



Agamidae

SOL²
PV
+
solar
thermie

VORWORT	Seite 03
----------------	----------

Photonik für innovatives Lichtmanagement in Photovoltaikmodulen	Seite 05
--	----------

Im Rahmen des Forschungsvorhabens werden innovative photonische Konzepte verfolgt, die das Potenzial haben, optische Verluste in Photovoltaikmodulen zu halbieren. Dadurch könnte die Leistung von heutigen Photovoltaikmodulen um etwa 10% gesteigert werden.

Flexible PV-Systeme - Hochbarrierematerial zum Schutz sensibler Solarzellen	Seite 13
--	----------

Das Unternehmen Isovoltaic beschäftigt sich mit der Erforschung und Entwicklung neuer kosteneffizienter Technologien zur Einkapselung von Solarzellen. Aktuell wird ein 34 Meter langes, auf eine Dachbahn aufgebrachtes, flexibles Solarmodul entwickelt.

Langzeitperformance von Photovoltaik-Modulen	Seite 21
---	----------

Ziel des Projektes ist, das Alterungsverhalten von Photovoltaikmodulen zu analysieren, um Aussagen über deren potentielle Lebenszeit geben zu können – denn der PV-Markt entwickelt sich rasant und Produktionsverfahren werden laufend adaptiert.

Kunststoffe als Innovations- und Wachstumsmotor für Solarthermie	Seite 25
---	----------

In der Vernetzung der Kunststoff- und Solarenergieforschung liegt ein hohes Potenzial für die Weiterentwicklung von Solarthermie-Technologien. Innovation im Design mit gleichzeitigen Folgewirkungen auf Wirtschaftlichkeit und Marktdurchdringung wird erwartet.

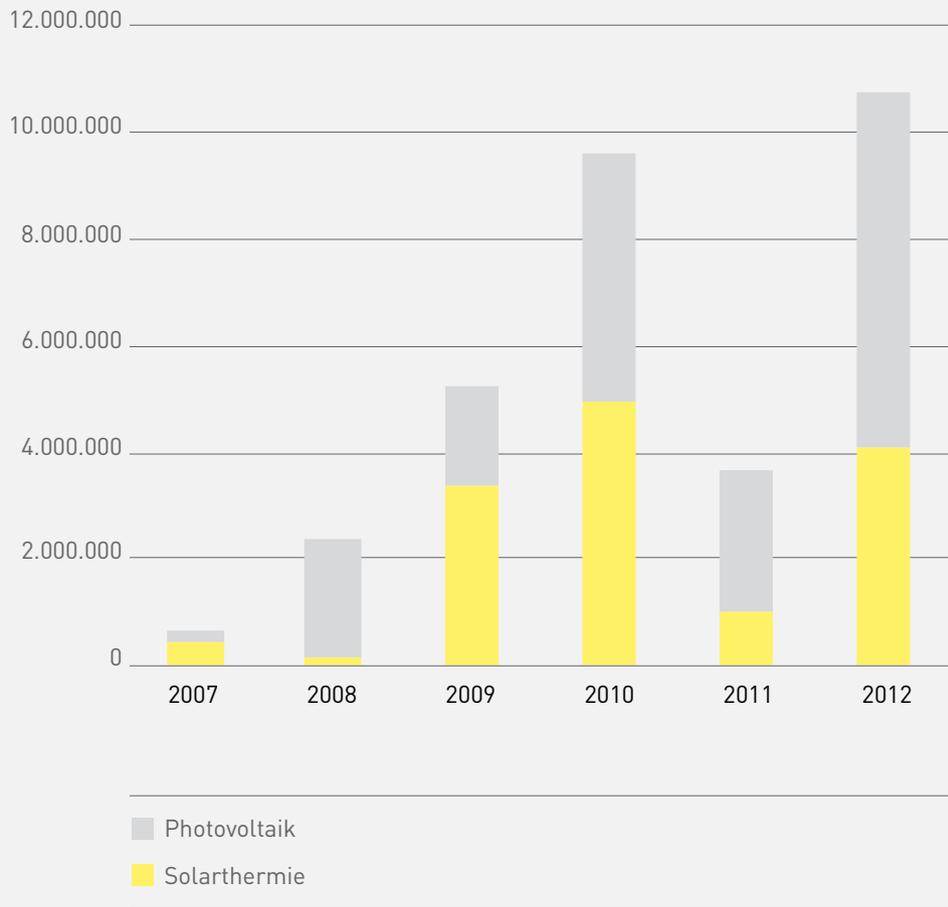
Hydraulikdesign in solarthermischen Großanlagen	Seite 29
--	----------

Ein Hauptziel bei der Auslegung von solarthermischen Großanlagen ist das optimale Design des Kollektorfelds. Das Kollektorfeld ist „optimal verschaltet“, wenn geringe Rohrlängen und eine möglichst gleichmäßige Strömungsverteilung erreicht werden.

Bauteilaktivierte Wärmespeicherung in Speicherziegel	Seite 35
---	----------

Im Projekt wird die vollsolare Wärmedeckung durch Kopplung eines neuen Speicherziegels mit solarer Wärme untersucht. Da der Raum durch Bauteile umschlossen ist bietet sich die Bauteilaktivierung zur Energieübertragung und Energiespeicherung an.

Alle geförderten Projekte im Überblick	Seite 42
---	----------



Sonnige Aussichten für die Energiezukunft! Solartechnologien aus Österreich erobern die Welt.

Forschung und Entwicklung sind ein wichtiges strategisches Element für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Österreich und für das Erreichen der globalen Klimaschutzziele. Die Bundesregierung strebt an, die Anteile der erneuerbaren Energien auf 34 % des Endenergieverbrauchs im Jahr 2020 zu steigern.

Österreichische Solartechnologien sind am Weltmarkt gefragt. Auch in Österreich besteht noch ein größeres Ausbaupotenzial. Um dieses Ausbaupotenzial auch tatsächlich wirtschaftlich und effizient realisieren zu können, sind Wirkungsgrade zu steigern und deutliche Kostensenkungen zu erreichen.

Der Klima- und Energiefonds fördert gezielt anwendungsorientierte Forschungsprojekte zu Solarthermie und Photovoltaik. Das Ergebnis kann sich sehen lassen: der Anteil von Solarenergie an den Mitteln des Energieforschungsprogramms stieg im Zeitraum 2007 bis 2012 von 2 % auf 41 %. In Summe wurden 68 Projekte (36 PV + 32 Solarthermie) Projekte mit rund 32,4 (18,2 + 14,2) Mio. Euro unterstützt. Im Mittelpunkt stehen die Erhöhung der Wirkungsgrade, die Entwicklung energieeffizienter Produktionsverfahren, der Einsatz neuer Materialien sowie die Erhöhung der Lebensdauer von Komponenten.

„In diesen dynamischen und exportorientierten Branchen haben Forschung und Entwicklung eine besondere Bedeutung. Sie tragen dazu bei, dass es in der industriellen Produktion gelingt, kostengünstiger zu fertigen und leistungsfähige Technologien zur Verfügung zu stellen.“ THERESIA VOGEL, GESCHÄFTSFÜHRERIN DES KLIMA- UND ENERGIEFONDS

Eine aufschlussreiche Lektüre wünschen Ihnen

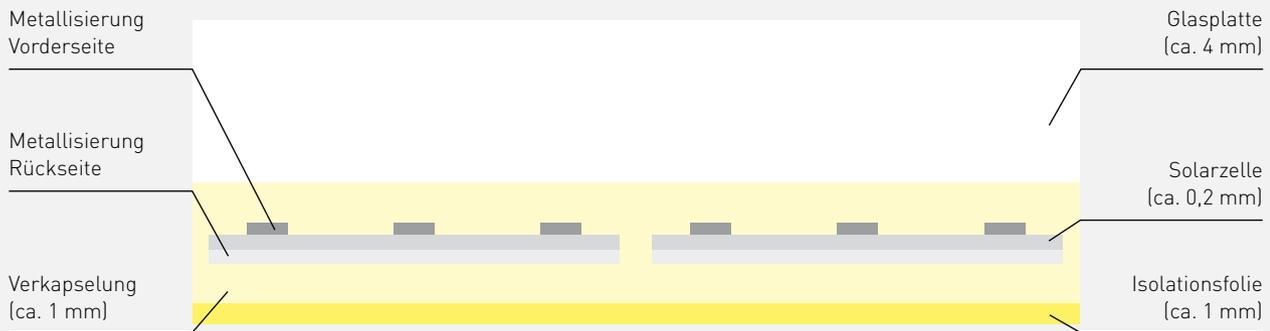
Ihr Klima- und Energiefonds



Projektleitung: GERHARD PEHARZ
Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH

Schematische Darstellung eines typischen Schichtaufbaus eines Photovoltaikmoduls mit kristallinen Siliziumsolarzellen

ABBILDUNG 1



Photonik für innovatives Lichtmanagement in Photovoltaikmodulen

Motivation und Zielsetzung

Mehr als 80% der industriell produzierten Photovoltaikmodule benutzen Solarzellen aus kristallinen Siliziumwafern. Dabei wird häufig zwischen monokristallinem und multikristallinem Material unterschieden. Monokristallines Silizium wird meist in einem Czochralskiprozess hergestellt, bei dem ein Einkristall aus einer Siliziumschmelze gezogen wird. Multikristallines Silizium wird in einem kostengünstigeren metallurgischen Prozess hergestellt, wobei die Materialqualität jedoch geringer ist als jene von monokristallinem Material. Ob in einem Photovoltaikmodul mono- oder multikristallines verwendet wird, lässt sich in der Regel an den Ecken der Solarzellen erkennen. Während multikristalline Solarzellen typischerweise eine quadratische Form haben, sind die Ecken von monokristallinen Wafern herstellungsbedingt meist abgerundet (Pseudosquare-Form). Der grundsätzliche Aufbau ist für den größten Teil dieser Photovoltaikmodule ähnlich. Im Kern bestehen diese Module aus Solarzellen die mittels Lötverbindungen in Serie verschaltet sind. Diese elektrisch verschalteten Solarzellen sind in ein Kapselmaterial eingebettet, welches die Zellen vor Feuchtigkeit schützt. An der Vorderseite der Module befindet sich eine Glasplatte und an der Rückseite eine Isolationsfolie oder alternativ eine weitere Glasplatte. Der Schichtaufbau eines Photovoltaikmoduls mit Solarzellen aus kristallinem Silizium ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

Nach heutigem Industriestandard besitzen Solarzellen aus kristallinem Silizium eine **Metallisierung an der**

Rück- und der Vorderseite, über welche die generierte elektrische Energie abgeführt wird. Die Metallisierung an der Rückseite ist dabei meist vollflächig ausgeführt, wohingegen die Elektroden an der Vorderseite der Solarzelle eine Gitterstruktur aufweisen. Bei der Auslegung dieser Gitterstruktur wird ein Kompromiss zwischen möglichst geringem Bedeckungsgrad (Abschattung) der Solarzelle und einem noch ausreichend geringen Serienwiderstand für die Ableitung der generierten Ladungsträger eingegangen. Ein Foto der Vorderseite einer industriell hergestellten monokristallinen Siliziumsolarzelle ist in Abbildung 2 gezeigt. Der Industriestandardprozess zur Fertigung der **Vorderseitenmetallisierung** von Solarzellen ist der Siebdruck. Dabei werden Kontaktfinger mit einer Breite von etwa 100 μm und einem Abstand von 2-3 mm aufgebracht. Zusätzlich werden im selben Prozessschritt breitere (ca. 2 mm) Stromabnehmer (sogenannte Busbars) gedruckt.

Der Bedeckungsgrad der Vorderseitenmetallisierung beträgt für industriell hergestellte Solarzellen zwischen 7 und 9%. Dabei machen die Kontaktfinger typischerweise 4 bis 5% und die Busbars 3 bis 4% der gesamten Zellfläche aus. Das bedeutet jener Anteil des Lichtes wird an der Vorderseitenmetallisierung entweder absorbiert oder reflektiert.

Aufgrund fertigungstechnischer Gründe werden die **Solarzellen im Modul nicht Zelle an Zelle gepackt**, sondern es besteht ein Abstand von 2-3 mm zwischen den Solarzellen. Außerdem ist zu beachten, dass Solarzellen aus monokristallinem Silizium an den Ecken „abgerundet“ („Pseudosquarefläche“) sind. Dadurch

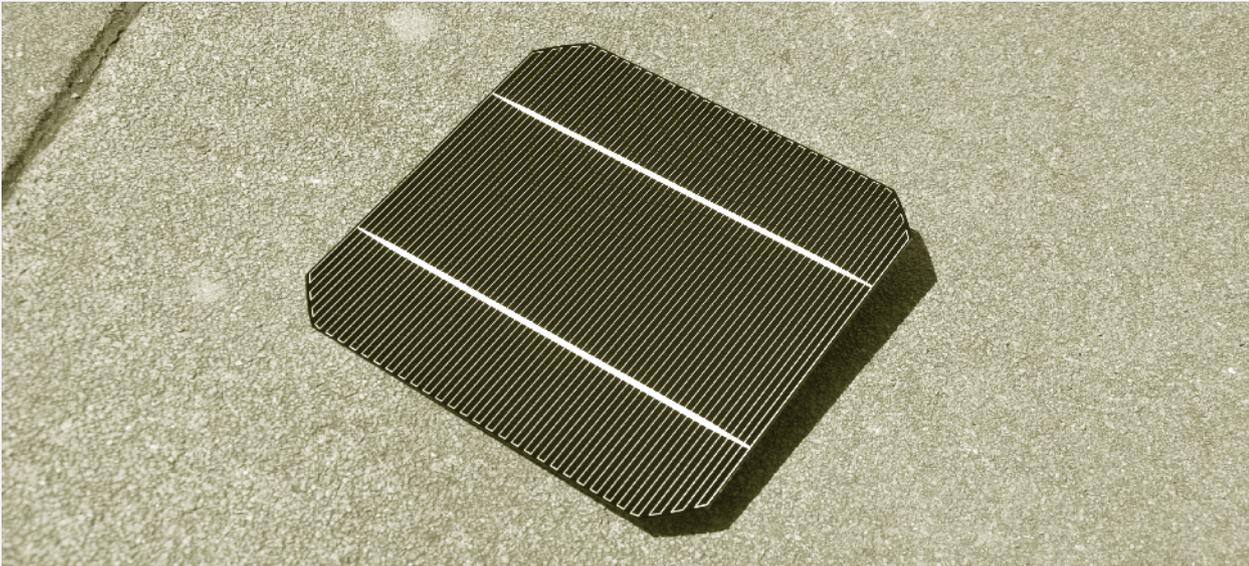


ABBILDUNG 2

verringert sich die Solarzellenfläche im Modul um weitere 2-3 %. Jenes Licht das nicht auf Solarzellenfläche trifft wird an der Isolationsfolie gestreut.

