



HELIOtube

Pneumatischer Sonnenkonzentrator

VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage www.klimafonds.gv.at zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Neue Energien 2020“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Theresia Vogel'.

Theresia Vogel
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ingmar Höbarth'.

Ingmar Höbarth
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	2
<i>Ausgangssituation</i>	4
<i>Schwerpunkte des Projektes</i>	4
<i>Methodik - Arbeiten</i>	5
<i>Einordnung in das Programm</i>	5
2. Inhaltliche Darstellung	7
<i>Wirtschaftlichkeit eines Solarkraftwerks mit HELIOTubes - Levelized electricity cost als Vergleichskriterium</i>	7
<i>Kosten und Ertrag in Abhängigkeit von Technologie und Standort</i>	7
<i>Laufende Kosten</i>	8
<i>Vergleich HELIOTubes und andere Technologien</i>	9
<i>Rendite</i>	9
<i>Technische Meilensteine</i>	10
3. Ergebnisse und Schlussfolgerungen	12
4. Ausblick und Empfehlungen	13
5. Literaturverzeichnis	14

Kurzfassung

Solarstrom wird heute sowohl mit Photovoltaik (direkte Umwandlung der Strahlung) als auch mit solarthermischen Kraftwerken erzeugt. Aufgrund der großflächig verteilten Primärenergie (Solarstrahlung) sind beide Varianten noch nicht wirtschaftlich. Die flächenbezogenen Kosten lassen sich entweder durch günstigere Solarzellen (z.B. Organische oder Dünnschichtsolarzellen) oder durch Sonnenkonzentratoren reduzieren.

Sonnenkonzentratoren sind heute bei großen Spannweiten kostspielig, weil die nötige optische Präzision bei Wind durch einen aufwändigen Unterbau der Spiegelfläche sichergestellt werden muss. Pneumatische, also aufblasbare Sonnenkonzentratoren wie der HELIOtube, haben das Potential den Materialbedarf und die Kosten im Vergleich zu herkömmlichen Konzentratoren um 70-90% zu reduzieren. Dies schlägt sich in einer erwarteten Reduktion der Stromgestehungskosten auf ein Level zwischen 5 und 15 cent/kWh durch. Dieses Forschungsprojekt hat zum Ziel, die grundlegenden Fragen von großen zylindrischen, aufblasbaren, aus Kunststofffolien bestehenden Sonnenkonzentratoren zu klären und Lösungen für deren Einsatz unter wechselnden Umweltbedingungen zu erarbeiten.

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes konnte sowohl experimentell als auch numerisch nachgewiesen werden, dass der HELIOtube einen Konzentrationsfaktor von bis zu 60 aufweist. Ebenso konnten erste Versuche mit verschiedenen Kunststofffolien und der Sonnennachführung erfolgreich durchgeführt werden. Als grosser Meilenstein wurde auf dem Dach der TU Wien ein erstes reales Modell gebaut und vermessen.

Abstract

Solar Electricity is produced with both: photovoltaic (direct conversion of solar radiation) as well as concentrated solar thermal power (CSP) plants. Due to the widely distributed primary energy source (solar radiation) both variants are not yet economic. The cost per area can be either reduced by cheaper solar cells (e.g. organic or thin film) or with solar concentrators.

Concentrators are expensive when large span widths are required. The reason is the optic precision which requires an extensive understructure to compensate wind loads.

Pneumatic (e.g. inflatable) concentrators have the potential to cut material cost by 70-90%, compared to conventional concentrators. As a consequence these concepts could reduce electricity costs to a level between 5 and 15 cent per kWh. The goal of this research project is to address basic questions concerning large cylindrical, inflatable solar concentrators made of synthetic polymers and to find solutions for sustainable operation of those under varying climatic conditions.

We were able to determine in the course of this research project, both experimentally and numerically, that the HELIOTube can concentrate the sunlight by a factor of 60. Furthermore, we successfully performed experiments with various polymer films and with a newly designed solar tracking mechanism. As an important milestone we built and operated a proof-of-concept model of a HELIOTube on the roof top of the Vienna University of Technology.

1. Einleitung

Ausgangssituation

Solarstrom wird heute entweder mit Photovoltaik (direkte Umwandlung der Strahlung) oder mit solarthermischen Kraftwerken erzeugt. Aufgrund der großflächig verteilten Primärenergie (Solarstrahlung) sind beide Varianten noch nicht wirtschaftlich. Die flächenbezogenen Kosten lassen sich entweder durch günstigere Solarzellen (Organische oder Dünnschichtsolarzellen) oder durch Sonnenkonzentratoren reduzieren. Bei herkömmlichen Parabolrinnenkonzentratoren kommen aufwendige und damit teure Unterkonstruktionen aus Metallen zum Einsatz, um die nötige Formstabilität und damit eine ausreichende Güte der Fokussierung zu erreichen.

