

Abschlussdiskussion

Abschlussdiskussion

TCO-Workshop: Wo besteht Forschungsbedarf?

Diskussionsleitung:

Hr. Stump (BEO)

Komitee: Hr. Fuhs (HMI),

Hr. Schott (ZSW),

Hr. Wagner (FZJ)

Zentrale Frage der Diskussion war: "Besteht Forschungsbedarf bezüglich TCO für Dünnschichtsolarzellen und wenn ja, auf welchen Gebieten?". Unten sind die allgemeinen und konkreten Diskussionsbeiträge kurz aufgelistet.

Konkrete Fragestellungen:

- Ein Wunsch der Solarzellenentwickler ist die Verfügbarkeit von kostengünstigen TCO-Schichten mit sehr kleinen spezifischen Widerständen ($< 1 \times 10^{-4} \text{ Wcm}$). Zur Verringerung des spezifischen Widerstands sind höhere Ladungsträgerbeweglichkeiten notwendig. Es wurde vorgeschlagen, das Konzept der Modulationsdotierung, das bei III/V-Halbleitern sehr erfolgreich ist, bei TCO Filmen anzuwenden. Die Frage war hier, ob der sogenannte Burstein-Moss-Shift eine ausreichende Vergrößerung der Bandlücke ermöglicht, um mit dem Konzept erfolgreich zu sein.
- Es wurde die Frage aufgeworfen: Gibt es Interesse an p-leitendem TCO? Großes Interesse wurde sowohl für CIS als auch für Si-Dünnschichtsolarzellen bekundet. Im Falle der Verfügbarkeit könnten neue Ansätze bei der Solarzellenoptimierung verfolgt werden. Beispielsweise bei p-i-n Solarzellen aus amorphem Silizium ist der Kontakt zwischen der p-Schicht und dem n-leitenden TCO generell problematisch. Aus der Literatur sind zwar p-leitende TCO-Schichten bekannt, deren spezifischen Widerstände sind aber noch um mehrere Größenordnungen höher als für n-leitendes TCO. Eine Verbesser-

ung der optoelektronischen Eigenschaften der p-leitenden TCO-Schichten erfordert umfangreiche Grundlagen- und Entwicklungsarbeiten.

- Eine wichtige Frage ist die Stabilität von TC Materialien. Hier besteht insbesondere beim ZnO noch intensiver Forschungsbedarf. Die bisherige Optimierung verlief meist empirisch. Beim Einsatz von ZnO in CIS-Solarmodulen spielt eine geeignete, ausgeklügelte Verkapselung eine zentrale Rolle. Diese Verkapselung ist teurer als die "Standardtechnologie".
- Neben den optischen und elektrischen Eigenschaften der TCO-Schichten erfordern neue Konzepte zum Solarzellendesign zusätzlich temperaturstabile TCO-Schichten (z.B. für CIS in der Superstrate-Konfiguration oder bei bestimmten Ansätzen für Si Dünnschichtsolarzellen).
- In Deutschland konzentriert man sich bei der TCO Herstellung auf die Sputtertechnologie. CVD Prozesse ermöglichen allerdings noch höhere Depositionsraten und sind insbesondere für SnO_2 sehr attraktiv (z. B.: Entwicklungen für a-Si Solarzellen in Japan und in den Niederlanden). Sollten alternative Herstellungsverfahren zum Sputtern auch in Deutschland untersucht werden?
- Neben den klassischen TCO Materialien können auch mit dünnen Metall- insbesondere mit Silberschichten transparent hochleitfähige Schichten hergestellt werden. Dieser Ansatz wurde bisher für Dünnschichtsolarzellen kaum verfolgt.

Allgemeiner Forschungsbedarf:

- Herr Schott fasste die Diskussionen rund um den Workshop folgendermaßen zusammen: TCO-Schichten waren zunächst mit einer gewissen Qualität verfügbar, die ausreichte, um die verschiedenen Dünnschichtsolarzellentypen zu entwickeln. Das Hauptinteresse galt der Unter-

suchung und der Entwicklung der Absorberschichten. Inzwischen sieht die Industrie ein großes Marktpotential für Dünnschichtsolarzellen. Der Einfluss der TCO-Schichten auf die Leistungsfähigkeit der Solarzellen sowie auf deren Herstellkosten wurde verstärkt wahrgenommen. Allerdings fehlt die nächste Generation von TCO-Schichten. Neben der Entwicklung der derzeitigen Technologie, müssen neue Materialien und Konzepte heute im Grundlagenbereich entwickelt werden, um in 10-15 Jahren zur Verfügung zu stehen. Grundlegende Forschung an den TCO-Schichten und den Grenzflächen zum TCO ist dafür notwendig.

