Cu	ja
TiNOx	ecoselect	92	5	TiNOx	PVD	Cu	ja
Interpane	Sunselect	95	5	Materialmix	Sputter	Cu	ja
Tekno Term	SunStrip neu	95	10	Ni	Sputter	Alu	ja
Ikarus Solar	Absorber 2000	95	10	a-c:H / Metall	PECVD	Cu	unklar
Solel (Luz)	Solel	98	8	k.A.	k.A.	Cu	unklar
Shiroki	Sydney Absorber	96	3	k.A.	k.A.	Glas	ja
SCHOTT	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Sputter	Glas	ja
div. Anbieter		90± 2	20± 5	Selektiver Lack	diverse Lackierverf.	Alu / Cu	ja

Tabelle: Daten verschiedener Absorberschichten

Alterungsbeständigkeit und Qualität

Aufgrund der Erfahrungen mit älteren Solaranlagen und der Bestimmung der Leistungsfähigkeit älterer Absorber kann man die Behauptung, die Be-

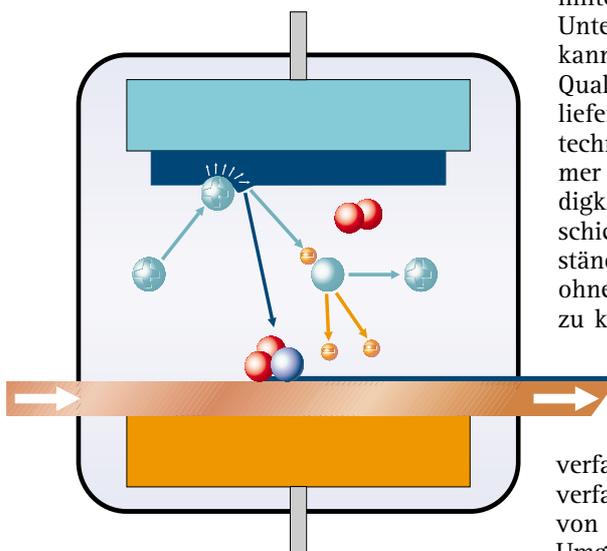


Bild 10: Schematische Darstellung des Sputterns nach Interpane

schichtungen in Flachkollektoren seien nicht haltbar genug, mittlerweile als widerlegt betrachten. Im Zusammenhang mit den angegebenen Werten für die Absorption und Emission ist die Kontrolle der Qualität in der Serie kritisch zu betrachten und zu hinterfragen, da es hier signifikante Unterschiede gibt. Der Anwender kann an dieser Stelle nur auf das Qualitätsbewußtsein der Kollektorlieferanten vertrauen. Bei der rasanten technischen Entwicklung stehen immer wieder Fragen zu Langzeitbeständigkeit und dem Umgang mit den Beschichtungen im Raum. Um die Beständigkeit selektiver Beschichtungen ohne langjährige Feldversuche prüfen zu können, wurde im Rahmen der sogenannten Task 10 der IEA (International Energy Agency) in Zusammenarbeit verschiedener Forschungsinstitute ein Prüfverfahren entwickelt. Dieses Prüfverfahren simuliert unter Einwirkung von Temperatur und nachgebildeten Umgebungsbedingungen im Kollektor wie Feuchte etc. die Wirkungen auf die selektiven Schichten. Anhand von Vergleichen mit Absorbern, die im normalen Einsatz alterten, konnte so

ein Prüfzyklus entwickelt werden, der es erlaubt, neue wie alte Beschichtungen auf ihre Alltagstauglichkeit unter realen Bedingungen zu prüfen. Diese sogenannte Task-10-Prüfung beinhaltet bei ihrem Bestehen einen Wirkungsgrad der Beschichtung von mindestens 95 % des Wirkungsgrades im Neuzustand nach einer Nutzungsdauer von 25 Jahren im Kollektor. Dem Erwerber der Beschichtung kann also aufgrund der jahrelangen Arbeiten zur Nachbildung der äußeren Einwirkungen bereits nach Bestehen der Prüfprozedur nach Task 10 eine Sicherheit der langfristigen Nutzung gegeben werden. Prüfungen nach Task 10 nehmen u. a. das ITR, das Fraunhofer ISE und das schwedische National Testing and Research Institute vor. Derzeit befindet sich die ISO-Norm ISO/CD 12 952 T2, mit der die Prüfungen nach Task 10 in eine Norm gewandelt werden, in Vorbereitung. Der Anwender kann im Zweifelsfall entsprechende Prüfzertifikate von seinem Kollektorlieferanten und dieser wiederum von seinem Absorberlieferanten erhalten. □