Bild 1: Herkömmliche Parabolrinnen-Konzentratoren

Schwerpunkte des Projektes

Pneumatische, das heißt aufblasbare Solarkonzentratoren haben das Potential den Materialbedarf und die Kosten im Vergleich zu herkömmlichen Konzentratoren um 70-90% zu reduzieren. Dies schlägt sich in einer erwarteten Reduktion der Stromgestehungskosten auf einen Level zwischen 5 und 15 cent/kWh nieder. Dieses Forschungsprojekt hat zum Ziel, die grundlegenden Fragen von großen zylindrischen, aufblasbaren, aus Polymeren bestehenden Sonnenkonzentratoren zu klären und Lösungen für deren Einsatz unter wechselnden Umweltbedingungen zu erarbeiten.

Dazu sind in der Materialfindung geeignete Membranen und Fügetechniken zu identifizieren, sowie die Eigenschaften der Materialien zu evaluieren. In der Formfindung sind Methoden zu entwickeln, um die erforderlichen Formen der Membranen ermitteln und optimieren zu können. Im Arbeitspaket Verankerung und Nachführung sind mechanische Verankerungssysteme auszuwählen und auf ihre Anwendbarkeit zur Lagerung der aufblasbaren Solarkonzentratoren zu testen. Darüber hinaus sind geeignete Nachführungssysteme zu entwickeln und zu testen.

Bild 2: Pneumatische HELIOtube Sonnenkonzentratoren

Methodik - Arbeiten

Untersuchung der optischen Eigenschaften der verschiedenen in die engere Wahl genommenen Folien, die als Deckfolie eingesetzt werden sollen, mit einem Gitterspektrometer, um den Transmissionsgrad über den relevanten Wellenlängenbereich und unter verschiedenen Einfallswinkeln zu bestimmen. Auswahlkriterien für die Folien waren unter anderem die von den Herstellern angegebenen mechanischen Eigenschaften. Darüber hinaus wurden Zugversuche unternommen, um die Qualität von zusammengefügt Folien beurteilen zu können.

Für die Bodenfolie bestehen keine derart hohen Ansprüche, sie muss lediglich robust, gasdicht und preiswert sein.

Die Spiegelfolie muss einen hohen Reflexionsgrad aufweisen. Für die in die engere Wahl genommen Spiegelfolien wurde der Reflexionsgrad in Abhängigkeit der Wellenlänge gemessen.

Im Bereich der Formfindung wurde vorerst die Geometrie ohne externe Lasten ermittelt. Es folgte die Dimensionierung bei gegebener Spannweite bzw. Durchmesser. Daraufhin wurde eine Abschätzung der Stabilität und der Durchbiegung unter Einfluss externer Lasten durchgeführt. Schließlich wurden Überlegungen zur Ausführung von pneumatischen Solarkonzentratoren mit größeren Spannweiten bzw. Durchmessern angestellt.

Für diese Vorhaben wurden spezielle Berechnungsroutinen in Matlab programmiert.

Einordnung in das Programm

Solarthermische Kraftwerke (CSP) gelten als die aussichtsreichste erneuerbare Technologie für Elektrizität, da sie das größte Ausbaupotential aufweisen und sich auch gut in die bestehenden Strom-Netze integrieren lassen. Ein weiterer oft genannter Vorteil ist, dass solche CSP Kraftwerke mit thermischen Speichern versehen werden können, welche eine Stromproduktion auch in der Nacht ermöglichen Dies ist zB bei Photovoltaik-Kraftwerken nicht möglich.

Heute stehen vor allem die hohen Kosten für das Solarfeld der Wirtschaftlichkeit eines CSP Kraftwerks im Weg. Nur mit Hilfe von staatlichen Förderungen ist es heute zB in Spanien und den

USA möglich, solche Kraftwerke zu betreiben. Diese, relativ bescheidene Bautätigkeit führt auch dazu, dass das Innovationspotential dieser Technologie nur langsam ausgeschöpft wird.

Das „HELIOtube“ Projekt ist nun gerade ein solches seltenes Projekt, das einen sehr hohen Innovationsgehalt auf dem Gebiet der Sonnenkonzentratoren aufweist. Die Technologie der pneumatischen Sonnenkonzentratoren, welche im Rahmen dieses Projektes erforscht wird, verspricht starke Auswirkungen auf die Stromgestehungskosten von CSP zu haben.