- Auch das theoretische Verständnis der TCO-Materialien sowie der Grenzflächen zwischen den TCO- und den Halbleiterschichten ist noch nicht sehr weit entwickelt. Hier besteht grundlegender Forschungsbedarf.
- Hr. Stump hat darauf hingewiesen, dass nicht nur der Erfolg im Bauelement relevant ist, sondern die Kosten, die Umweltverträglichkeit und die Verfügbarkeit wichtige Kriterien bei der Auswahl der Materialien sein müssen. Eine Zusammenarbeit mit Solarmodulherstellern und Anlagenbauern sollte auch bei Neuentwicklungen frühzeitig angestrebt werden, um die industrielle Umsetzbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten und die Umsetzung selbst zu beschleunigen.
- Herr Blask hat angeregt, bei Grundlagenthemen verstärkt Mittel aus dem BMBF zu nutzen, die für Grundlagenthemen vorgesehen sind.

Zusammenfassung

Die Diskussion hat gezeigt, dass Bedarf an verbesserten TCO's besteht, um den Wirkungsgrad von Solarmodulen zu erhöhen und auch um deren Zuverlässigkeit und Langzeitstabilität zu gewährleisten. Aber auch bei den derzeit

eingesetzten TCO-Materialien und Herstellverfahren sind noch viele grundlegende Fragen ungeklärt, die die optischen, elektrischen und strukturellen Eigenschaften der TCO-Schichten und der Grenzflächen zu diesen Schichten betreffen. Die derzeitigen "State-of-the-art"-Konzepte aus den verschiedenen Forschungslaboratorien werden derzeit in mehreren Verbundprojekten mit hoher Industriebeteiligung in die Fertigung überführt. Der generelle Tenor war daher, dass die nächsten Jahre genutzt werden müssen, um intensiv an den Grundlagen zum TCO-Material und den Grenzflächen zu forschen, um die nächste Generation von TCO-Schichten zu entwickeln. Ein Redner bemerkte bereits während des Workshops: "TCO lebt".

Teilnehmer



Name	Anschrift	Vortrag	Poster
Arntzen, Markus, Dr.	INTERPANE Entwicklungs- und Beratungsgesellschaft mbH & Co, Lauenförde markus.arntzen@interpane-eub.de		
Bastek, Hermann, Dr.	BEO, Forschungszentrum Jülich h.bastek@fz-juelich.de		
Beneking, Claus, Dr.	Institut für Halbleitertechnologie II, RWTH Aachen, Sommerfeldstr. 24, D-52056 Aachen, Tel.: 0241-8867203, Fax: 0241-8867570 beneking@amica.rwth-aachen.de	Seite 51	
Blask, Harry, Dr.	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Bonn		
Blessing, Rolf, Dr.	INTERPANE Entwicklungs- und Beratungsgesellschaft mbH & Co, Lauenförde rolf.blessing@interpane-eub.de		
Blieske, Ulf, Dr.	VEGLA Vereinigte Glaswerke, Aachen ublieske@vegla.de		
Borchert, Dietmar	Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg borchert@ise.fhg.de	Seite 54	
Brammer, Torsten	Institut für Photovoltaik (IPV), Forschungszentrum Jülich GmbH, D-52425 Jülich, Tel.: 02461-612679, Fax:02461-613735 t.brammer@fz-juelich.de		Seite 74
Bräuer, Günter, Prof.	Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP, Dresden und Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST, Braunschweig braeuer@ist.fhg.de	Seite 7	
Daey Ouwens, Jeroen	Debye Institut, Universität Utrecht, PO Box 80000, NL-3508 TA Utrecht, Niederlande, Tel.:+31-30-2532467, Fax: +31-30-2543165 j.daeyouwens@phys.uu.n		Seite 71
Daube, Christoph	Balzers Process Systems, Alzenau kmueller@bda.bps.balzers.net	Seite 18	