Schließlich ist zu berücksichtigen, dass photovoltaische Module typischerweise über Rahmen verfügen bzw. die Solarzellen nicht bis ganz an den Rand der Modulfläche positioniert werden. Für heutzutage übliche Modulflächen von etwa 1.6 m² tragen die typischen Rahmenbreiten von 3 cm in etwa zu 9 % zur gesamten Modulfläche bei.

Bedingt durch die Vorderseitenmetallisierung und den Aufbau von Photovoltaikmodulen kommt es zu optischen Verlusten. Das bedeutet nur ein Teil des auf die Moduloberfläche treffenden Lichtes wird auch von den Zellen absorbiert. Zur Veranschaulichung der wichtigsten Verlustquellen sind in Abbildung 3 einige Lichtwegspfade in dem Schichtaufbau eines Photovoltaikmoduls schematisch gezeigt.

An der Grenzfläche Luft-Glas werden bei senkrechter Einstrahlung etwa 4 % des Lichtes reflektiert, wobei zu beachten ist, dass der Reflexionsgrad für flachere Einfallswinkel zunimmt. Auf den Solarzellen ist eine

Anti-Reflexschicht aufgebracht, bzw. ist deren Oberfläche häufig strukturiert, wodurch die Reflexion an der Solarzellenoberfläche auf etwa 2-3 % reduziert werden kann.

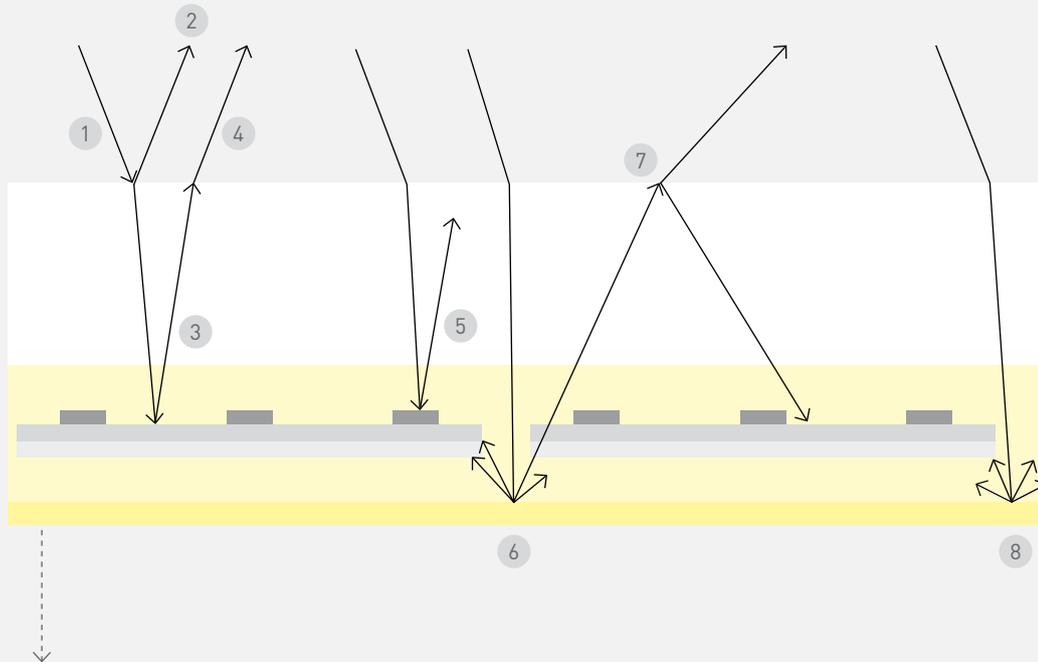
Im Rahmen des Projektes werden Maßnahmen zur Verminderung der Reflexionsverluste bewusst nicht verfolgt. Für diese Verlustquellen existiert bereits eine Vielzahl an kommerziell verfügbaren Lösungen und außerdem spielen diese optischen Verluste in aktuellen Photovoltaikmodulen keine dominierende Rolle.

Das Projektziel ist die oben genannten optischen Verluste deutlich zu reduzieren und so die Leistung von Photovoltaikmodulen zu erhöhen. Konkret sollen photonische Strukturen erforscht werden, die in einem Modul Licht in günstiger Weise auf aktive Solarzellenfläche lenken. In Abbildung 4 ist der energetische Anteil unterschiedlicher Lichtpfade graphisch dargestellt. Zur Erreichung des Projektzieles werden unterschiedliche Lösungsstrategien angewandt. Diese umfassen die Herstellung von Volumenoptiken in der Verkapselung eines Moduls, das Einbringen von flächigen lichtlenkenden Folien und das Bedrucken der Metallisierung.

-----> Vorderseite einer industriell hergestellten monokristallinen Siliziumsolarzelle. Die Metallisierung an der Vorderseite zeigt die typische Gitterstruktur, wobei der elektrische Strom zunächst über viele schmale Kontaktfinger eingesammelt wird und über zwei bzw. drei „Busbars“ abgegriffen wird. Zusätzlich sind die abgerundeten Ecken der „Pseudosquareform“ deutlich erkennbar.

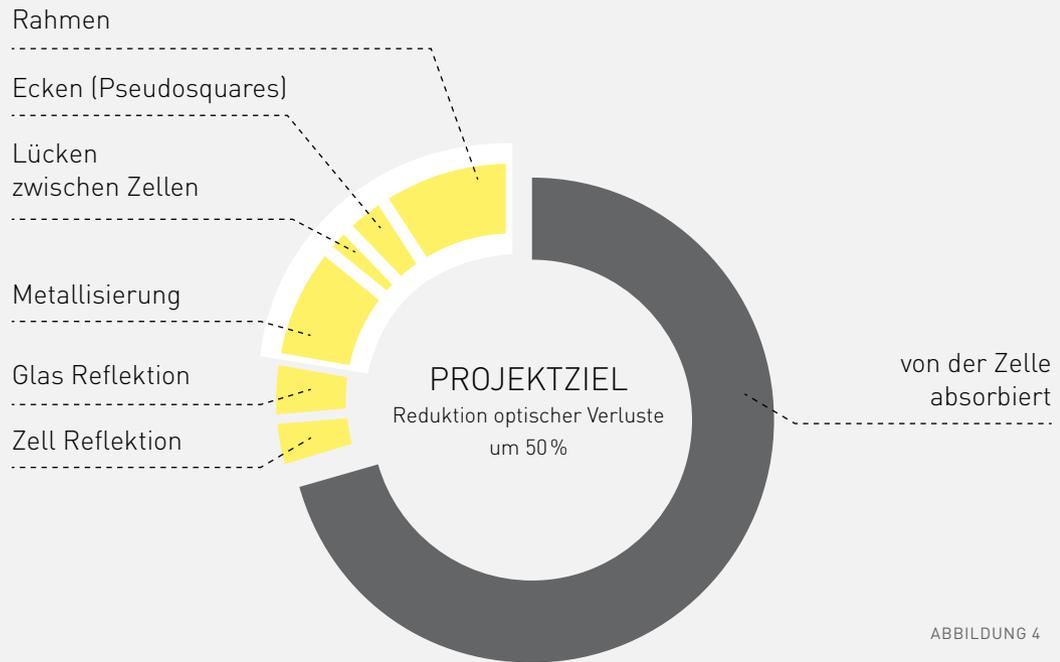
Typischer Schichtaufbau eines photovoltaischen Moduls mit kristallinen Siliziumsolarzellen

ABBILDUNG 3



Zusätzlich sind ausgewählte Lichtpfade gezeigt, die im Folgenden aufgelistet sind:

- 1 Ein Teil des einfallenden Lichts tritt in das Glas ein.
 - 2 Ein Teil des einfallenden Lichts wird an der Grenzfläche Luft-Glas reflektiert.
 - 3 Licht, das auf aktive Teile der Zelle trifft, wird von dieser entweder absorbiert oder reflektiert.
 - 4 Der größte Teil des von den Zellen reflektierten Lichts tritt wieder aus dem Modul aus.
 - 5 Licht, das auf die Vorderseitenmetallisierung trifft, wird reflektiert oder vom Metall absorbiert.
 - 6 Licht, das zwischen die Zellen trifft, wird an der Isolationsfolie gestreut oder absorbiert.
 - 7 Ein Teil des gestreuten Lichts wird an der Grenzfläche Glas-Luft reflektiert oder transmittiert.
 - 8 Der Randbereich von Modulen ist ebenfalls nicht mit Solarzellen bedeckt
-



→ Licht, das auf die Moduloberfläche trifft, kann unterschiedliche Pfade nehmen. Die Verteilung der auftreffenden Lichtenergie auf die verschiedenen Lichtpfade ist graphisch dargestellt.

Die experimentellen Forschungsarbeiten werden dabei von intensiven optischen Simulationen unterstützt.

Bisher wurden im Rahmen des Projektes speziell mit flächigen lichtlenkenden Folien sehr effiziente Möglichkeiten entwickelt, Licht speziell von den Rändern des Moduls auf die Solarzellen zu bringen. Des Weiteren wurden Strukturen entwickelt die mehr als die Hälfte des Lichtes, das auf Lücken zwischen den Zellen trifft, auf aktive Solarzellenfläche zu lenken. Ein besonders neuartiger und innovativer Lösungsansatz – jener der Volumenoptiken – ist im Folgenden genauer beschrieben und erste Ergebnisse werden präsentiert:

Volumenoptiken

Die Idee beim Lösungsansatz „Volumenoptiken“ ist jene mit einem Laserprozess das Verkapselungsmaterial des Moduls nach dem Laminationsprozess lokal zu verändern. Beispielsweise wird angestrebt mit dieser Methode lichtlenkende Strukturen direkt über der Vorderseitenmetallisierung herzustellen und so die optische Abschattung durch die Kontakte zu verringern. Konkret besteht das Ziel darin die optische Abschattung durch die Vorderseitenmetallisierung um 50% zu reduzieren wodurch die Leistung eines Photovoltaikmodules um etwa 3% gesteigert werden könnte. Das entspräche einer Modul-Effizienzsteigerung um etwa 0.5 Prozentpunkte.

Speziell elegant an der Lösungsstrategie der Volumenoptiken ist, dass keine zusätzlichen oder alternativen Materialien benötigt werden. Für die Umsetzung in einer zukünftigen Modulproduktion würde nur ein Laserprozess nach dem Laminierprozess benötigt. Ein erstes Ziel dieses Arbeitspakets des Projektes war zu zeigen, dass mit einem Laserprozess Volumenoptiken in der Verkapselung von Photovoltaikmodulen hergestellt werden können und in weiterer Folge wird evaluiert inwieweit diese Volumenoptiken zu einer Effizienzsteigerung führen.

In der ersten Projektphase wurde eine Reihe von Experimenten durchgeführt deren Ergebnisse deutlich

zeigen, dass die präzise Herstellung von Volumenoptiken in EVA (Ethylvinylacetat) – einem sehr häufig verwendeten Verkapselungsmaterial für Photovoltaikmodule – möglich ist. Zur Quantifizierung des Nutzens der hergestellten Strukturen wurde eine Messmethode entwickelt die im Folgenden kurz beschrieben ist. Zunächst wurden Metallbahnen auf Gläser (Fläche ca. $25 \times 25 \text{ mm}^2$) gedruckt, wobei die Breite und der Abstand der Metallbahnen ähnlich zu jenen ist, wie sie auch bei der Vorderseitenmetallisierung von Solarzellen zu finden ist. Im Anschluss wurden die bedruckten Gläser mit einer Schicht EVA auf eine weitere Glasplatte laminiert. Die optische Transmission durch diese Gläser wurde gemessen bzw. wird die Transmission durch die aufgedruckten Metallbahnen reduziert (optische Abschattung – ähnlich wie bei der Vorderseitenmetallisierung von Solarzellen).

Nach dieser ersten Messreihe wurden die hergestellten Testobjekte in einem Laserprozess strukturiert, wobei in der etwa $250 \mu\text{m}$ dicken EVA-Schicht an Positionen über den Metallbahnen Volumenoptiken eingeschrieben wurden.

Das prinzipielle Schema für die Herstellung von photonischer Mikrostrukturen im Volumen der EVA-Verkapselung und der Aufbau der Probe ist in Abbildung 5 dargestellt.

Die kleinste Einheit der Volumenstrukturen sind sogenannte Voxel. Dabei handelt es sich um Ellipsoide mit einer Länge von etwa $6\text{-}15 \mu\text{m}$ und einem Durchmesser von etwa $1\text{-}5 \mu\text{m}$. Die Dimensionen dieser Voxel lassen sich über die Wahl der Laserprozessparameter steuern. Über eine geeignete Anordnung dieser Voxel lassen sich streuende bzw. beugende optische Strukturen realisieren, die Licht an den Metallbahnen vorbeilenken. In Abbildung 6 (A) ist ein Mikroskop-Bild von Voxeln mit unterschiedlichen Dimensionen gezeigt die im Rahmen einer Prozessanalyse hergestellt wurden. Abbildung 6 (B) zeigt eine Metallbahn über der das EVA teilweise strukturiert ist. Man erkennt deutlich, dass die unstrukturierte Stelle heller erscheint als jene Stelle über der lokal Volumenoptiken eingeschrieben