Daher entspricht dieses Projekt sowohl der Idee hinter dem Klima- und Energiefonds, einen Beitrag zur Verwirklichung einer nachhaltigen Energieversorgung zu leisten, also auch folgenden konkreten Zielen des Programms „Neue Energien 2020“:

- Stärkung der Entwicklung und Verbreitung der österreichischen Umwelt- und Energietechnologie,
- Intensivierung der klima- und energierelevanten Forschung sowie
- Absicherung und Ausbau von Technologieführerschaften

Vor allem im Bereich der kritischen Programm-Punkte „Innovation“ und „Systemerneuerung“ liegen die Schwerpunkte dieses Projektes. Massive Stahl- und Glaskonstruktionen werden durch ein neues, über 95% Material einsparendes System aus leichten und kosteneffizienten Polymerfolien ersetzt ohne an Gesamteffizienz einzubüßen. Das macht den HELIOtube zu einer echten Faktor 10 (eher 20) Technologie die sogar eingesetzt werden kann um sowohl bestehende CSP Anlagen zu erneuern als auch bestehende fossile Kraftwerke in geeigneter Lage um Solarfelder zu ergänzen. Bei dieser Option, die in einem Folgeprojekt gemeinsam mit einem EVU weiter erschlossen werden soll, werden sowohl Brennstoffbedarf (und dh CO₂ Ausstoss) als auch Investitionsaufwand (im Vergleich zu einem Ersatz durch Neubau) dramatisch reduziert.

Allgemein ist dieses Projekt dem Programm-Thema „Erneuerbare Energieträger“ zuzuordnen, da es zum Ziel hat, eine Technologie zu entwickeln, die es ermöglicht, die Kraft der Sonne auch ohne staatliche Förderungen wirtschaftlich sinnvoll nutzbar zu machen. Denn wie kann man eine neue Energieform besser fördern, als sie soweit zu entwickeln, dass sie ökonomisch eingesetzt werden kann?

Konkret wird dieses Projekt unter dem Programm-Schwerpunkt „Fortgeschrittene Speicher- und Umwandlungstechnologien“ durchgeführt. Dort umfasst das Programm im Bereich der thermischen Kraftprozesse explizit die Entwicklung von innovativen Technologien zur „solarthermischen Stromerzeugung“.

2. Inhaltliche Darstellung

Wirtschaftlichkeit eines Solarkraftwerks mit HELIOTubes - Levelized electricity cost als Vergleichskriterium

Um die Wirtschaftlichkeit verschiedener Technologien zur Stromerzeugung zu vergleichen, eignet sich am Besten der „levelized electricity cost“ (LEC). Dieser bezeichnet die Kosten pro erzeugter Kilowattstunde Strom über die gesamte Lebensdauer eines Kraftwerks. In die Berechnung fließen Investitionskosten, laufende Kosten für Wartung und Betrieb sowie die Zinsen für das eingesetzte Kapital ein. Die Summe dieser Kosten wird abgezinst und durch die insgesamt produzierte Strommenge dividiert. So kann festgestellt werden, ob eine Kilowattstunde Strom beispielsweise mit Atomkraft, Kohle oder Solarenergie günstiger erzeugt werden kann. Im Folgenden wird der LEC eines Solarkraftwerks mit HELIOTubes mit anderen Solartechnologien und mit Stromerzeugung aus Kohle, Gas oder Atomkraft verglichen.