Name	Anschrift	Vortrag	Poster
Eisenbeiß, Bernd, Dr.	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Köln		
Ellmer, Klaus, Dr.	Hahn-Meitner-Institut (HMI), Berlin ellmer@hmi.de	Seite 9	
Fay, Sylvie	Institute de Microtechnique de Neuchâtel sylvie.fay@imt.unine.ch		
Fenske, Frank. Dr.	Hahn-Meitner-Institut (HMI), Berlin fenske@hmi.de	Seite 34	
Fuhs, Walther, Prof.	Hahn-Meitner-Institut (HMI), Berlin fuhs@hmi.de		
Gabler, Hansjörg, Dr.	Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung, Stuttgart hansjoerg.gabler@zsw-bw.de		
Gegenwart, Rainer, Dr.	ANTEC GmbH, Industriestr 2-4, 65779 Kelkheim/Ts, r.gegenwart@antec-gmbh.com	Seite 66	
Geyer, Robert	ASE GmbH, Putzbrunn robert.geyer@ase.tessag.com		
Gläser, Hans Joachim, Dr.			
Graf, Wolfgang	Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Oltmannsstr. 5, 79100 Freiburg graf@ise.fhg.de	Seite 16	Seite 86
Grauvogl, Manfred, Dr.	Arcon Beschichtungstechnik, Feuchtwagen grauvogl.arcon@t-online.de		
Groenen, Roland	TUE, Eindhoven groenen@TPD.TNO.NL		
Henrion, Wolfgang, Dr.	Hahn-Meitner-Institut (HMI), Berlin henrion@hmi.de		
Herlitze, Lothar, Dr.	INTERPANE Entwicklungs- und Beratungs- gesellschaft mbH, Lauenförde lothar.herlitze@interpane-eub.de		
Ito, Manabu	Institut für Physikalische Elektronik, Stuttgart Manabu@ipe.uni-stuttgart.de		

Name	Anschrift	Vortrag	Poster
Jägermann, Wolfram	TU Darmstadt Jaegerw@hrzpub.tu-darmstadt.de		
Janke, Nikolas	VEGLA Vereinigte Glaswerke, Aachen Njanke@vegl.de		
Klein, Andreas	TU Darmstadt, Fachbereich Materialwissen- schaft, Fachgebiet Oberflächenforschung, Petersenstrasse 23, 64287 Darmstadt, Tel.: 06151-166354, Fax 06151-166308 Aklein@hrzpub.tu-darmstadt.de	Seite 25	
Klenk, Rainer, Dr.	Hahn-Meitner-Institut (HMI), Berlin Klenk@hmi.de		
Kluth, Oliver	Institut für Schicht- und Ionentechnik (ISI-PV), Forschungszentrum Jülich GmbH o.kluth@fz-juelich.de	Seite 40	
Knipp, Dietmar, Dr	Institut für Schicht- und Ionentechnik (ISI-PV), Forschungszentrum Jülich d.knipp@fz-juelich.de	Seite 56	
König, Christian	Agentur König, Tutzing c.koenig@agentur-koenig.de		
Kowalsky, Wolfgang	Institut für Hochfrequenztechnik, Technische Universität Braunschweig, Postfach 3329, D-38023 Braunschweig Wkowal@wave.ihf.ing.tu-bs.de	Seite 21	
Kroll, Ulrich	Institute de Microtechnique de Neuchâtel Ulrich.kroll@imt.unine.ch		
Lechner, Peter	Angewandte Solarenergie – ASE GmbH, Produktzentrum Phototronics Peter.lechner@ase.tessag.com	Seite 67	
Löffl Anton	Institut für Physikalische Elektronik, Stuttgart Loeffl@ipe.uni-stuttgart.de		
Löffler, Jochen	Utrecht University j.loeffler@phys.uu.nl		
Lundszen, Dietmar, Dr.	ISI-PV, Forschungszentrum Jülich d.lundszen@fz-juelich.de		