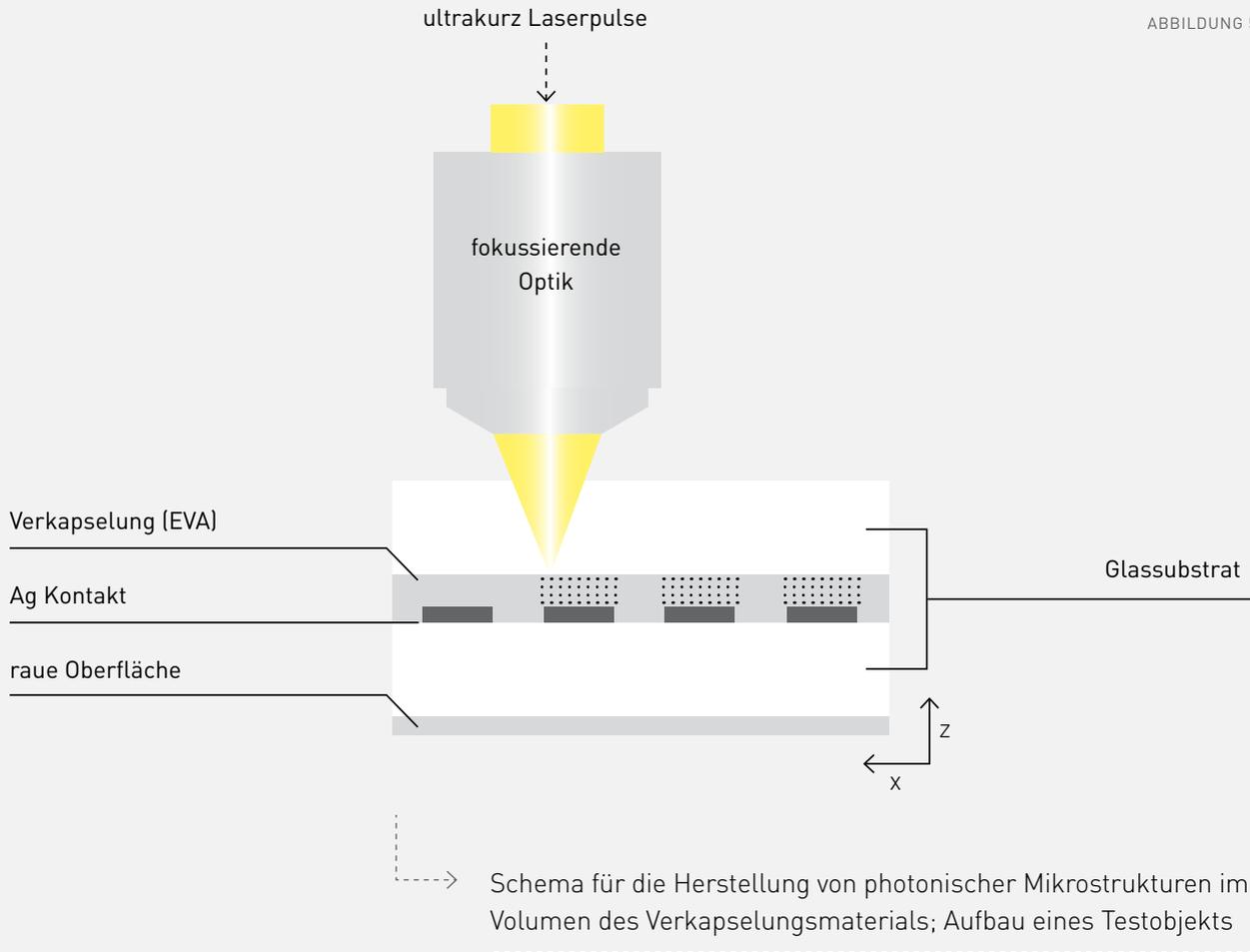


ABBILDUNG 5

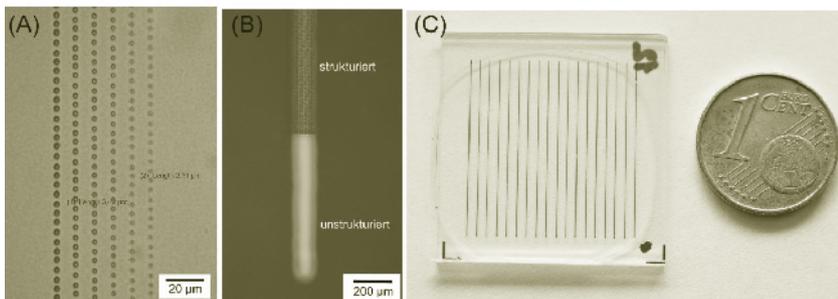


ABBILDUNG 6

wurden. Dieser Effekt ist auf die lichtlenkenden Eigenschaften der Volumenoptiken zurückzuführen. Ein Foto eines fertig prozessierten Testobjektes ist in Abbildung 6 (C) gezeigt.

Die optische Transmission durch die Testobjekte wurde in einer weiteren Testserie nach dem Einbringen der Volumenstrukturen gemessen. Ein Vergleich der Transmission vor und nach Strukturierung ermöglicht es die Reduktion der optischen Verluste durch die Volumenstrukturen zu quantifizieren. Konkret wurde am größten Teil der bisher mehr als 50 hergestellten Testobjekte eine Verbesserung der optischen Transmission durch die Einbringung der Volumenoptiken festgestellt. Bei der bisher **besten Probe** wurde eine **Reduktion** der **optischen Verluste von 17%** ermittelt.

Zusammenfassung und nächste Schritte

In der ersten Projektphase wurden sehr erfolgreiche Entwicklungsarbeiten unternommen um die optischen Effekte und Verlustquellen in einem Photovoltaikmodul besser zu verstehen. Weiter wurde eine Reihe von photonischen Strukturen entwickelt, die in Photovoltaikmodule eingebracht werden können, um dort eine deutlich effizientere Nutzung des vorhandenen Lichtes zu bewirken. Die Leistungsfähigkeit der photonischen Strukturen wurde bisher anhand von speziellen Testobjekten quantifiziert, welche zu Charakterisierungszwecken hergestellt wurden. In der nächsten Projektphase wird die Leistungsfähigkeit der entwickelten photonischen Strukturen in Testmodulen evaluiert, um eine möglichst belastbare Aussage über das Potential der entwickelten Lösungen zu erhalten.

DREI GUTE GRÜNDE FÜR DAS PROJEKT:

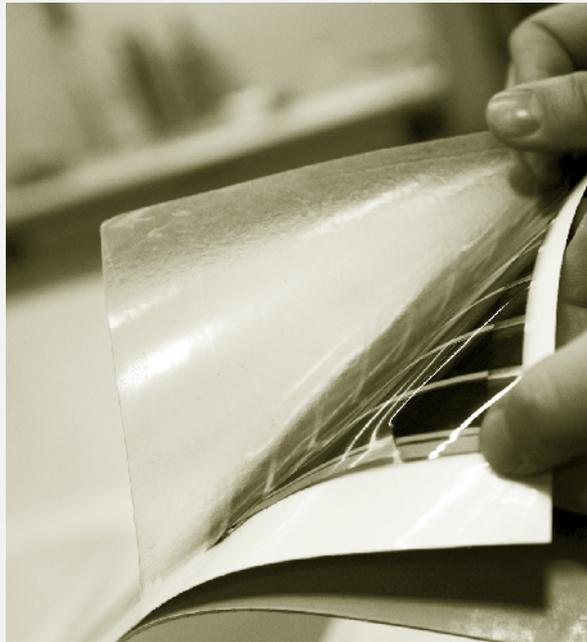
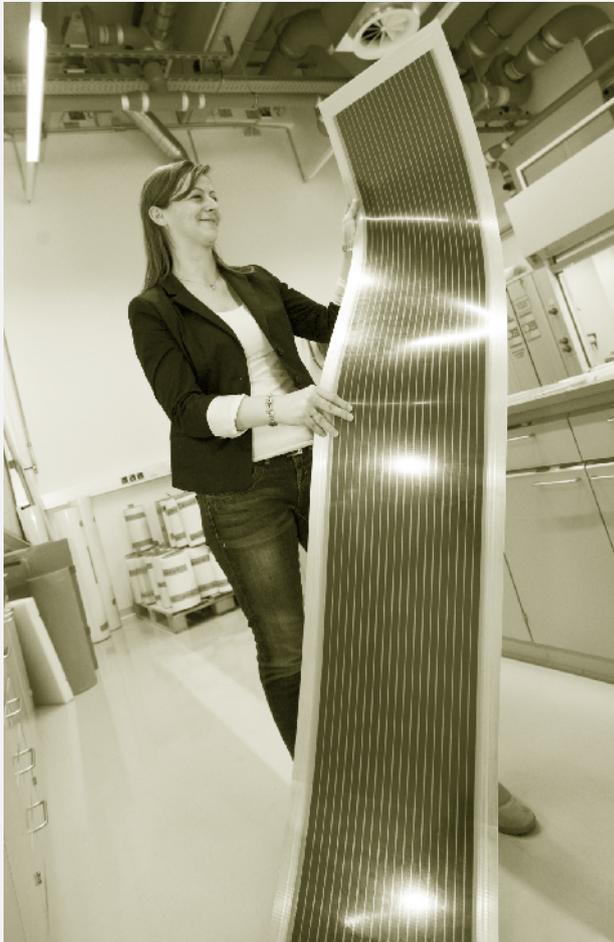
- Die Effizienz eines Photovoltaikmoduls wurde detailliert analysiert, wobei nicht die Leistung des Moduls im Mittelpunkt stand, sondern der Weg des Lichts.
- Das angeeignete Wissen wurde dazu verwendet, optische Verluste mit geeigneten photonischen Strukturen zu minimieren und die Moduleffizienz zu steigern.
- Besonderes Augenmerk wurde auf die zukünftige Implementierbarkeit in bestehenden Modulaufbauten gelegt.



-----> Hergestellte Mikrostrukturen im Volumen des EVA-Materials (A).
 Strukturierter und unstrukturierter Bereich des Metallkontaktes (B).
 Ein Foto eines Testobjektes mit Größenvergleich zu einer 1 Cent Münze (C).



-----> **Projektleitung:** HARALD MUCKENHUBER / MICHAEL EDLER, Isovoltaic AG



1

2

- 1 Christina Schinagl, Isovoltaic mit flexiblem Solarmodul
 - 2 Flexibles Solarmodul im Detail
-

Flexible PV-Systeme - Hochbarrierematerial zum Schutz sensibler Solarzellen

Einkapselung und Fertigung von flexiblen PV-Systemen

Die Produktentwicklung von flexiblen, witterungsbeständigen Hochbarrierematerialien zur Einkapselung von flexiblen Solarzellen, die nachfolgende Rolle-zu-Rolle-Fertigung von flexiblen Solarmodulen und anschließende Rolle-zu-Rolle-Laminierung dieser flexiblen Module auf Dachbahnen eröffnet eine innovative und ressourcenschonende Produktion von Photovoltaikmodulen. Große Mengen von flexiblen PV-Dachbahnen können so effizient und qualitativ hochwertig hergestellt und verbreitet werden. Flexible PV-Module können gebäudeintegriert, beispielsweise als rollbare Beschattungselemente, Anwendung finden.

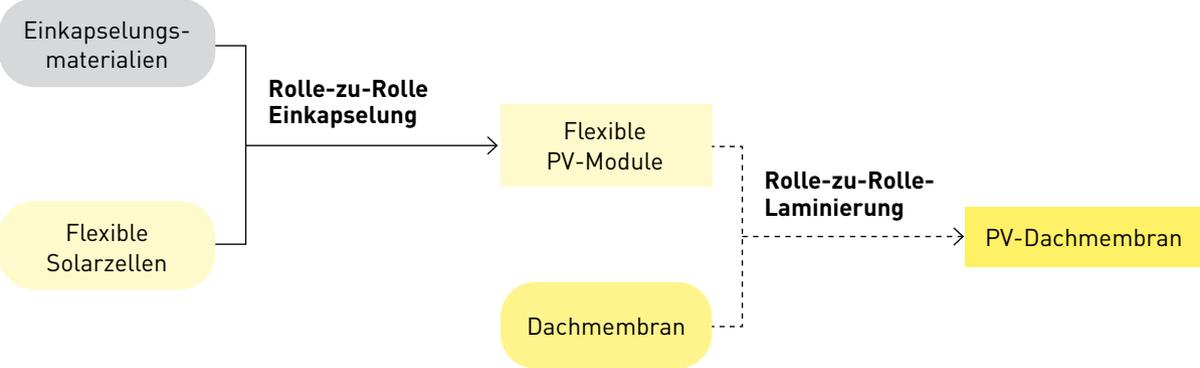
Die industrielle Rolle-zu-Rolle-Fertigung erlaubt eine großflächige Versorgung der EndverbraucherInnen mit gebäudeintegrierbaren Photovoltaik-Lösungen. Dadurch ist es möglich, die Kosten für Solarstrom zu senken und die dezentrale elektrische Energieversorgung zu verbessern. Der Anteil an erneuerbaren Energieträgern kann somit gesteigert werden. Durch den Einsatz neuartiger Komponenten und die Anwendung der hocheffektiven Rolle-zu-Rolle-Prozesse sollen die flexiblen PV-Module kostengünstig hergestellt werden und in Form einer flexiblen Rolle vorliegen. Die Lieferform in Rolle ist platzsparend und lässt sich bei der Endkonfektionierung ähnlich einem herkömmlichen Beschattungselement oder einer flexiblen Dachbahn ohne Photovoltaik verarbeiten. Ziel des Projekts ist es außerdem die Erkenntnisse

der diskontinuierlichen Herstellung von flexiblen PV-Modulen in den kontinuierlichen Rolle-zu-Rolle-Prozess zu übertragen und zu optimieren, ohne dass die Leistung der Hochbarrierematerialien und der einzukapselnden Zellen beeinträchtigt wird. Durch die Implementierung flexibler PV-Module in Form einer Versuchsanlage, einerseits als rollbare Beschattungselemente und andererseits als PV-Dachmembranen mit nachgeschaltetem Monitoring, können Abschätzungen der Betriebseigenschaften und Lebensdauer der innovativen Produkte getroffen und evaluiert werden.

Projektziele

Folgende Projektziele sollen realisiert und umgesetzt werden:

- Produktentwicklung
 - Entwicklung von mechanisch belastbaren, flexiblen und UV-beständigen Einkapselungsmaterialien unter Berücksichtigung der Barriereanforderungen der eingesetzten Zelltypen
 - Entwicklung von verbesserten Barriereigenschaften unter Einbeziehung von anorganisch-organischen Hybridschichten und metalloxidischen Schichten.
 - Erreichen von Barrierewerten von $< 10^{-4}$ g/m²d für Wasserdampf und $< 10^{-4}$ cm³/m²d für Sauerstoff
 - Definition der Einbettungsmaterialien, abgestimmt auf Zelltypus, um eine dauerhafte Verbindung zu erreichen
 - Verbesserung und Adaptierung des Herstellungsprozesses des entwickelten Hochbarrierematerials.



Erreichung der für sensible, flexible Solarzelltechnologien notwendigen Barriere- und Materialeigenschaften im industriellen Produktionsmaßstab

— Prozessentwicklung & Monitoring

- diskontinuierliche Einkapselung (Batch-Verfahren) funktioneller, flexibler Dünnschichtsolarzellen (organische PV, flexible CIGS-Technologien) mit Hochbarrierematerialien durchführen und evaluieren
- Verbesserung der diskontinuierlichen Einkapselung
- Rolle-zu-Rolle-Einkapselung der flexiblen PV-Module zur Herstellung photovoltaischer Dachbahnen und anderer gebäudeintegrierbarer photovoltaischer Lösungen
- Verbesserung bzw. Adaptierung des kontinuierlichen Einkapselungsprozesses
- Definition einer Methode zur Untersuchung der Barrierewirkung des Einkapselungsmaterials vor, während und nach dem Rolle-zu-Rolle-Prozess.
- Konzeptionierung des Messsystems für das Langzeitmonitoring der hergestellten flexiblen PV-Module und PV-Dachbahnen

Die entwickelten Hochbarrierematerialien werden im Rolle-zu-Rolle-Verfahren zur Einkapselung von flexiblen Solarzellen verwendet. Die erhaltenen rollbaren PV-Module können in einer nachgeschalteten Rolle-zu-Rolle-Laminierung mit kommerziellen Dachmembranen verbunden werden und somit werden rollbare PV-Dachmembranen produziert. Große Mengen von flexiblen PV-Modulen und PV-Dachbahnen können auf diese Weise effizient und qualitativ hochwertig hergestellt werden. Mit der Entwicklung der Rolle-zu-Rolle-Produktion von flexiblen PV-Systemen kann ein großer Markt versorgt werden. Hand in Hand damit gehen die Kostenreduktion von Solarstrom und der damit verbundene erhöhte Anteil an erneuerbaren Energieträgern.