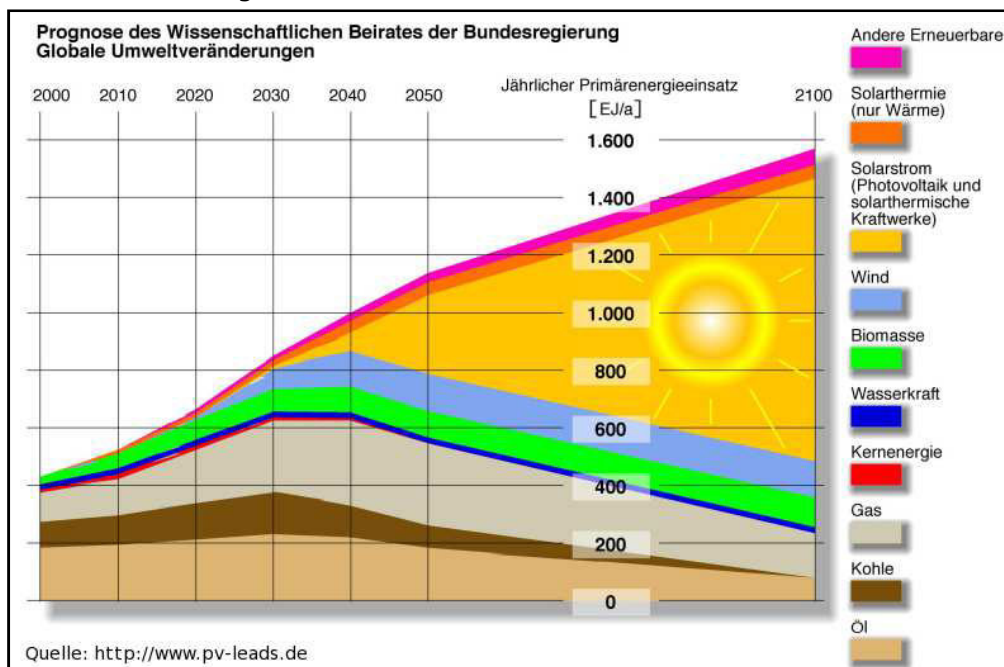


Bild 3: Veränderung des weltweiten Energiemixes bis 2100

Kosten und Ertrag in Abhängigkeit von Technologie und Standort

Die von einem Solarkraftwerk produzierte Strommenge hängt wesentlich vom Standort und der dort verfügbaren Sonneneinstrahlung ab. Während in Mitteleuropa Energiemengen um 1'200 kWh pro m² und Jahr auf die Erde treffen, liegt dieser Wert in der Sahara doppelt so hoch. Ein Solarkraftwerk in der Sahara produziert daher – bei gleichen Investitions- und Betriebskosten – fast die doppelte Menge an Strom.

Der zweite entscheidende Faktor für die Stromproduktion ist die Effizienz, mit der die Sonneneinstrahlung in elektrischen Strom umgewandelt wird. Diese hängt von der eingesetzten Technologie ab. Solarthermische Kraftwerke haben einen Wirkungsgrad von ca. 20%. Bei Photovoltaik liegen die Wirkungsgrade zwischen 7% bei günstigen Dünnschichtmodulen und 22% bei den leistungstärksten kristallinen Systemen.

Um diese unterschiedlichen Technologien vergleichen zu können, wird die normierte Einheit Kilowattpeak (kWp) herangezogen. Ein kWp ist jene Menge an Solarmodulen, die unter standardisierten Bedingungen¹ eine Ausgangsleistung von 1'000 Watt erbringen². Der Preis von Solarmodulen wird daher unabhängig von der Technologie pro kWp angegeben. Allerdings hängt die in der Praxis erzielbare Stromproduktion von weiteren Faktoren ab. Bei einer Betriebstemperatur von 85 Grad Celsius, die für Gegenden mit hoher Einstrahlung typisch ist, produzieren Dünnschichtmodule zum Beispiel trotz nominell gleicher Leistung in kWp etwa 6% mehr Strom als kristalline Module³. Bei Konzentratorsystemen wie dem HELIOTube ist außerdem unter anderem zu beachten, dass nur der direkte Anteil der Sonnenstrahlung in Strom umgesetzt wird. Dieser liegt in Wüstengegenden über 90%, in Mitteleuropa zum Teil unter 50%.

Preise und Wirtschaftlichkeit von Solaranlagen können daher immer nur für einen konkreten Standort und bestimmte Technologien verglichen werden. Um dennoch einen aussagekräftigen Vergleichswert zu erhalten, haben wir die Stromproduktion mit HELIOTubes an einem wahrscheinlichen durchschnittlichen Standort in Südspanien ermittelt⁴ und daraus einen Korrekturfaktor errechnet. Bei Anwendung dieses Faktors entspricht ein kWp HELIOTubes von der Energieausbeute einem kWp eines herkömmlichen kristallinen Moduls, so dass die Preise pro kWp direkt vergleichbar sind⁵.

Laufende Kosten

Der entscheidende Kostenfaktor für mit fossilen Energieträgern betriebene Kraftwerke ist der Brennstoff wie Gas oder Kohle. Bei Solarkraftwerken fallen wie bei Wind- und Wasserkraft keine Brennstoffkosten an. Dennoch sind Kosten für Wartung und Betrieb zu berücksichtigen, zum Beispiel für Reinigung, Reparaturen und Versicherungen. Diese werden bei herkömmlichen Photovoltaik-Kraftwerken mit jährlich 1-3% der gesamten Investitionssumme angenommen. Da es sich beim HELIOTube um ein System mit Nachführung und beweglichen Teilen handelt und unter Umständen fallweise Folien ausgetauscht werden müssen, haben wir für die Betriebskosten einen Wert von 5% der Investitionssumme angenommen⁶.

¹ Die Standard Test Conditions (STC) für Module sind im Wesentlichen 1.000 Watt/m² eingestrahlte Leistung und eine Betriebstemperatur von 25 Grad Celsius.

² Das entspricht einer Modulfläche von ca. 7 m² kristallinen Modulen und ca. 14m² Dünnschichtmodulen.

³ Module mit kristallinen Solarzellen verlieren zum Beispiel im Durchschnitt ca. 0,45% Leistung pro Grad Celsius über 25 Grad. Bei Dünnschichtmodulen hingegen beträgt diese Leistungseinbuße nur etwa 0,35%.

⁴ Der von uns angenommene Mittelwert entspricht einem Standort auf der Höhe von Gibraltar (ca. 36. Breitengrad).