Name	Anschrift	Vortrag	Poster
Menner, Richard	Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung, Stuttgart Richard.menner@zsw-bw.de		
Menzel, Stefan	Pilkington Flabeg, Furth im Wald Stefan.menzel@pilkington.de		
Mergel, Dieter, Prof.	Universität GH Essen, 45117 Essen Dieter.mergel@uni-essen.de	Seite 32	
Middelman, Erik	Akzo Nobel Chemicals Research, P.O.Box 9300, 6800SB Arnhem, The Netherlands Erik.middelman@akzonobel.com	Seite 15	
Müller, Joachim, Dr.	ISI-PV, Forschungszentrum Jülich Joa.mueller@fz-juelich.de		
Nositschka, Andreas	Institut für Halbleitertechnologie II, RWTH Aachen Nositschka@amica.rwth-aachen.de		
Ochotzki, Christine	Fachbereich Physik und Forschungsschwerpunkt Materialwissenschaften der Universität Kaisers- lautern, Postfach 3049, D-67653 Kaiserslautern, Tel. 0631-2054307 Fax. 0631-2052834 Ochotzki@student.uni-kl.de	Seite 76	
Peters, Carsten	Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP, Dresden Peters.C@fep.fhg.de		
Pettenkofer, Christian	Hahn-Meitner-Institut (HMI), AG SE6, Kekuléstr. 5, 12489 Berlin Pettenkofer@hmi.de	Seite 33	
Poschenrieder, Margret	Hahn-Meitner-Institut (HMI), Abt. Silizium- Photovoltaik, Kekuléstr. 5, 12489 Berlin Poschenrieder@hmi.de		Seite 88
Powalla, Michael, Dr.	Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff- Forschung, Heßbrühlstr. 21c , D-70565 Stuttgart, Tel.: 0711-7870-263, Fax.: 0711-7870-230 Michael.powalla@zsw-bw.de	Seite 61	
Rech, Bernd, Dr.	ISI-PV, Forschungszentrum Jülich b.rech@fz-juelich.de		

Name	Anschrift	Vortrag	Poster
Rebien, Matthias	Hahn-Meitner-Institut (HMI), Kekuléstr. 5, 12489 Berlin Rebien@hmi.de		
Rubbert, Frank	VEGLA Vereinigte Glaswerke, Aachen Frubbert@veglä.de		
Ruske, Manfred	Balzers Process Systems, Hanau Kmueller@bda.bps.balzers.net		
Schade, Horst, Dr.	ASE GmbH, Putzbrunn Horst.schade@ase.tessag.com		
Schedlbauer, Franz	Pilkington Flabeg, Furth im Wald Franz.schedlbauer@pilkington.de		
Schlatmann, Rutger	Akzo Nobel Chemical Research, Arnheim Rutger.schlatmann@akzonobel.com		
Schock, Hans-Werner	Universität Stuttgart, Institut für Physikalische Elektronik, Pfaffenwaldring 47, D-70563 Stuttgart Schock@ipe.uni-stuttgart.de	Seite 45	
Seitz, Holger	Uni Kaiserslautern Hseitz@rhrk.uni-kl.de		
Schott, Thomas, Dr.	Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung, Stuttgart Thomas.schott@zsw-bw.de		
Schropp, Ruud	Uni. Utrecht Schropp@phys.uu.nl		
Siekmann, Hildegard	ISI-PV, Forschungszentrum Jülich h.siekmann@fz-juelich.de		
Spee, Carl	TNO-TPD, Eindhoven Spee@TPD.TNO.NL		
Sprecher, Bernd	Würth Solar, Marbach am Neckar Bernd.sprecher@we-online.de		
Stadermann, Gerd, Dr.	Forschungsverbund Sonnenenergie, Berlin Stadermann@hmi.de		
Steffen, Hartmut, Dr.	Institut für Physik, Uni Greifswald Steffen@physik.uni-greifswald.de		Seite 78