Stand der Technik

Dachflächen von Gebäuden bieten ein sehr großes und zum Großteil ungenutztes Potential, um Photovoltaik-Anlagen zu installieren bzw. zu integrieren. Heute gibt es bei der Anwendung von Photovoltaik auf Gebäuden verschiedenste Formen der Integration in bzw. am Dach. Am gängigsten sind jene Photovoltaik-Module, die auf starren, kristallinen Solarzellen (c-Si) basieren und auf speziellen Glasplatten angeordnet werden. Die Rückseite dieser Module kann a) mit einer zweiten Glasplatte oder mit b) einem witterungsbeständigem Folienlaminat eingekapselt werden. Die Dachintegration erfolgt, abhängig von den baulichen Gegebenheiten und der Sonnenausrichtung, direkt auf bzw. vor der Dachkonstruktion, unter Ausnutzung der optimalen Sonneneinstrahlung. Diese Art der Dachintegration bedeutet immer einen wesentlichen Mehraufwand, sodass durch die Kombination der Funktionen von Gebäudeschutz und Energiegewinnung keine kostenrelevanten Synergien erzielt werden.

Der große Vorteil der Photovoltaik besteht darin, dass die elektrische Energie vor Ort, also bei den VerbraucherInnen, erzeugt wird, wodurch keine Netzkosten entstehen, ja sogar das Netz entlastet wird. Dennoch müssen die Herstellkosten wesentlich gesenkt werden, um ein attraktives Produkt für den/die EndnutzerIn zu erhalten.

Durch die flexible Integration von Photovoltaik-Modulen in bestehende bzw. geplante Dachflächen können in Zukunft die Herstellkosten dieser flexiblen Photovoltaik-Lösungen gesenkt werden.

Es entstehen keine zusätzlichen Netzkosten, der Strom wird direkt bei dem/der VerbraucherIn erzeugt.

An Bedeutung gewinnen nicht nur Dünnschichtsolarzellen, sondern auch Zellen aus amorphem Silizium (a-Si), mikrokristallinem Silizium ($\mu\text{c-Si}$), Kupfer-Indium-Gallium-Selenid (CIGS), Kupfer-Indium-Diselenid (CIS) und Cadmium-Tellurid (CdTe). Die Einkapselung von Dünnschichtsolarzellen kann a) mittels Glas-Glas oder b) Glas-Folienlaminat unter Einbeziehung einer



„Der stetig wachsende PV-Markt im Bereich der gebäudeintegrierten Photovoltaik mit ausgezeichnetem Kosten/Nutzen-Verhältnis bietet ein überdurchschnittlich großes Marktpotential für dieses Projekt. Gerade durch die kostengünstige Herstellung und die eleganten Verlegungs- und Anwendungsmöglichkeiten der PV-Dachbahn kann hier ein Beitrag zur Sicherung der zukünftigen Energieversorgung geleistet werden und zusätzlich eine Stärkung der technologischen Position Österreichs erreicht werden.“ CHRISTINA SCHINAGL, ISOVOLTAIC

Dampfsperre wie Aluminium erfolgen. Diese Einkapselungsmaterialien lassen nur eine bedingte Flexibilität zu, außerdem sind die Module aufgrund der verwendeten Materialien schwer. Besonders bei Flachdächern – davon gibt es im gewerblichen und industriellen Bereich sehr große – bietet sich die direkte Kombination von flexiblen Solarzellen mit einer direkten Verbindung am Dach an. Bestehende Lösungsvorschläge im Bereich von alternativen, flexiblen Einkapselungsmaterialien sind jedoch einerseits qualitativ nicht ausgereift (geringe Lebensdauer) und andererseits nicht kosteneffektiv. Um durchgehend große Lauflängen bei der Herstellung der PV-Systeme zu erreichen, ist es unbedingt notwendig, auch die Einkapselung von Rolle-zu-Rolle durchzuführen. Erst dadurch werden deutliche Effizienz- und Qualitätsgewinne möglich.

Organische Solarzellen befinden sich noch im Entwicklungsstadium, besitzen aber ein sehr großes Marktpotential. Sie können sehr kosteneffizient durch Drucktechniken auf diversen kostengünstigen flexiblen Substraten, wie zum Beispiel Polyesterfolie, hergestellt werden. Aufgrund der geforderten Barriereigenschaften wird zur Erreichung einer akzeptablen Lebensdauer Glas als Einkapselungsmaterial verwendet. Die Wirkungsgrade von organischen Solarzellen bewegen sich im Bereich von ca. 5 %, die Lebensdauer ist bis dato noch recht eingeschränkt. Gründe dafür sind die relativ sensiblen organischen Aktivmaterialien, die teilweise sehr stark zur Degradation neigen. Gerade konjugierte organische Polymere tendieren stark zur Oxidation in Gegenwart von Wasser bzw. Wasserdampf oder Sauerstoff. Um mit organischen Solarzellen einen Rolle-zu-Rolle-Einkapselungs-

prozess durchführen zu können, müssen flexible Einkapselungsmaterialien mit entsprechenden Barriere-eigenschaften gegenüber Wasserdampf und Sauerstoff eingesetzt werden. Die optische Transparenz dieser Hochbarriere-Einkapselungsmaterialien muss entsprechend hoch sein.

Im Bereich der Barriertechnologie existieren grundsätzlich zwei denkbare Ansätze: Entweder werden Multikompositmaterialien mit Barrierschichten gegen Wasserdampf und Sauerstoff auf die zu schützenden Bauelemente „aufkaschiert“ oder entsprechende Barrierschichten werden direkt auf OLEDs bzw. Displaymaterialien im Vakuum abgeschieden. Die Polymeroberfläche wird geglättet, um die Integrität der Barrierschichten zu verbessern. Erzielte Barriere-wirkungen bewegen sich im Bereich von $\sim 8 \cdot 10^{-5} \text{ g/m}^2 \text{ d}$ Wasserdampfdurchlässigkeit.

Neuheitsgrad

Die Entwicklung von Hochbarrierematerialien in reproduzierbaren Qualitäten zur Einkapselung von flexiblen Zellsystemen in Rolle-zur-Rolle-Prozessen beinhaltet einen hohen Innovationsgrad. Bisher wurde die Herstellung von Hochbarrierematerialien und die nachfolgende Einkapselung von Zellsystemen im Batch-Verfahren durchgeführt.

Mit dem Rolle-zu-Rolle-Verfahren und begleitender Qualitätskontrolle können Hochbarrierematerialien unter Erfüllung der Qualitätsanforderungen reproduzierbar und in ausreichender Menge hergestellt werden. Um die Qualität der Hochbarrierematerialien vor, während und nach dem Rolle-zu-Rolle-Prozess überprüfen zu können, werden Messungen der Sauerstoff- und Wasserdampfpermeabilität durchgeführt. Diese Messungen sollen Aufschluss über den Produktionsprozess geben, damit im Falle eines Barriereverlustes korrektive Maßnahmen ergriffen werden können.

Einen kommerziellen Hersteller für flexible Hochbarrierematerialien und die nachfolgende Rolle-zu-Rolle-Einkapselung von flexiblen Solarzellen gibt es

bis dato weltweit noch nicht. Die Kombination des im Haus designten Hochbarrierematerials mit dem effizienten Rolle-zu-Rolle-Prozess zur Einkapselung von Solarzellen bzw. der nachgeschalteten Rolle-zu-Rolle-Laminierung von PV-Dachmembranen erlaubt es innerhalb von kurzer Zeit im industriellen Maßstab große Mengen davon zu produzieren und zu verteilen. Durch die industrielle Fertigung und die großflächige Versorgung der EndverbraucherInnen mit gebäudeintegrierbaren PV-Dachmembranen ist es möglich, die Kosten für Solarstrom zu senken und die elektrische Energieversorgung dezentral zu verbessern.

Technologievorsprung

In diesem industriellen Forschungsprojekt soll Hochbarrierematerial entwickelt werden, welches den Anforderungen der verwendeten Zellen hinsichtlich Wasserdampf- und Sauerstoffbarrierewirkung, optische Transparenz, UV-Beständigkeit, Adhäsion zu Einkapselungsmedien und Flexibilität während des Rolle-zu-Rolle-Prozesses gerecht wird. Zusätzlich zu diesen Eigenschaften wird für den Einsatz in langlebigen Photovoltaikanwendungen eine außergewöhnlich gute Witterungsbeständigkeit gefordert. Diese Witterungsbeständigkeit wird durch beschleunigte Alterungstests in Klimageräten bei 85°C und 85% relativer Feuchte durchgeführt. Zusammensetzung und Aufbau des Mehrschichtsystems werden auf die geforderten Bedürfnisse der Endnutzung zugeschnitten, sodass ein optimales Produkt entsteht.

Die Entwicklung des Rolle-zu-Rolle-Prozesses zur Einkapselung von flexiblen Solarzellen bzw. in weiterer Folge zur Herstellung von PV-Dachmembranen ist auf alle Einflussfaktoren wie Einkapselungsmaterial, Zelltypus, Einbettungsmaterial, Verbindung mit der Dachmembran hin optimiert. Eine ständige Überwachung der Produktion hinsichtlich Verbesserung und in weiterer Folge Kontinuität der Produktqualität ist dafür notwendig, ohne einen Effizienzverlust zu erleiden.



→ Flexibles Solarmodul im Detail

Vergleich zum Stand der Technik („Stand des Wissens“)?

Grundlagen zur Entwicklung von Hochbarriere-materialien liefern Vorstudien aus der EU und Partnerprojekten. Bei der bisherigen Entwicklung von Hochbarrierematerialien wurden viele Schichten durch Lamination miteinander verbunden, um den Weg des Wasserdampfs bzw. Sauerstoffs zum zu schüt-zenden Material so lang und schwierig wie möglich zu gestalten und eine möglichst hohe Barriere aufzubauen. Hochbarrierematerialien mit Wasserdampf- bzw. Sauerstoffpermeationswerten $<10^{-4}$ g/m²d bzw. cm³/m²d, welche flexible anorganische oder organische Solar-

zellen schützen konnten, wurden mit dieser Methode nicht erreicht.

Kontinuierliche Rolle-zu-Rolle-Verfahren zur Einkap-selung von flexiblen Solarzellen – ohne Barriereverlust des Einkapselungsmediums und ohne Zerstörung der Zellen – wurden nicht durchgeführt. Rolle-zu-Rolle-Verfahren gehören bei der Produktion von flexiblen Zelltypen beinahe zum Stand der Technik. Eine repro-duzierbare und effiziente Prozessführung stellt eine Herausforderung dar, um flexible Photovoltaik qualitativ hochwertig produzieren und verwerten zu können.

DREI GUTE GRÜNDE FÜR DAS PROJEKT:

- Optimales Konsortium für kontinuierliche Fertigung von flexiblen CIGS und organischen Solarzellen-Modulen
- Attraktive Endanwendung durch Integration in Dachbahn
- Förderung und Ausbau der Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten im Bereich flexibler PV-Module





→ **Projektleitung:** GABRIELE EDER

OFI - Österreichisches Forschungsinstitut für Chemie und Technik

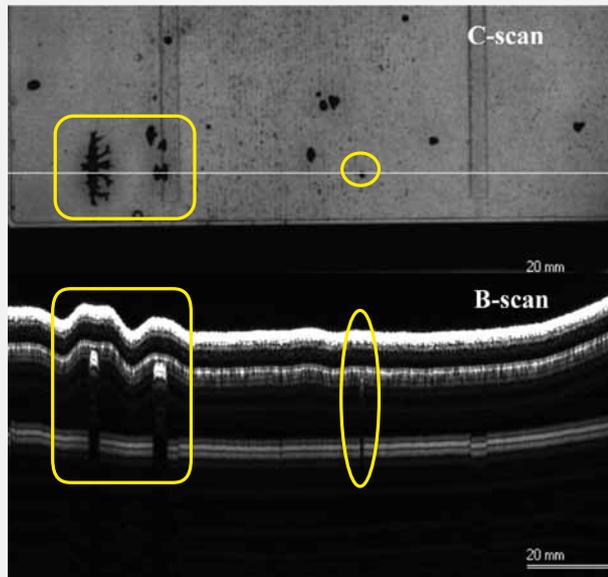
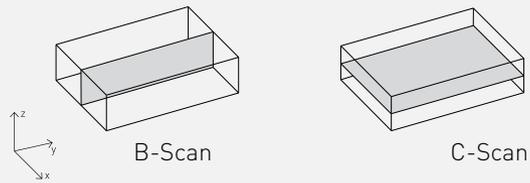


ABBILDUNG 1

Delaminationen im Einkapselungsmaterial zwischen Wafer und Backsheet, zerstörungsfrei gemessen durch das Backsheet

Langzeitperformance von Photovoltaik-Modulen

SYSTEMOPTIMIERUNG DURCH ANWENDUNG INNOVATIVER ANALYSEN- & ALTERUNGSVERFAHREN

Im vergangenen Jahrzehnt hat die Photovoltaikbranche ein überdurchschnittlich hohes Wachstum erlebt und ist so auch für Firmen aus den unterschiedlichsten Bereichen (Halbleiter, Kunststoffe, Maschinenbau etc.) ein sehr interessantes Betätigungsfeld geworden, neue Anbieter von (polymeren) Modulmaterialien sind in den Markt eingetreten. Während für die eingeführten Materialien langjährige Erfahrungswerte betreffend Stabilität und Witterungsbeständigkeit existieren, fehlen solche für Module, die mit neuartigen Materialien gefertigt wurden, obwohl sie die Forderung nach Modullebenszeiten von 25+ Jahren erfüllen müssen. Im Rahmen des Projektes „Analysis of PV-aging“ wird das Alterungsverhalten von in PV-Modulen eingesetzten polymeren Materialien, wie diversen Einkapselungsmaterialien, Backsheets, Dichtmassen und Klebstoffen, mit innovativen Analysemethoden untersucht. Der isolierte und kombinierte Einfluss von Umweltfaktoren, wie Bestrahlung, Feuchte, Temperatur bzw. Temperaturwechsel aber auch von verschiedenen Schadgasen (wie z.B. Ammoniak) auf die Beständigkeit der PV-Materialien im Modul, wird in beschleunigten Bewitterungs- und Klimalagerungs-experimenten nachgestellt. Der direkte Vergleich von Materialalterung mit unter gleichen Bedingungen durchgeführter Modulalterung (im Sinne der Vorgaben von TASK 13 der IEA PVPS) erlaubt Rückschlüsse auf unerwünschte Wechselwirkungen (Materialinkompatibilitäten) zwischen den PV-Komponenten. Die alterungsinduzierten Veränderungen der Komponenten im Multimaterialverbund PV-Modul werden mit einer Kombination aus etablierten und innovativen

Analysentools erfasst. Die Korrelation des Auftretens dieser chemischen und physikalischen Alterungsvorgänge mit Veränderungen in den mechanischen, optischen und elektrischen Eigenschaften der Materialien wird dabei als ganz wesentlich angesehen. Auch der Einfluss der Alterungsbedingungen auf die Sauerstoff- und Wasserdampfpermeationsraten der polymeren Barrierschichten ist Thema des Projekts.