⁵ HELIOTubes werden mit integrierter Nachführung ausgeliefert. Sowohl die zusätzlichen Kosten als auch der zusätzliche Ertrag der Nachführung sind bei den Werten pro kWp bereits berücksichtigt. D.h. für einen direkten Vergleich sind Investitionskosten und Energieproduktion von 1 kWp HELIOTube inklusive Nachführung denen von 1 kWp einer fix montierten Solaranlage mit kristallinen Modulen gegenüber zu stellen.

⁶ 4% für Betrieb und Wartung sowie 1% für Versicherungen.

Vergleich HELIOTubes und andere Technologien

Unter der Annahme einer 20-jährigen Nutzungsdauer gestaltet sich der Vergleich unterschiedlicher Solartechnologien wie folgt:

Technologie	Preis pro installiertem kWp	Stromproduktion pro kWp	LEC
PV crystalline	3.300 €	1.500 kWh	0,198 €
PV thin film	2.900 €	1.500 kWh	0,174 €
HELIOTube CPV	2.300 €	1.500 kWh	0,162 €
CSP parabolic trough	3.000 €	1.650 kWh	0,175 €
HELIOTube CSP	2.500 €	1.650 kWh	0,158 €
HELIOTube CPV 2020	1.120 €	1.500 kWh	0,079 €

Wir gehen dabei von Preisen für das Jahr 2009 aus. Kohle und Gas liegen mit einem LEC von ca. 0,06 € derzeit noch deutlich unter den Preisen für Solarenergie. Allerdings ist damit zu rechnen, dass sich eine Verteuerung der Brennstoffe in einer deutlichen Steigerung der Stromproduktionskosten niederschlagen wird. Sobald wir unser angestrebtes Ziel eines LEC unter 0,10 € bzw. langfristig von unter 0,08 € an besonders geeigneten Standorten erreichen, dürften die Kosten für Strom aus fossilen Energiequellen diese Werte bereits überschritten haben und Solarenergie aus HELIOTubes damit eine konkurrenzfähige Form der Stromerzeugung sein.

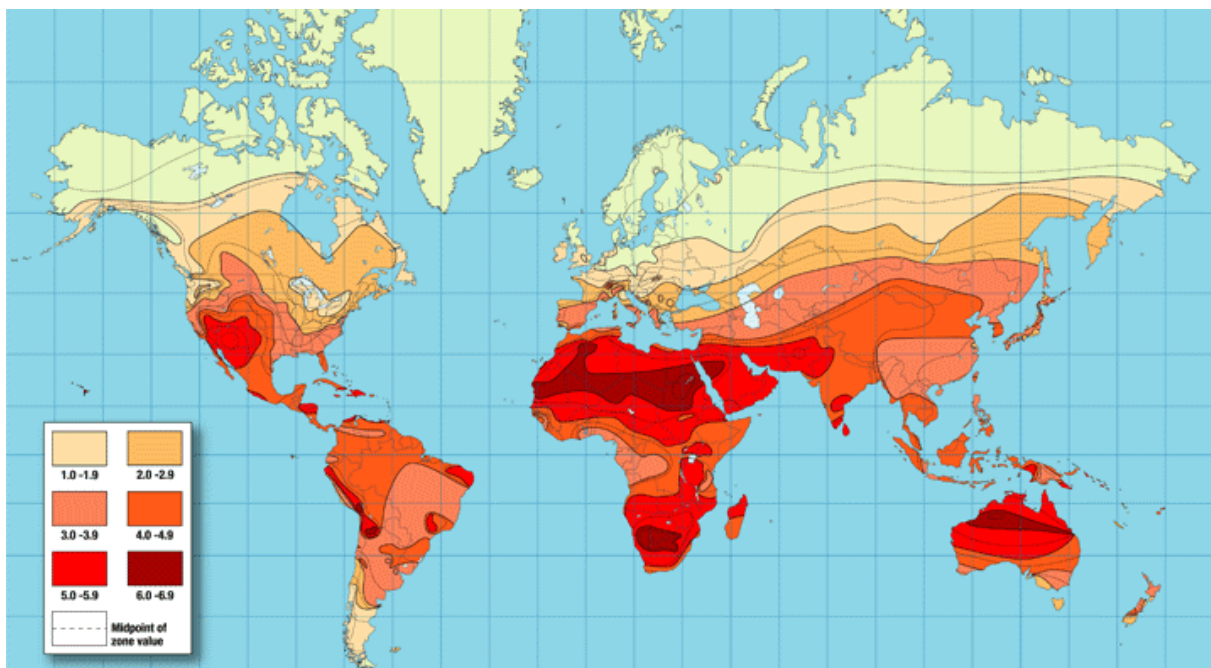


Bild 4: Weltweite Verteilung der Sonneneinstrahlung

Rendite

Die LEC-Betrachtung stellt grundsätzlich auf die Produktionskosten für Solarenergie ab. In der angenommenen Verzinsung ist automatisch eine Gewinnkomponente enthalten: Ein Zinssatz von beispielsweise 8% bedeutet eine entsprechende Verzinsung des eingesetzten Kapitals und somit den

Gewinn eines Investors⁷. Wie bei jeder anderen Investition kann die Rendite auf das eingesetzte Eigenkapital durch eine teilweise Fremdfinanzierung mit einem niedrigeren Zinssatz erhöht werden.