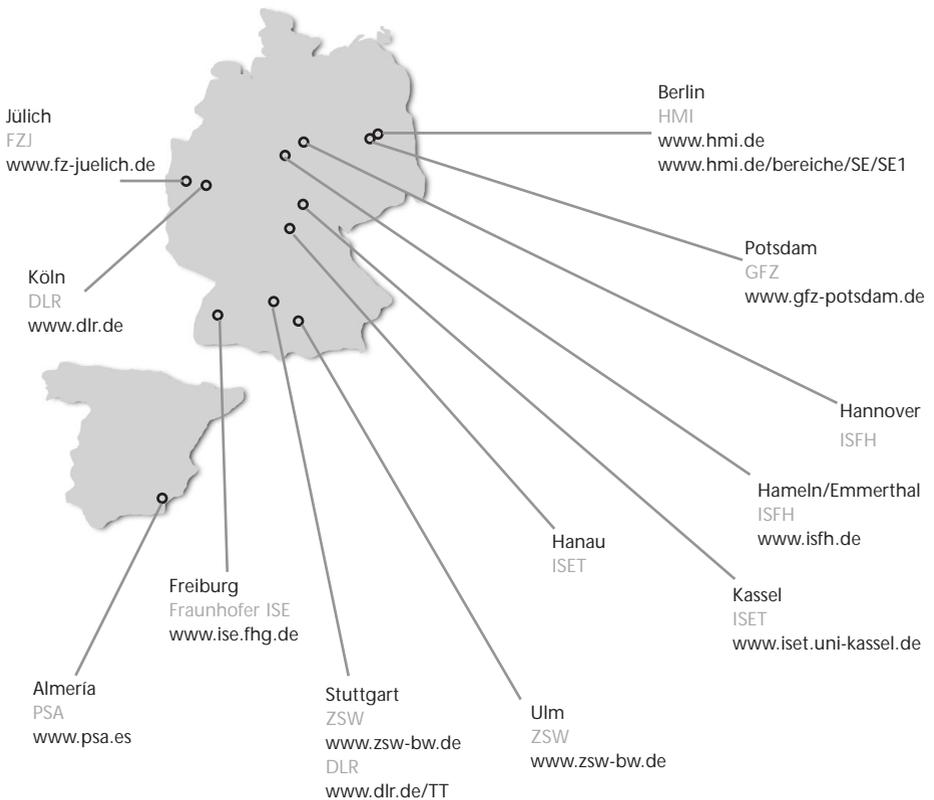
Name	Anschrift	Vortrag	Poster
Stiebig, Helmut, Dr.	Institut für Photovoltaik (IPV), Forschungs- zentrum Jülich GmbH, D-52425 Jülich, Tel.: 02461-612954, Fax: 02461-613735 h.stiebig@fz-juelich.de	Seite 48	
Strümpfel, Johannes, Dr.	Von Ardenne Anlagentechnik GmbH, Plattleite 19/29, 01324 Dresden Struempfel@ardenne-at.de	Seite 20	
Stump, Norbert, Dr.	BEO, Forschungszentrum Jülich n.stump@fz-juelich.de		
Szyszka, Bernd, Dr.	Fraunhofer Institut für Schicht- und Ober- flächentechnik IST, Bienroder Weg 54e, 38108 Braunschweig szyszka@ist.fhg.de	Seite 31	
Tölle, Rainer	BP Solarex toeller@bp.com		
Wagner Heribert, Prof.	ISI-PV, Forschungszentrum Jülich h.wagner@fz-juelich.de		
Winkler, Torsten	FEP Dresden winkler.t@fep.fhg.de		
Wittkopf, Hartmut	Pilkington Gelsenkirchen hartmut.wittkopf @pilkington.de		
Wittwer, Voker	Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Oltmannsstr. 5, 79100 Freiburg wittwer@ise.fhg.de		
Wulff, Harm	Institut für Chemie, Uni Greifswald wulf@xray.chemie.uni.greifswald.de		
Zweigart, Siegmund	Siemens ZT, München siegmund.zweigart@mchp.siemens.de		



Standorte der Mitgliedsinstitute



FVS ForschungsVerbund
Sonnenenergie



Anschriften der Mitgliedsinstitute



DLR Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
Linder Höhe • D-51147 Köln
Telefon (0 22 03) 601-0
Telefax (0 22 03) 637-10
E-Mail: Pressestelle@dlr.de
www.dlr.de