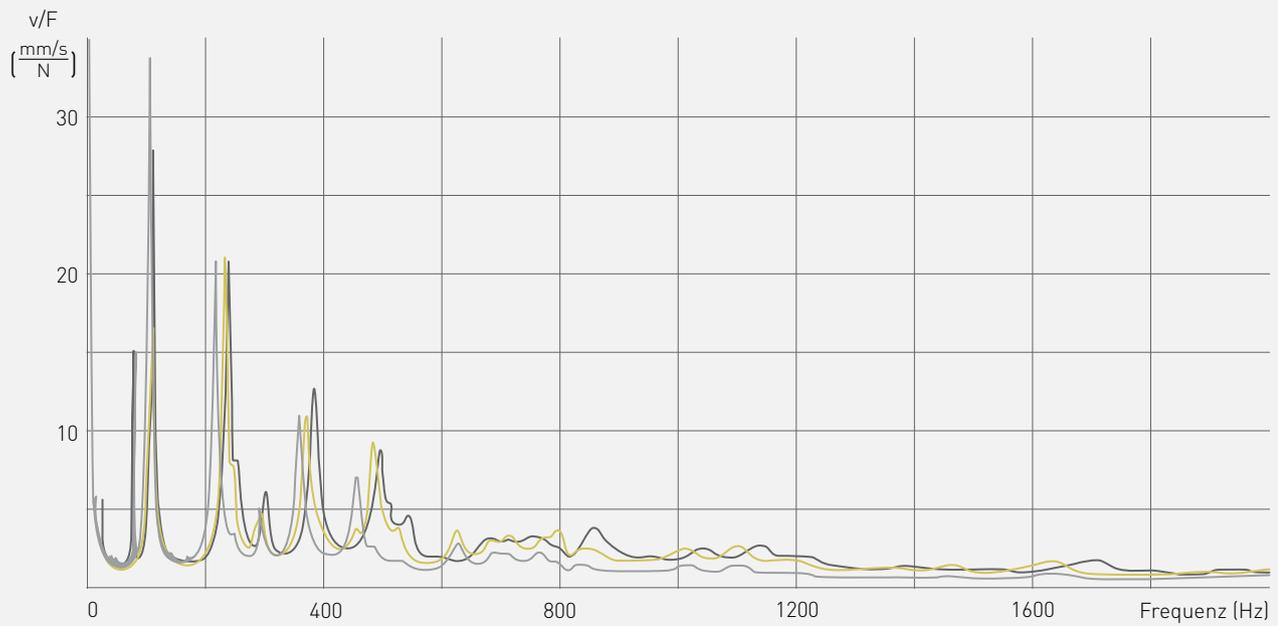
Einen Schlüsselpunkt der laufenden Arbeiten stellt die Erfassung der Zusammenhänge zwischen (i) Alterungsbedingungen, (ii) den dadurch induzierten Schädigungen der Materialien und/oder Materialkombinationen im Modul sowie (iii) deren Einfluss auf die Modulperformance dar.

Aus den analytischen Ergebnissen der alterungsbedingten Veränderungen der Materialien nach beschleunigten Alterungstests werden Modelle zur Erklärung der aufgetretenen Schädigungsmechanismen aufgestellt. Es wird deutlich, dass sich das Alterungsverhalten, induziert durch eine Kombination von Einflussfaktoren (wie z.B. Feuchte und Temperatureinfluss oder Schadgas und Feuchte), NICHT additiv aus der Alterung unter dem isolierten Einfluss der Einzelfaktoren zusammensetzt. Diese aus den künstlich erzeugten Degradationen abgeleiteten Alterungsmechanismen werden durch parallel durchgeführte Messungen an real gealterten, geschädigten Modulen aus langjährigem Feldeinsatz verifiziert.

Erste Ergebnisse: Für die zerstörungsfreie Analyse der chemischen Veränderungen von polymeren Materialien im Modul hat sich die konfokaler Ramanspektroskopie als aussagekräftige Analysemethode

Schwingungsanalyse (Laser Doppler Vibrometrie)

ABBILDUNG 2



— 0
— a1
— a2

herausgestellt. Auch die direkte Charakterisierung von witterungsbedingten Veränderungen an Zellmaterialien und/oder Leiterbahnen im unverbauten oder im Modul eingekapselten Zustand kann mittels Ramanspektroskopie durchgeführt werden. Alterungsinduzierte Fehlstellen im Multimaterialverbund PV-Modul wie zum Beispiel Delaminationen oder Blasenbildung können mit Hilfe von Ultraschallmikroskopie und aktiver Pulsphasenthermographie zerstörungsfrei visualisiert und vor allem auch lokalisiert werden (Beispiel siehe Abbildung 1). Zusätzlich werden Module vor und nach der künstlichen Alterung mittels **Schwingungsanalyse** (Laser Doppler Vibrometrie) an der TU Wien untersucht. Mit dieser Methode wird versucht, das Verformungsverhalten von unterschiedlichen Einkapselungs-

materialien zu erfassen und mit Veränderungen in den Material-eigenschaften zu korrelieren (Beispiel siehe Abbildung 2).

Für die Charakterisierung der chemischen Degradation künstlich gealterter polymerer Materialien haben sich die Infrarotspektroskopie sowie die UV-VIS-Spektroskopie als besonders sensitive und aussagestarke Methoden erwiesen: neben Hydrolyse – und/oder Oxidationsvorgängen können auch Polymerabbau, Kristallinitätsänderungen oder Verbrauch von Stabilisatoren erfasst werden. Die diversen Methoden der thermischen Analyse sowie Thermodesorption-GC/MS haben sich als wertvolle zusätzlich analytische Tools zur Ergänzung der spektroskopischen Daten herausgestellt.

DREI GUTE GRÜNDE FÜR DAS PROJEKT:

- Innovative analytische Methoden zur zerstörungsfreien Charakterisierung des Alterungsverhaltens von PV-Modulen und PV-Materialien werden etabliert.
- Die analytisch erfassbaren chemischen und physikalischen Materialveränderungen der Modulkomponenten werden mit deren anwendungsrelevanten Eigenschaften korreliert.
- Die Zusammenhänge zwischen Alterungsbedingungen, den dadurch induzierten Schädigungen im Modul sowie deren Einfluss auf die Modulperformance werden erarbeitet.





Projektleitung: REINHOLD LANG
Johannes Kepler Universität Linz
Institute of Polymeric Materials and Testing



1



„Über die Einkapselungsmaterialien (Zell-Einbettung und Folienverbunde zur Rückabdeckung) und Anschlussboxen bei PV-Modulen, aber auch zB. bei diversen Komponenten in Wechselrichtern und bei der Kabelisolierung haben Kunststoffe schon heute wesentlichen Anteil an der Herstellung von PV-Modulen und PV-Anlagen. Mit der steigenden Bedeutung von semi-flexiblen und flexiblen Modulen kommen künftig noch Kunststofffolien zur Frontabdeckung hinzu.“

PROJEKTLLEITER REINHOLD W. LANG

Kunststoffe als Innovations- und Wachstumsmotor für Solarthermie

Für das weitere Wachstum und die Marktdurchdringung von Solarenergie-Technologien (insbesondere Solarthermie und Photovoltaik) haben werkstoffgetriebene Innovationen eine hohe Bedeutung. Analog zu anderen Technologiebereichen (z.B. Bautechnik, Fahrzeugtechnik, Elektro-technik, Elektronik), ist davon auszugehen, dass insbesondere Polymerwerkstoffe (Kunststoffe) und die damit verbundenen Verfahrenstechnologien ein hohes Innovationspotential aufweisen und diese Werkstoffklasse zur treibenden Kraft künftiger solartechnischer Entwicklungen wird. Beispielsweise werden thermische Kollektoren und Kollektorsysteme derzeit in aufwändigen und kostenintensiven Fertigungsprozessen aus einer Vielzahl unterschiedlicher Materialien mit einem vergleichsweise geringen Kunststoffanteil gefertigt. Abgesehen von der begrenzten künftigen Verfügbarkeit bestimmter Rohstoffressourcen wie z.B. Kupfer für Absorber, liegt in der Verwendung eines zunehmenden Anteils von Polymerwerkstoffen in solarthermischen Systemen auch ein hohes Potential für Weiterentwicklungen in Bezug auf Funktionsfähigkeit und attraktiveres Design mit gleichzeitigen Folgewirkungen auf die Wirtschaftlichkeit (Kostenreduktion) und die Marktdurchdringung.

Wie in anderen Entwicklungsbereichen, kommt auch auf dem Gebiet der Solartechnik kooperativen FuE-Aktivitäten von Industrie und Forschungseinrichtungen unter Miteinbeziehung solartechnischer

und kunststofftechnischer Kompetenzen eine Schlüsselrolle zu. Als Beispiel mit Modellcharakter für derartige Kooperationen sind die kürzlich unter der Markenbezeichnung SolPol begonnenen österreichischen Großforschungsvorhaben für den innovativen Kunststoffeinsatz in der Solarthermie und Photovoltaik zu nennen. Unter der Leitung des JKU-Instituts für Polymeric Materials and Testing (IPMT) und unter Beteiligung von insgesamt 14 Unternehmen und 10 Forschungseinrichtungen wird in den SolPol-Projekten jeweils die gesamte Wertschöpfungskette von werkstofflichen Neuentwicklungen bis zur Herstellung von solartechnischen Funktionsmustern aus Kunststoffen bzw. unter Nutzung neuartiger Polymerwerkstoffe abgebildet. Die Laufzeit der Vorhaben erstreckt sich von 2010 bis 2014, das Gesamtbudget beträgt etwa 7,4 Mio. Euro. Die Forschungsvorhaben werden vom Klima- und Energiefonds gefördert und durch die FFG im Rahmen des Programms „Neue Energien 2020“ abgewickelt.

Übergeordnete Gesamtzielsetzung der SolPol-Projekte ist, die Position österreichischer Solar- und Kunststoffunternehmen in diesen global rasch wachsenden Märkten durch polymer-basierende innovative Neuentwicklungen zu stärken und auszubauen. Gleichzeitig soll damit auch ein wesentlicher Beitrag zur Verbreitung erneuerbarer Energietechnologien und zur Reduktion von Treibhausgasemissionen geleistet werden.

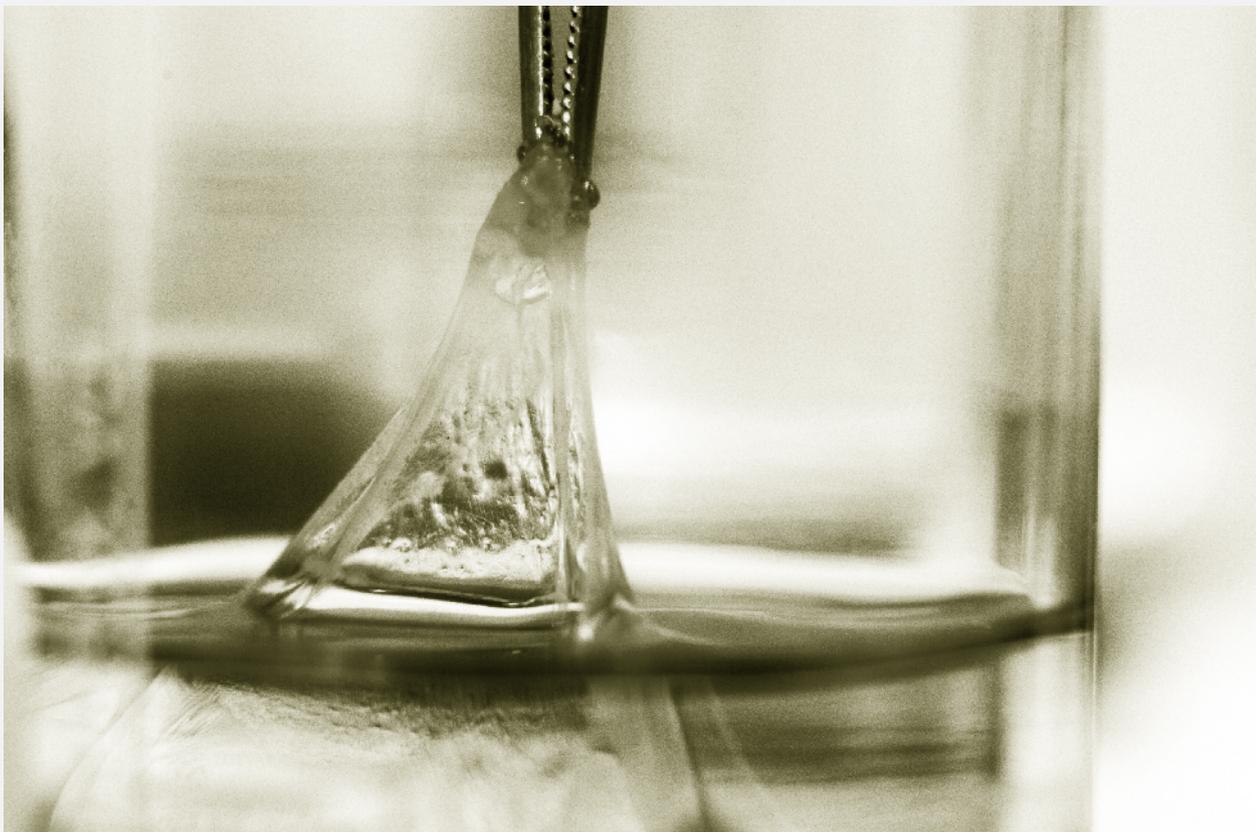


SolPol-Projekte

SolPol-1 Solarthermische Systeme aus Polymerwerkstoffen – Voraussetzungen, Perspektiven und Folgewirkungen

SolPol-2 Solarthermische Systeme aus Polymerwerkstoffen – Neuartige Kollektoren und Kunststoff-Compounds

SolPol-3 Solarelektrische Systeme aus Polymerwerkstoffen – Photovoltaik



3

1-3 Institute of Polymeric Materials and Testing, JKU Linz,
Quelle: © Ringhofer/Klima- und Energiefonds

DREI GUTE GRÜNDE FÜR DAS PROJEKT:

- Neue Einkapselungsmaterialien werden zu einem bestimmenden Faktor der weiteren Technologieentwicklung und Marktdurchdringung
- Thermoplastische Elastomere sind schneller und kostengünstiger zu verarbeiten
- Durch die SolPol-Projekte wird die Position österreichischer Kunststoffunternehmen auf dem globalen Markt durch innovative Neuentwicklungen gestärkt und ausgebaut





-----> **Projektleitung:** PHILIP OHNEW EIN, AEE INTEC



-----> „Das Gesamtergebnis von „ParaSol“ liefert durch den innovativen Berechnungsansatz für solarthermische Kollektoren und Kollektorfeldern gänzlich neue Erkenntnisse für die Solarthermiebranche, speziell für solarthermische Großanlagen. Die Projektergebnisse erhöhen maßgeblich die Planungssicherheit bei gleichzeitiger Kostenreduktion und liefern damit eine neue Basis, auf der weitere Entwicklungen der Solarthermie-Branche aufbauen können.“

PROJEKTL EITER PHILIP OHNEW EIN

Hydraulik von parallelen Kollektormodulen in solarthermischen Großanlagen

Ein zentraler technologischer Aspekt bei der Auslegung solarthermischer Großanlagen ist das Hydraulikdesign des Kollektorfelds. **Warum ist im Kollektorfeld eine homogene Strömungsverteilung von großer Bedeutung?** Ungleichmäßige Durchströmung von Anlagenteilen in Kollektorfeldern führt zu erhöhtem Druckverlust und dadurch ineffizientem Pumpenbetrieb mit hohem elektrischem Verbrauch. Eine weitere Folge inhomogener Strömungsverteilung sind erhöhte Temperaturen einzelner Anlagenteile, die mit Leistungseinbußen, ineffizientem Anlagenbetrieb und im schlimmsten Fall mit partieller Stagnation gekoppelt sind, wenn in schlecht durchströmten Anlagenteilen die Siedetemperatur erreicht wird.