Grundsätzlich ist bei einem Vergleich verschiedener Kraftwerkstypen (Kohle, Wind, Erdgas, ...) der Kraftwerkstyp mit dem niedrigsten LEC der aus rein finanzieller Sicht wirtschaftlichste (bei sonst in etwa ähnlichen Bedingungen wie Höhe der Investition etc.). De facto ergibt sich die Rendite von Solarkraftwerken aber derzeit nicht aus dem Marktpreis für Strom, sondern aus Förderungen. Solarstrom wird in Ländern wie Deutschland, Spanien und Italien unabhängig von den Produktionskosten mit mehr als dem Vierfachen der Großhandelspreise für Strom aus anderen Energiequellen vergütet (durchschnittlich ca. 0,40 €/kWh, bei Marktpreisen von deutlich unter 0,10 €/kWh). Aufgrund dieser Förderungen liegen die Renditen für Solarkraftwerke mit konventioneller Technologie in guten Lagen bei über 10%. Bei sonst gleichen Bedingungen lässt sich mit HELIOTubes aufgrund der geringeren Investitionskosten diese Rendite noch um 2-3% erhöhen.

Es ist also kurzfristig nicht notwendig, die Produktionskosten von Strom aus konventionellen Energieträgern zu unterschreiten, um einem Investor eine positive Rendite zu ermöglichen. Es ist ausreichend, mit anderen Arten von Solarenergie Schritt zu halten, was durch die Einsparungen bei Silizium, Unterkonstruktion und Nachführung möglich ist. Unser langfristiges Ziel ist jedoch das Erreichen von „grid parity“, also Stromgestehungskosten, die niedriger als der aktuelle Marktpreis sind. Je nach Lage, Sonneneinstrahlung und der Entwicklung der Marktpreise in einer bestimmten Region kann dieses Ziel wahrscheinlich schon in wenigen Jahren erreicht werden.

Technische Meilensteine

Ein besonderes Highlight aus technischer Sicht war sicher der erstmalige Betrieb des aufblasbaren Testkörpers im Wasserbecken am Labordach des Instituts für Thermodynamik und Energiewandlung der TU Wien, siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** und Bild 7.



Bild 5: Aufblasbarer Testkörper in einem Wasserbecken am Labordach des Instituts für Thermodynamik und Energiewandlung der TU Wien

⁷ Für die Berechnung des LEC gibt es unterschiedliche Ansätze. Zum Beispiel hängen die Zinskosten davon ab, welcher Zinssatz für Fremdkapital und Eigenkapital und welches Verhältnis von Fremdkapital zu Eigenkapital angenommen wird. Wir arbeiten mit einem vereinfachten Modell, das von einem durchschnittlichen Zinssatz auf das gesamte eingesetzte Kapital ausgeht.

Konzentrierende Solarsysteme benötigen eine Nachführung des Konzentrators nach der Sonnenbahn damit die gebündelte Sonnenstrahlung immer auf den Absorber trifft. Für Konzentratoren, die auf einen Punkt fokussieren, ist eine zweiachsige Nachführung unumgänglich. Für Konzentratoren, die auf eine Linie fokussieren, wird üblicherweise eine einachsige Nachführung gewählt, da diese Konzentratoren, beispielsweise Parabolrinnen-Konzentratoren, eine relativ große Längsausdehnung aufweisen und daher die Randeinflüsse eine untergeordnete Rolle spielen. Der im Zuge dieses Projektes entwickelte pneumatische Konzentrator gehört zur Gruppe der Konzentratoren, die linienförmig fokussieren. Am Festland verankert, werden sie vorteilhafterweise einachsig der Sonne nachgeführt. Die pneumatischen Konzentratoren können aber auch im Wasser schwimmend eingesetzt werden. Dort können sie die optimale Wirkung entfalten, wenn sie zweiachsig nachgeführt werden.

Das erste Modell der Verankerung ist für den schwimmend gelagerten Konzentrator und kann eine zweiachsige Nachführung gewährleisten. Neben der exakten Nachführungsmöglichkeit weist dies den Vorteil einer der pneumatischen Struktur des Konzentrators entgegenkommenden Lagerung auf. Dieser Konzentrator wurde in einem kreisförmigen Schwimmbecken am Dach des Labors des Instituts für Thermodynamik und Energiewandlung getestet.