Standort Stuttgart
Pfaffenwaldring 38-40
D-70569 Stuttgart
Telefon (0711) 68 62-0
Telefax (0711) 68 62-349
E-Mail: friedrich.alber@dlr.de



FZJ Forschungszentrum Jülich GmbH
D-52425 Jülich
Telefon (0 24 61) 61-4661
Telefax (0 24 61) 61-4666
E-Mail: p.schaefer@fz-juelich.de
www.fz-juelich.de

Fraunhofer ISE
Fraunhofer-Institut
für Solare Energiesysteme
Oltmannsstraße 5 • D-79100 Freiburg
Telefon (07 61) 45 88-0
Telefax (07 61) 45 88-100
E-Mail: k.schneid@ise.fhg.de
www.ise.fhg.de



GFZ GeoForschungsZentrum Potsdam
Stiftung des öffentlichen Rechts
Telegrafenberg • D-14473 Potsdam
Telefon (0331) 288-10 40
Telefax (0331) 288-10 44
E-Mail: ossing@gfz-potsdam.de
www.gfz-potsdam.de



HMI Hahn-Meitner-Institut Berlin GmbH
Glienicker Straße 100 • D-14109 Berlin
Telefon (030) 80 62-2034
Telefax (030) 80 62-2998
E-Mail: robertson@hmi.de
www.hmi.de

Institutsteil Adlershof • Abt. Photovoltaik
Kekuléstraße 5 • D-12489 Berlin
Telefon (030) 670 53-353
Telefax (030) 670 53-333
E-Mail: lips@hmi.de



ISFH Institut für Solarenergieforschung
GmbH Hameln/Emmerthal
Am Ohrberg 1 • D-31860 Emmerthal
Telefon (0 51 51) 9 99-0
Telefax (0 51 51) 9 99-400
E-Mail: info@isfh.de
www.isfh.de

Außenstelle Hannover
Sokelantstraße 5 • D-30165 Hannover
Telefon (05 11) 358 50-0
Telefax (05 11) 358 50-110
E-Mail: bahnmann@isfh.de



ISET Institut für Solare Energiever-
sorgungstechnik Verein an der Universität
Gesamthochschule Kassel e.V.
Königstor 59 • D-34119 Kassel
Telefon (05 61) 72 94-0
Telefax (05 61) 72 94-100
E-Mail: mbox@iset.uni-kassel.de
www.iset.uni-kassel.de

Standort Hanau
Rodenbacher Chaussee 6 • D-63457 Hanau
Telefon (0 61 81) 58-27 01
Telefax (0 61 81) 58-27 02
E-Mail: hanau@iset.uni-kassel.de



ZSW Zentrum für Sonnenenergie- und
Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg
Gemeinnützige Stiftung
Heßbrühlstraße 21C • D-70565 Stuttgart
Telefon (07 11) 78 70-0
Telefax (07 11) 78 70-100
E-Mail: frietsch@zsw-bw.de
www.zsw.de

Geschäftsbereich Ulm
Helmholtzstraße 8 • D-89081 Ulm
Telefon (07 31) 95 30-0
Telefax (07 31) 95 30-666



FVS ForschungsVerbund Sonnenenergie
Geschäftsstelle
c/o Hahn-Meitner-Institut
Kekuléstraße 5 • D-12489 Berlin
Telefon (030) 670 53-338
Telefax (030) 670 53-333
E-Mail: fvs@hmi.de
www.FV-Sonnenenergie.de



Impressum

ForschungsVerbund Sonnenenergie
Workshop
TCO für Dünnschichtsolarzellen
10.-11.02.2000 im Forschungszentrum Jülich

Veranstalter:
Forschungszentrum Jülich
in Zusammenarbeit mit dem Hahn-Meitner-Institut Berlin

Herausgeber:
FVS ForschungsVerbund Sonnenenergie
Geschäftsstelle
c/o Hahn-Meitner-Institut
Kekuléstraße 5 • D-12489 Berlin
Telefon (030) 670 53-338
Telefax (030) 670 53-333
E-Mail: fvs@hmi.de
www.FV-Sonnenenergie.de

Druck:
Druckhaus am Treptower Park
Am Treptower Park 28 - 30
12435 Berlin

ISSN: 0949-1082