In Ermangelung anderer Möglichkeiten erfolgt die hydraulische Einregulierung des Kollektorfelds heute oft ausschließlich über mechanische Regelventile. Dies ist eine für Großanlagen nicht ideale Lösung. Die Nachteile liegen in einer unnötigen Kostenerhöhung durch die zusätzliche Investition und den Zeitaufwand für die hydraulische Einregulierung. Weitere Nachteile sind die Fehleranfälligkeit und Unzuverlässigkeit derartiger Armaturen im Kollektorfeld. Insgesamt ist der derzeitige Planungsstandard solarthermischer Großanlagen im Hydraulikdesign der Kollektorfelder noch nicht zufriedenstellend, vor allem in den Bereichen Verrohrungsaufwand und Strömungsverteilung.

Projekt „ParaSol“

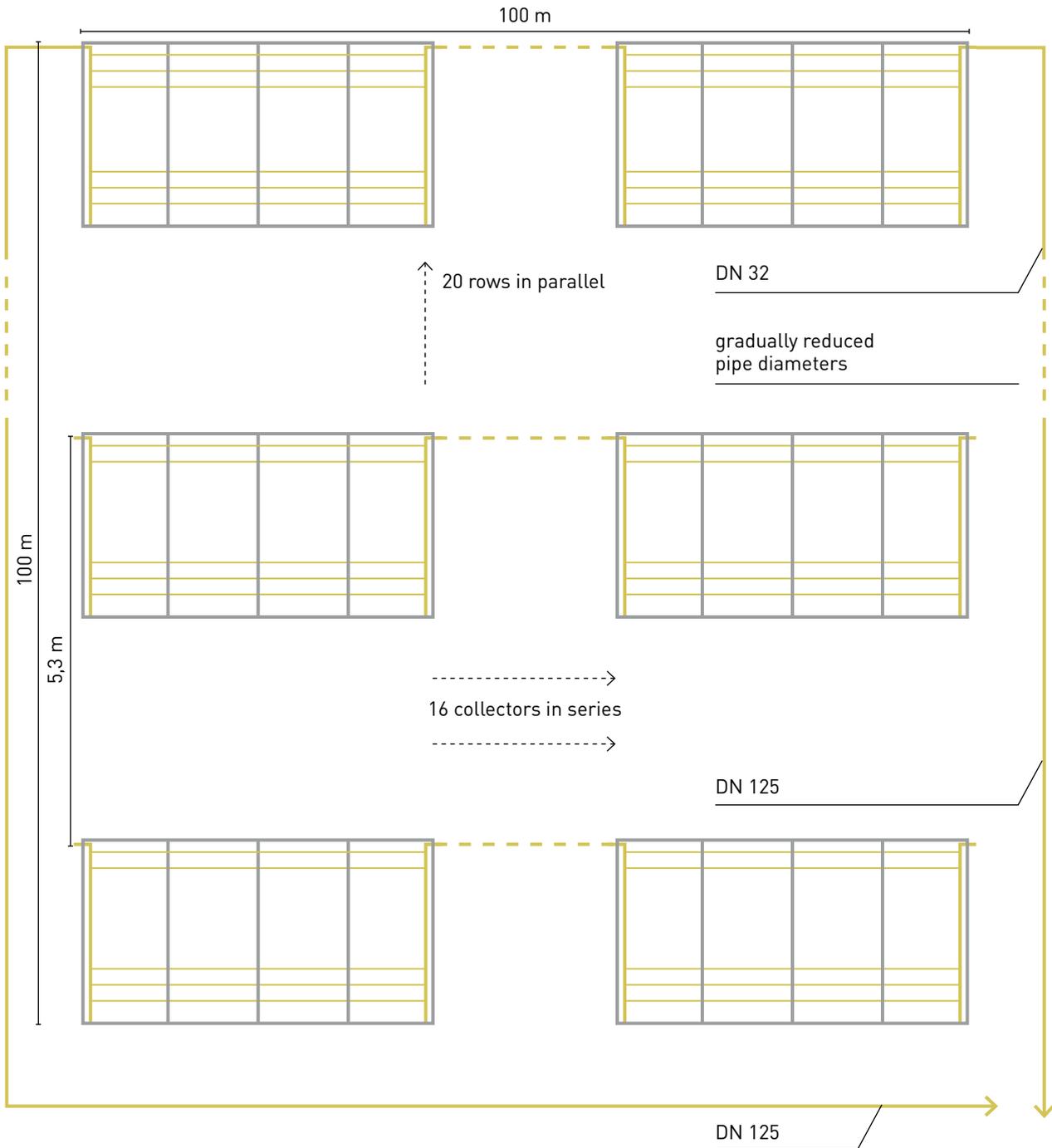
Das Projekt nahm sich die aktuelle Situation zum Anlass und setzte sich das Ziel, **verschiedene Verschaltungs-Möglichkeiten von Kollektorfeldern**

durch Entwicklung und Validierung eines geeigneten Berechnungsmodells detailliert zu untersuchen. Die Validierung des Berechnungsmodells geschieht durch messtechnische Untersuchungen im Labor von AEE INTEC sowie in Feldanlagen.

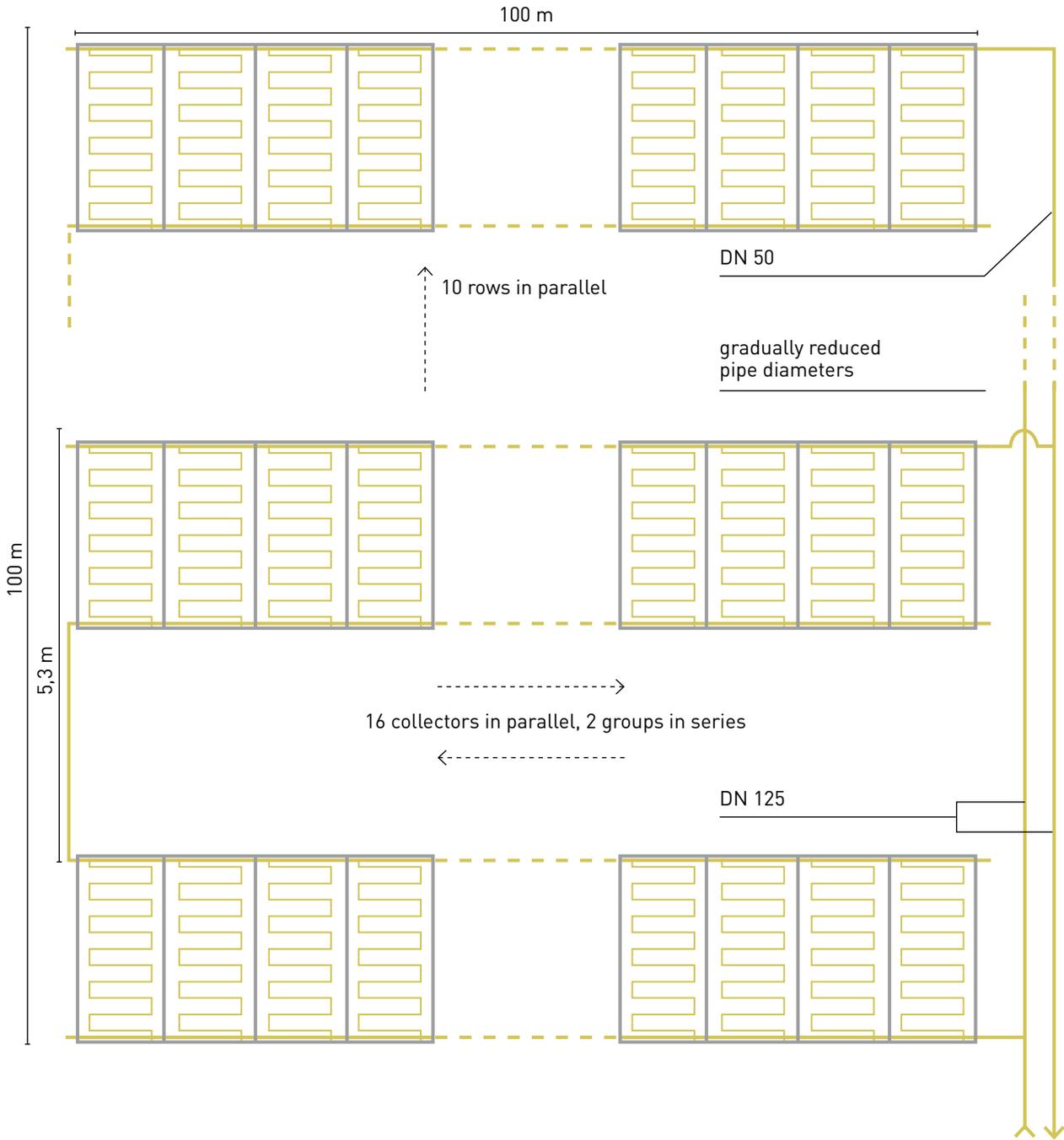
Auf Basis des Berechnungsmodells wurden Kennzahlen entwickelt, welche es erstmals erlauben, verschiedene Verschaltung-Möglichkeiten von Kollektorfeldern genau zu charakterisieren und miteinander zu vergleichen. Diese Kennzahlen umfassen: Stagnationsdistanz, maximale Fließgeschwindigkeit, Reynolds-Zahl der Absorberrohre, spezifische Metallmasse der Kollektorfeld-Verrohrung, Trassenlänge der Kollektorfeld-Verrohrung, spezifische Kupfermasse der Solarkollektoren, Wärmekapazität des Kollektorfelds, Gesamt-Druckverlust des Kollektorfelds, Verhältnis zwischen hydraulischer und thermischer Leistung und Effizienzverlust aufgrund ungleicher Strömungsverteilung. Die angeführten Größen liefern detaillierte Informationen über die unterschiedlichen Verschaltungs-Möglichkeiten von Kollektorfeldern.

Ein Hauptziel bei der Auslegung von solarthermischen Großanlagen ist das **optimale Design des Kollektorfelds**. Ein Kollektorfeld kann man erst als „optimal verschaltet“ bezeichnen, wenn einerseits kostengünstige Verschaltungen mit geringen Rohrlängen und andererseits eine möglichst gleichmäßige Strömungsverteilung einzelner Anlagenteile erreicht wurden. Mit Hilfe der von AEE INTEC entwickelten Berechnungstools können **große Kollektorfelder mit mehreren 1.000 m² Kollektorfläche mit einem hydraulisch-thermisch gekoppelten Modell** detailliert

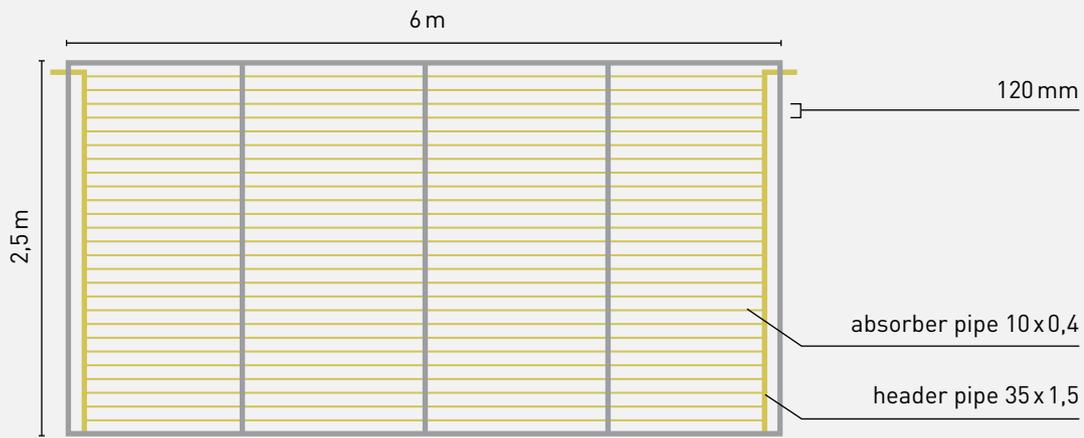
Harfenkollectorfeld



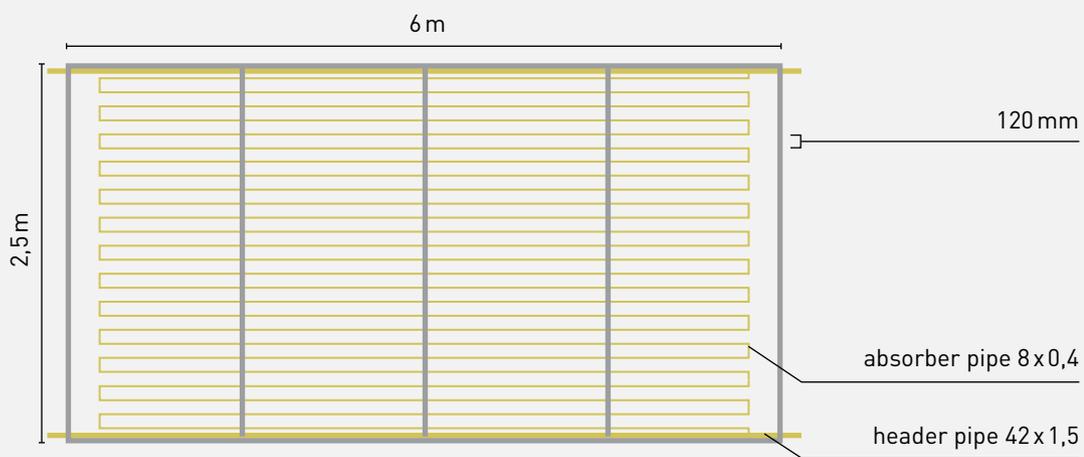
Mäanderkollektorfeld



Harfenkolektor



Mäanderkolektor



untersucht werden. Dies liefert einen Beitrag zur Umsetzung technisch einfacherer, robusterer und zugleich preiswerterer solarthermischer Großanlagen.