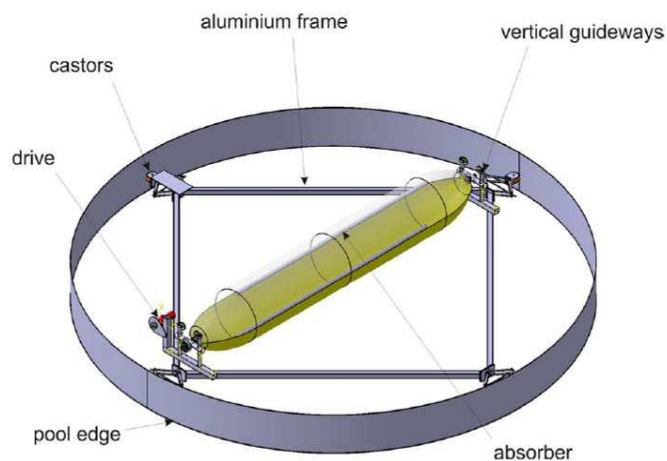


Bild 6: Skizze eines schwimmend gelagerten, zweiachsig nachgeführten Konzentrators



Bild 7: Schwimmend gelagerter, zweiachsig nachgeführter Konzentrator

Das zweite Modell der Verankerung ist für einen ortsfest gelagerten Konzentrator. Da zu diesem Zeitpunkt eine geeignete Technik zur Gestaltung der doppelt gewölbten Folien an den Enden des Konzentrators noch nicht zur Verfügung stand, wurden die Endstücke als Flachböden mit Acrylglas ausgeführt. Es war daher naheliegend, den Konzentrator auch dort zu lagern. Der Konzentrator wurde daher in kreisförmig gebogenen Schienen fixiert, die auf Rollen gestützt, drehbar gelagert sind. Die Lagerböcke mit Unterkonstruktion wurden mit Erdschrauben fixiert.

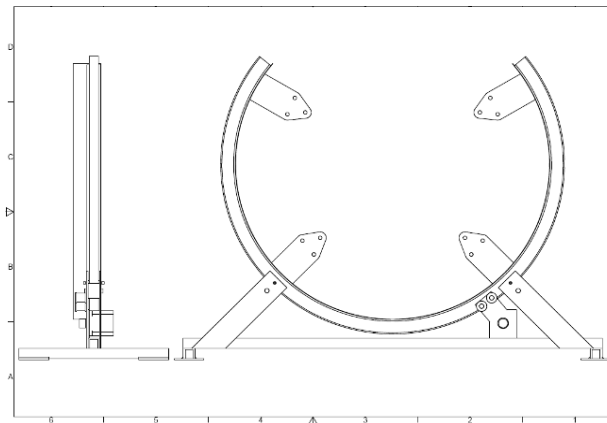


Bild 8: Konstruktion der Lagerung für den ortsfesten Konzentrator

3. Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Eine der wesentlichen Erkenntnisse ist, dass die Methode, die Solarstrahlung mittels einer Folienstruktur zu konzentrieren, erwartungsgemäß funktioniert. Die Berechnungen zeigen, dass die kreisförmige Annäherung an einen parabolischen Konzentrator eine ausreichende Fokussierung ermöglicht. Sie zeigen die Form der Strahlungsdichteverteilung im Fokusbereich und die Reaktion der Strahlungsdichteverteilung auf Veränderungen in der Krümmung der Spiegelfolie und der Lage des Fokusbereichs. Die Spiegelfolie, die die zwei Kammern des pneumatischen Konzentrators trennt, bildet aufgrund des Druckunterschieds in den Kammern eine kreisrinnenförmige Geometrie. Einfache

Messungen zeigen eindrucksvoll, dass die Spiegelfolie die berechneten Ergebnisse der Strahlungsdichteverteilung im Fokalbereich recht gut erreicht. Die Formstabilität des pneumatischen Konzentrators ist erwartungsgemäß gut – sie steigt mit Durchmesser.

Der Anspruch auf die Qualität der Folien ist hoch, aber es gibt am Markt Produkte zu erschwinglichen Preisen, die die erforderliche Qualität liefern. Eine besondere Herausforderung liegt in der Fügetechnik. Hier sind noch größere Anstrengungen erforderlich, um zu einer schnellen, preiswerten und von der Festigkeit her ausreichenden Fügetechnik zu kommen.

Die Optimierung der Geometrie der Endstücke unter Berücksichtigung der gewählten Fügetechnik stellt ebenfalls noch eine Herausforderung dar.

Die Nachführung des Konzentrators nach der Sonne funktioniert prinzipiell. Sie sollte jedoch verbessert werden. Es wird in Hinkunft eine Regelung anstatt einer Steuerung implementiert.

Die Befestigung des pneumatischen Konzentrators mit Erdanker liefert recht gute Ergebnisse. Die Erdanker sind formstabil und preiswert.

Die erarbeiteten Erkenntnisse fließen unmittelbar in die weitergehende Arbeit ein. Dies bezieht sich sowohl auf die gewonnenen Erkenntnisse über die Folien insbesondere die Fügetechniken, als auch über die Befestigung und Nachführung. Die im gegenständlichen Projekt gewonnenen Erkenntnisse sind sehr hilfreich für die weiteren Arbeiten.

Die Projektergebnisse fließen unmittelbar in die Lehre der TU-Studenten ein. Sie sind durchaus geeignet, Studenten für die neuen Möglichkeiten der umweltfreundlichen Endenergiebereitstellung zu interessieren und leisten daher einen beachtlichen Beitrag, die Energieversorgung der Zukunft auch in dieser Hinsicht einen Schritt in die Nachhaltigkeit zu führen.

Darüber hinaus werden erste Ergebnisse bei der internationalen Fachtagung SolarPACES 2009 in Berlin präsentiert.

4. Ausblick und Empfehlungen

Dieses Projekt stellt den Beginn der Erforschung von pneumatischen Strukturen im Bereich der Sonnenkonzentratoren dar. Es wurden die grundlegenden Zusammenhänge zwischen Material, Form und Wirtschaftlichkeit erarbeitet. Wie im technischen Teil erläutert wird, sind diese sehr komplex. Die Komplexität kommt dadurch zustande, dass die Materialeigenschaften wie Transparenz, Elastizität und Haltbarkeit sehr stark sowohl auf die zu wählende Geometrie als auch auf die Produktionskosten und die Effizienz des Systems auswirken. Kleinste Veränderungen bei Material und Form wirken sich sehr stark in den Kosten für ein HELIOtube Kraftwerk aus, weil diese CSP und CPV Kraftwerke so viel Fläche einnehmen.

Aus heutiger Sicht müssen diese komplexen Zusammenhänge noch detaillierter herausgearbeitet und durch längere Versuchsreihen validiert werden. Dies gilt umso mehr für die Erforschung von HELIOtubes mit großen Durchmessern von 5m und größer sowie für ihre Einbindung in bestehende fossile Kraftwerke.

Daher empfehlen wir ein größeres Forschungs-Projekt, welches sich dezidiert auf die Mechanik und Haltbarkeit von großen pneumatischen Strukturen zur Konzentration von Sonnenstrahlung fokussiert. Neben den Schwerpunkten Material und Form sollte auch viel Wert gelegt werden auf den

Produktions- und Installationsprozess. Denn HELIOtubes mit 5m Durchmesser werden eine Länge von ca. 100m aufweisen. Diese langen Tubes müssen in einem eigens dafür entwickelten Produktionsverfahren zumindest teilautomatisiert hergestellt werden. Dann müssen sie mit einem thermischen Receiver ausgestattet werden und an der entsprechenden Stelle im Solarfeld eines CSP Kraftwerks installiert werden. Neben den Fragestellungen, die mit dem Aufbau und der Struktur der Tubes zusammenhängen, stellen auch diese produktionstechnischen und logistischen Probleme eine große, heute noch unbekannte Herausforderung dar.

Die zweite große Fragestellung ist die Einbindung von HELIOtubes in bestehende fossile Kraftwerke. Dabei müssen eine ganze Reihe von Fragen geklärt werden bevor EVUs es riskieren, die mit so einer radikalen Umstellung verbundenen finanziellen Risiken (und Chancen) einzugehen. Es ist geplant, beide Themenkomplexe im Rahmen eines umfassenderen Forschungsprojekts unter maßgeblicher Einbindung eines österreichischen EVUs bis zur Demoanlagenreife zu klären.

5. Literaturverzeichnis

- M. Hartl, M. Haider, K. Ponweiser, J. Höfler: "Konzentrierende Solartechnik für Kraft-, Wärme- und Kältekopplung"; e&i, 126 (2009), 3; S. 111 - 116.
- M. Hartl, M. Haider: "Konzentrierende Solarenergie: Konzepte, Kostenreduzierung und Versorgungssicherheit"; Vortrag: 6. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien - IEWT 2009, Wien; 11.02.2009 - 13.02.2009; in: "IEWT 2009", (2009), 12 S.

IMPRESSUM

Verfasser

HELIOVIS Entwicklungs OG

Felix Tiefenbacher
Phorusgasse 8, 1040 Wien
E-Mail: ft@heliovis.com

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber

Klima- und Energiefonds
Gumpendorfer Straße 5/22
1060 Wien
office@klimafonds.gv.at
www.klimafonds.gv.at

Disclaimer

Die Autoren tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieses Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider.

Der Klima- und Energiefonds ist nicht für die Weiternutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung des Deckblattes

ZS communication + art GmbH