Große Kollektorfelder und geeignete Kollektortypen

Für den Einsatz in großen Kollektorfeldern eignen sich beispielsweise Großflächen-Flachkollektoren in Harfen- oder Mäander-Bauweise. Harfenkollektoren werden seriell zu Kollektorfeld-Reihen verschaltet, die Absorberrohre innerhalb jedes Kollektors sind parallel verbunden. Mäander-Großflächenkollektoren werden hingegen an 4 Anschlusspunkten verbunden, sodass alle Mäander einer Reihe parallel verschaltet sind (siehe Abbildung). Sinngemäß gilt die Verschaltung auch für direkt durchströmte Vakuumröhrenkollektoren. Für große Kollektorflächen werden mehrere solcher Reihen parallel verschaltet. Wichtig ist dabei das

Erreichen möglichst großer Kollektorfeld-Flächen. Nur so kann der Verrohrungsaufwand minimal gehalten werden – ein aus Kostensicht zentraler Aspekt. Aus technischer Sicht liegt die Problematik bei Parallelverschaltungen darin, dass es immer zu einer mehr oder weniger ungleichmäßigen Durchströmung der Elemente kommt. Je höher der Druckverlust der parallel durchströmten Elemente im Verhältnis zum Druckverlust in den Sammel- und Verteilungen – je höher also die Autorität der parallel durchströmten Elemente – desto gleichmäßiger ist die Durchströmung. Vor dem Beginn des Projekts „ParaSol“ gab es keine belastbaren Kriterien für die maximalzulässige Ungleichverteilung und damit für maximal verschaltbare Flächen in einem Kollektorfeld. In jedem Fall beeinflussen Vorgänge auf der Ebene einzelner Komponenten das charakteristische Verhalten des Gesamtsystems in Bezug auf die Verteilung der Volumenströme.

DREI GUTE GRÜNDE FÜR DAS PROJEKT:

- Das Gesamtergebnis von „ParaSol“ liefert durch den Ansatz einer umfassenden und vollständig hydraulisch-thermisch gekoppelten Abbildung von Kollektoren und Kollektorfeldern gänzlich neue Erkenntnisse für die Solarthermiebranche, speziell für solarthermische Großanlagen.
- Die Möglichkeit der fundierten Modellierung und Berechnung von Parallelschaltungen in Kollektorfeldern bei akkurater Berücksichtigung von Strömungsverteilung, Reibungs- und Stoßdruckverlusten, Temperaturverteilung und Wirkungsgraden erhöht maßgeblich die Planungssicherheit und liefert eine neue Basis, auf der weitere Entwicklungen der Branche aufbauen können.
- Das Potenzial zur Kosten- als auch zur Wärmeverlustreduktion kann nun ausgeschöpft werden. „ParaSol“ liefert einen Beitrag zur Umsetzung technisch einfacherer, robusterer und zugleich preiswerterer thermischer Solaranlagen.

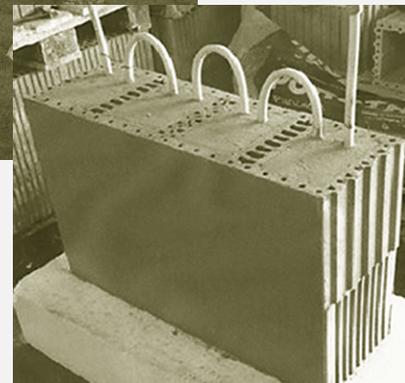




→ **Projektleitung:** ALEXANDER LEHMDEN
Wienerberger AG



1



2

- 1 Rendering „e4 Ziegelhaus 2020“
 - 2 Teil der aktivierten Ziegelwand / Porotherm 25-38 SBZ
(Quelle: Wienerberger AG)
-

Solar Plus Haus: Bauteilaktivierte Wärmespeicherung in Speicherziegel

Einleitung

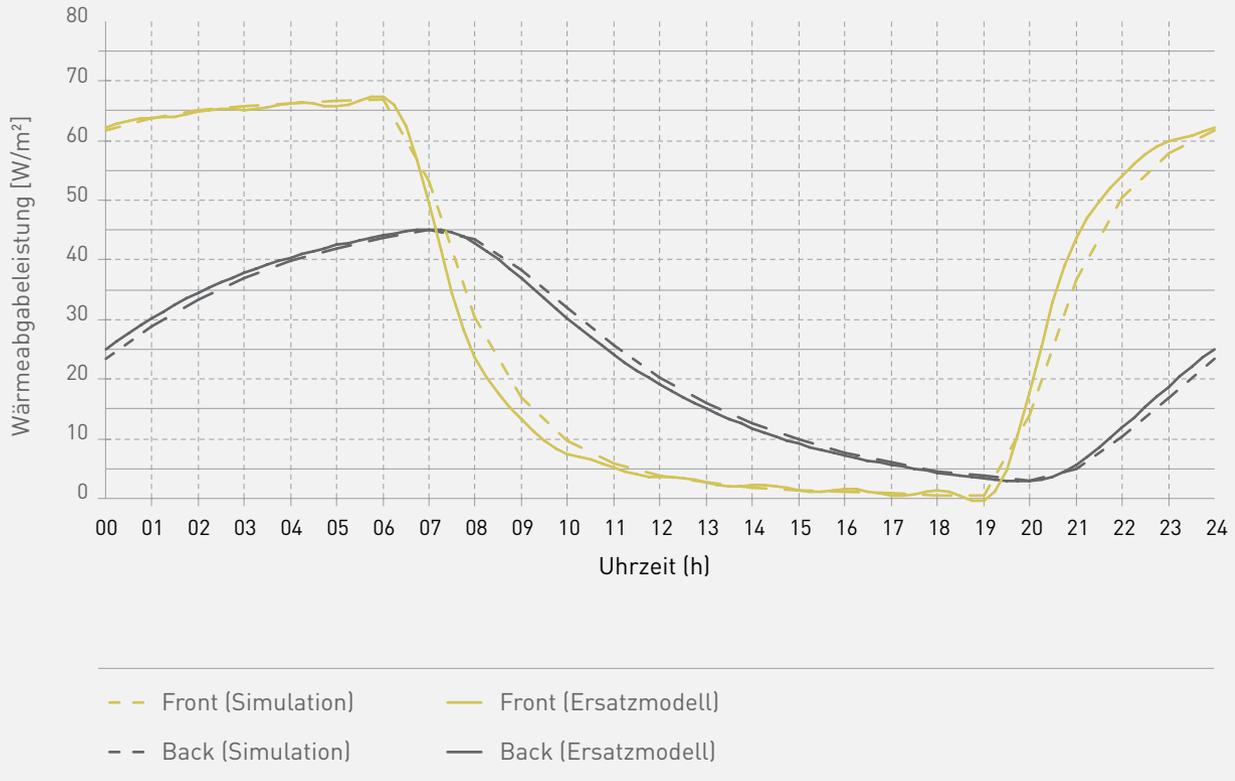
Ziel des Forschungsprojekts ‚Solares Plus Haus‘ ist die **erstmalige Entwicklung, Errichtung und Evaluierung eines Demo-Ziegelwohngebäudes**, welches seinen ganzjährigen Energiebedarf zu 100 % aus **erneuerbaren Energiequellen deckt** und eine **negative Jahresbilanz hinsichtlich Primärenergiebedarf** (nicht erneuerbarer Anteil) aufweist. Die Bewärmung des Gebäudes wird über eine **neu entwickelte Ziegelwandtemperierung** erreicht, die überwiegend mit solarer Wärme aus einer großflächigen Solaranlage mit großvolumigem Schichtspeicher bewirtschaftet wird. Ziel sind solare Deckungsgrade größer als 60% an der Wärmelieferung. Über drei Jahre erarbeiten die Projektpartner einerseits Methoden, um das energetische Gebäudekonzept theoretisch in geeigneten Modellen abzubilden sowie zu bewerten und andererseits wird der experimentelle Nachweis des realen energetischen Gebäudeverhaltens über ein zweijähriges wissenschaftliches Monitoring geliefert. Seit Weihnachten 2012 wohnt Familie Lugauer im „e4Ziegelhaus2020“ und seit diesem Zeitpunkt ist die gesamte Haustechnik im realen Betrieb. Weiters **schreibt seit Jänner 2013 das Austrian Institute of Technology Monitoringdaten mit und analysiert sowie bewertet das energetische Gebäudeverhalten samt Haustechnik**. Im Rahmen der Veranstaltung des Klima- und Energiefonds „science brunch: photovoltaik und solarthermie“ werden ausgewählte Projektergebnisse präsentiert.

Energetisches Gebäudekonzept

Das Wohngebäude „e4 Ziegelhaus 2020“¹ oder „Solares Plus Haus“² in massiver Bauweise umfasst eine beheizte Bruttogrundfläche von etwa 277 m² und wird in Zwettl, Österreich, errichtet. Die Gebäudehülle wird im Wesentlichen durch eine neue Generation energieeffizienter Ziegel der Wienerberger AG realisiert. Die Architektur und das energetische Gebäudekonzept basieren auf hoher Energieeffizienz in der Gebäudehülle und nutzen Solartechnologien zur Deckung des Wärme- und Strombedarfs des Gebäudebetriebs inklusive nutzerbedingter Energienachfrage. Die thermische Solaranlage ist ein ‚SolarKombi System‘ und **generiert solare Wärme sowohl zur Deckung des Warmwasserbedarfs als auch zur Gebäudebeheizung**. **Rund 50m² Flachkollektoren** sind im Süd orientierten Steildach mit einer Neigung von 60° integriert und bewirtschaften einen Schichtspeicher in Spezialbauweise mit einem Volumen von 9.580 Litern, der innerhalb der thermischen Gebäudehülle über zwei Geschosse aufgestellt ist. Ein **40 kW Holzkessel liefert die Wärme an sonnenlosen Wintertagen**, wenn die solare Wärme nicht ausreichend zur Verfügung steht. Um die Räume im Winter behaglich zu temperieren, wird das Heiz- bzw. Warmwasser des gebäudeintegrierten Großspeichers in eine konventionelle Fußbodenheizung im Wohnzimmer und vor allem in zahlreiche thermisch aktivierbare Ziegelwände mechanisch zirkuliert. Zusätzlich ist eine **Fotovoltaikanlage mit 35 Modulen** und einer Leistung von 6,5 kW_{peak} auf

Vergleich der beiden Berechnungsmethoden hinsichtlich der spezifischen Wärmeabgabeleistung für beide Ziegelwandseiten

ABBILDUNG 3



dem Garagendach montiert und liefert etwa die Strommenge in einem Jahr, um den gesamten Jahresstromverbrauch des Gebäudebetriebs inklusive Nutzerstrom auszugleichen. Der vor Ort gelieferte Solarstrom wird entweder direkt im eigenen Haus genutzt oder ins öffentliche Stromnetz eingespeist.

Thermisch aktivierte Ziegelwand

Neben einer klassischen Fußbodenheizung wird zusätzlich ein in diesem Projekt entwickeltes Wandtemperierungssystem eingesetzt, das ähnlich einer Fußbodenheizung die Wärme über die Wand großflächig an den Raum abgibt und durch seine Masse gleichzeitig auch als Speichermedium wirkt. Das System kann flexibel genutzt werden, so können die Räume im Sommer bei Bedarf auch gekühlt werden. Innenwände aus dem Verfüllziegel Porotherm 25-38 SBZ eignen sich aufgrund ihres Aufbaus für eine thermische Aktivierung. Durch Einlegen und Einbetonieren von Rohren wird die Möglichkeit geschaffen, die Wände mittels Temperierung des in den Rohren zirkulierenden Heiz- bzw. Kühlmediums zu beheizen bzw. zu kühlen. Abbildung 2 zeigt einen Teil einer verfüllten Ziegelwand mit den Rohrregistern.

Zur Bewertung der energetischen Performance der neuartigen thermisch aktivierten Ziegelwand wurde eigens im Forschungsprojekt ein geeignetes eindimensionales Berechnungsmodell entwickelt.³ Auf Basis eines zweidimensionalen Berechnungsmodells wurden eindimensionale Ersatzmodelle für drei unterschiedliche Bauausführungen der Ziegelwand entwickelt, diese berücksichtigen unterschiedliche Positionen der wasserführenden Rohre im Ziegelquerschnitt. Diese Ersatzmodelle wurden in die Simulationsumgebung TRNSYS implementiert und die Ergebnisse der unterschiedlichen Berechnungsmethoden wurden verglichen. Abbildung 3 zeigt den Vergleich der Berechnungsergebnisse der beiden unterschiedlichen Berechnungsmethoden für eine temperierte Ziegelwand mit asymmetrisch eingelegten wasserführenden Rohren.

Abbildung 3 zeigt die spezifische Wärmeabgabeleistung [W/m^2] sowohl für die Vorder- als auch für die Rückseite der beladenen Ziegelwand. Im hinterlegten thermischen Beladungsszenario für die Ziegelwand wird von 20 Uhr bis 6 Uhr früh die Ziegelwand mit einer Vorlauftemperatur des Heizmediums von 40°C beladen. In den verbleibenden Tagesstunden wird die Ziegelwand nur mit einer Vorlauftemperatur des Heizmediums von 20°C durchströmt. Raumlufttemperatur beträgt konstant 20°C . Die spezifische Wärmeabgabeleistung der wärmeren und thermisch flinkeren Ziegelwandseite beträgt in diesem Beladungsszenario maximal 67 Watt pro Quadratmeter während die Rückseite eine spezifische Wärmeabgabeleistung von maximal 45 Watt pro Quadratmeter erreicht. Sowohl hinsichtlich der absoluten Werte als auch hinsichtlich der zeitlichen Entwicklung der Wärmeabgabeleistung ist eine ausreichend gute Übereinstimmung festzustellen.

Auf Basis der durchgeführten Messungen wurde das reale energetische Betriebsverhalten der temperierten Ziegelwand im Stiegenhaus im Erdgeschoss ausgewertet. In den ersten drei Jännerwochen wurde diese Ziegelwand permanent mit einem Volumenstrom von rund 50 bis 75 Liter pro Stunde mit Wasser durchströmt. Die Vorlauftemperatur in die Ziegelwand schwankt in Abhängigkeit der Vorgaben durch NutzerIn und Regelung zwischen $24^\circ\text{C} < \text{TZW_VL} < 32^\circ\text{C}$, d.h. die Vorlauftemperaturen sind deutlich unter der angesetzten Temperatur von $\text{TZW_VL} = 40^\circ\text{C}$ in den theoretischen Untersuchungen zur Wärmeleistung der temperierten Ziegelwand. Die Materialtemperaturen der Putzschicht auf der kalten sowie warmen Seite der temperierten Ziegelwand liegen etwa 1 bis 2 Kelvin unter der Vorlauftemperatur und liegen zwischen 23°C und knapp über 26°C . Die Wärmeleistung, die vom Wärmeträger Wasser in dieser Messperiode an die Ziegelwand eingebracht wurde, liegt etwa zwischen 70 und 200 Watt.

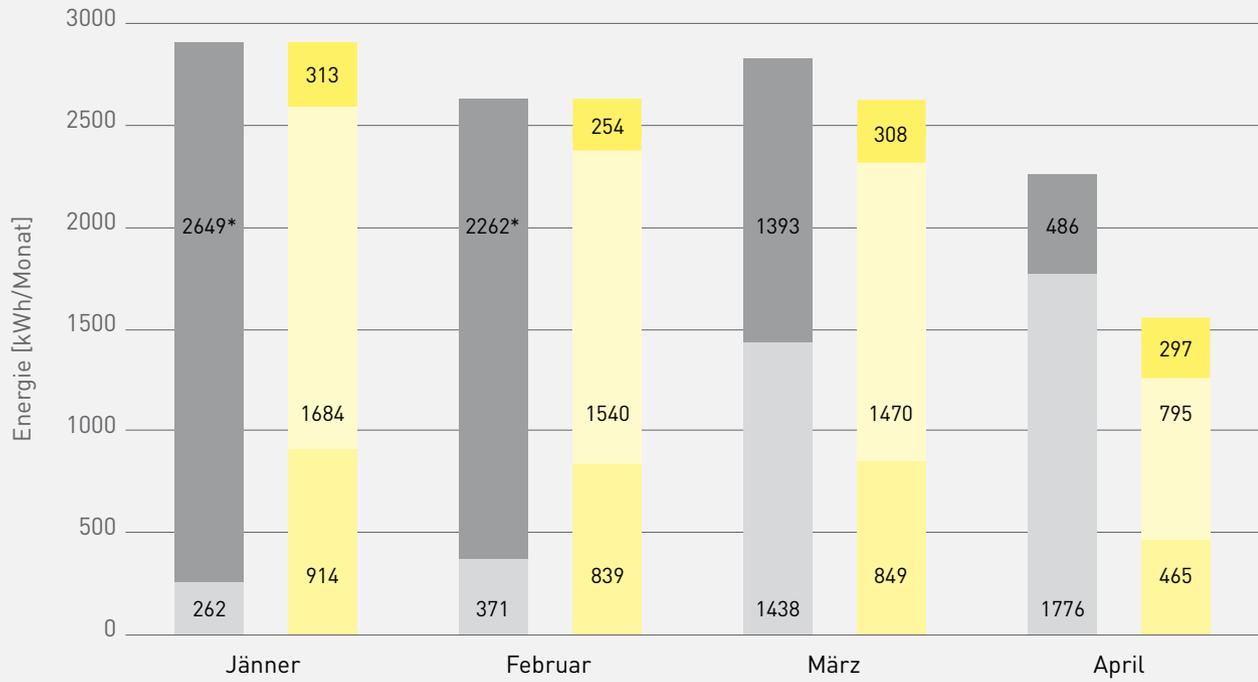
Jahresbilanz hinsichtlich nicht erneuerbarer Primärenergie und CO₂-Emissionen

TABELLE 1

Energiebedarf	[kWh/m² BGF a]	[kWh/a]
Heizwärmebedarf	39,10 (nach OIB Verfahren 32,10)	10.830,7
Warmwasserwärmebedarf	13,00	3.601,0
Wärmeverluste Haustechnik	3,40	936,5
Gesamter Wärmebedarf	55,50	15.368,2
Haushaltsstrom	13,00	3.601,0
Haustechnikstrom (Heizen + WW)	2,90	803,3
Gesamter Strombedarf	15,9	4.404,3
Energieförderung pro Jahr		
Biomassekessel (Wärme)	22,20	9.220,90
Solaranlage (Wärme)	33,30	6.147,30
Photovoltaik (Strom)	18,30	5.070,00
Primärenergiebilanz		
	[kWhPEne/m² BGF a]⁴	[kWhPEne/a]
Haushaltsstrom	27,95	7.742,15
Haustechnikstrom (Heizen + WW)	6,24	1.727,10
Solaranlage	0,00	0,00
Biomasse (Heizen + WW)	1,33	368,96
Gutschrift		
Photovoltaik Anlage	-39,35	-10.898,57
Gesamte Primärenergiebilanz	-3,83	-1.060,36
CO₂-Bilanz pro Jahr		
	[kg CO₂/m² BGF a]	[kg CO₂/a]
Haushaltsstrom	5,42	1.501,62
Haustechnikstrom (Heizen + WW)	1,21	334,98
Solaranlage	0,00	0,00
Biomassekessel	0,09	24,60
Gutschrift		
Photovoltaik Anlage	-7,63	-2.113,81
Gesamte CO ₂ -Bilanz	-0,91	-252,62

Monatliche Wärmebilanz im Zeitraum Jänner bis April 2013

ABBILDUNG 6



■ Wärmelieferung durch Solaranlage

■ Wärmewasserverbrauch

■ Wärmelieferung durch Biomasse

■ Wärmelieferung in Fußboden

* Messungen seit März, vorherige
Daten sind abgeschätzt

■ Wärmelieferung in Ziegelwände

Energiebilanz

Auf Basis von Simulationsergebnissen, der Dimensionierung der Wärme- und Stromliefersysteme und unter Verwendung von österreichischen Standardwerten wurde eine Jahresbilanz hinsichtlich Primärenergie (nicht erneuerbare) und CO₂-Emissionen erstellt. Die Konversionsfaktoren zur Berechnung der Jahresbilanz sind der OIB Richtlinie 6 (OIB 2011) entnommen. Der energetische Gebäudebetrieb weist eine negative Jahresbilanz hinsichtlich des Primärenergiebedarfs und der CO₂-Emissionen auf. Folglich ist das „Solare Plus Haus“ rechnerisch sowohl ein Plusenergie-Gebäude als auch ein Null-(CO₂)Emissions-Gebäude.

Berechnungsergebnisse enthält Tabelle 1.

Mit Jänner 2013 liefert das wissenschaftliche Monitoring erste Messdaten. Abbildung 4 zeigt Monatsbilanzen hinsichtlich Wärmebedarf und -lieferung für die Monate Jänner, Februar, März und April 2013.

Die Monate Jänner und Februar waren sehr sonnenarm und daher war die Wärmelieferung über die thermische Solaranlage marginal und es wurde überwiegend mit Biomasse geheizt. Es zeigt sich außerdem, dass die Wärmelieferung in die Fußbodenheizung im Wohnzimmer die der Wärmelieferung in die Ziegelwände übersteigt.

DREI GUTE GRÜNDE FÜR DAS PROJEKT:

- Bis 2020 sollen laut EU-Richtlinie alle Gebäude um 20 % energieeffizienter werden. Der Anteil an erneuerbaren Energien soll um 20 % steigen und die CO₂-Emissionen um 20 % fallen. Mit ihrem e4-Ziegelhaus 2020 übererfüllen die Lugauers diese Werte schon heute – und zwar zu 100 %.
- Mit dem Konzept ist es mit natürlichen, keramischen Baustoffen bereits möglich, innovative aber vor allem auch leistbare Gebäude zu errichten.
- Das Einfamilienhaus weist eine negative Jahresbilanz hinsichtlich des Primärenergiebedarfs und der CO₂-Emissionen auf.



¹ Wienerberger AG

² Forschungsprojekt ‚Solares Plus Haus‘ gefördert durch Klima- und Energiefonds

³ Entwicklung durch Dr. Klaus Kreč - Büro für Bauphysik

⁴ NE Nicht erneuerbarer Anteil



Photonik für innovatives Lichtmanagement in Photovoltaikmodulen

Projektleitung	Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH Gerhard Peharz: gerhard.peharz@joanneum.at
Partner	NTC-Weiz
Förderprogramm	Neue Energien 2020, 5. Ausschreibung
Projektnummer	834585
Dauer	01.04.2012 - 30.09.2014
Budget	769.061 €



Flexible PV-Systeme - Hochbarrierematerial zum Schutz sensibler Solarzellen

Projektleitung	Isovoltaic AG Michael Edler: michael.edler@isovoltaic.com
Partner	Flisom AG, Renolit Belgium N.V., BELECTRIC, AIT, Hymnen
Förderprogramm	Neue Energien 2020, 2. Ausschreibung
Projektnummer	821834
Dauer	01.02.2010 - 31.01.2014
Budget	1.733.587 €



Langzeitperformance von Photovoltaik-Modulen

Projektleitung	OFI - Österreichisches Forschungsinstitut für Chemie und Technik Gabriele Eder: gabriele.eder@ofi.at
Partner	PCCL - Polymer Competence Center Leoben GmbH, AIT Austrian Institute of Technology - Energy Department
Förderprogramm	Neue Energien 2020, 4. Ausschreibung
Projektnummer	829918
Dauer	01.04.2011 - 31.03.2014
Budget	1.001.956 €



Kunststoffe als Innovations- und Wachstumsmotor für Solarthermie

Projektleitung	Johannes Kepler Universität Linz - Institute of Polymeric Materials and Testing Reinhold Lang: SOLPOL@jku.at, ipmt@jku.at
Partner	AEE-INTEC, WIFO, AIT, University for Art and Industrial Design Linz, Universität Innsbruck, AGRU, APC, Borealis, ENGEL, Greiner, KE KELIT, KIOTO, Lenzing, PerkinElmer, Schöfer, SENOPLAST, SUN MASTER, Sunlumo, SUNPLUGGED
Förderprogramm	Neue Energien 2020, 3. Ausschreibung
Projektnummer	825444 & 827788
Dauer	01.10.2009 - 30.06.2013 & 01.12.2010 - 30.11.2013
Budget	728.000 & 4.335.943 €



Hydraulikdesign in solarthermischen Großanlagen

Projektleitung	AEE Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie Philip Ohnewein: p.ohnewein@aee.at
Partner	GREENoneTEC Solarindustrie GmbH, Sonnenkraft Österreich Vertriebs GmbH
Förderprogramm	Neue Energien 2020, 4. Ausschreibung
Projektnummer	829854
Dauer	02.05.2011 - 31.10.2013
Budget	362.711 €



Bauteilaktivierte Wärmespeicherung in Speicherziegel

Projektleitung	Wienerberger AG Alexander Lehmden: alexander.lehmden@wienerberger.com
Partner	Fa. Franz Schiller GmbH, AIT Austrian Institute of Technology - Energy Department
Förderprogramm	Neue Energien 2020, 4. Ausschreibung
Projektnummer	829719
Dauer	29.09.2010 - 28.06.2014
Budget	332.157 €

Medieninhaber

Klima- und Energiefonds

Gumpendorfer Straße 5/22, 1060 Wien

Tel: (+43 1) 585 03 90, Fax: (+43 1) 585 03 90-11

office@klimafonds.gv.at

www.klimafonds.gv.at

Für den Inhalt verantwortlich

Die AutorInnen tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieser Broschüre. Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider. Weder der Klima- und Energiefonds noch das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit) oder die Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) sind für die Weiter-nutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung

www.angieneering.net

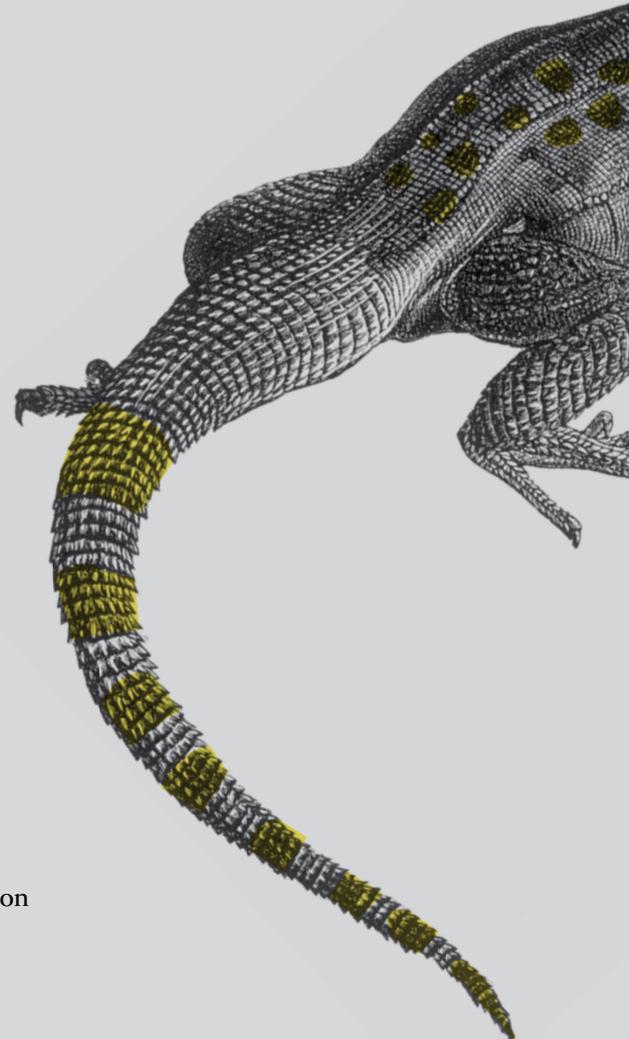
Druck

Druckerei Janetschek GmbH. Bei der mit Ökostrom durchgeführten Produktion wurden die Anforderungen des Österreichischen Umweltzeichens erfüllt. Sämtliche während des Herstellungsprozesses anfallenden Emissionen wurden im Sinne einer klimaneutralen Druckproduktion neutralisiert.

Verlags- und Herstellungsort: Wien

Wir haben diese Broschüre mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt und die Daten überprüft. Rundungs-, Satz- oder Druckfehler können wir dennoch nicht ausschließen.

www.klimafonds.gv.at



In Kooperation mit:

