

IHRE SCHULE. IHRE ZUKUNFT.

Staatl. Fachschule für Umweltschutztechnik und regenerative Energien • Schulstr. 2
 93449 Waldmünchen

PCE Deutschland GmbH
 Im Langel 4
 59872 Meschede

Ihr Zeichen:
 Ihre Nachricht vom:
 Unser Zeichen:
 Unsere Nachricht vom:



Name: H. Wenzl
 Telefon: +499972 94000
 Telefax: +499972 940017
 E-Mail: info@technikerschulewaldmuenchen.de

Datum: 05.07.2016

Testbericht Infrarotthermometer Hi Temp 2400

Im Zuge unserer Projektarbeit „Dish-Stirling – Verbrennungslos in die Zukunft“ konnten wir das uns zur Verfügung gestellte Infrarotthermometer ausgiebig testen und Verwenden.

Gemessen haben wir direkt an unserem Stirlingmotor, hier haben wir mittels Parabolspiegel Sonnenstrahlung gebündelt und direkt auf den Erhitzerkopf gerichtet. Das Gerät kam hierbei zur Verwendung da wir hohe Temperaturen bekamen von bis zu 750°C.

Bei unseren Messungen ist das Infrarotthermometer sehr hilfreich geworden.

Positiv sind uns hierbei aufgefallen:

- Gutes Handling
- Speicherfunktion der letzten Messung oder der höchsten Temperatur
- Ergonomischer Griff
- Allgemeine Leichtigkeit
- Aufbewahrungskoffer
- Stativhalterung
- Selbsterklärende Menüführung

Leider sind uns auch ein paar Mankos ins Auge gefallen:

- Sehr schwache Laserpunkte, beim Messen waren diese nicht mehr sichtbar
- Fehlende Zielvorrichtung zum exakten Messen
- Günstige Verarbeitung

Messreihen, die wir unternommen haben können sie aus unserer Projektarbeit entnehmen.

Vielen Dank, dass wir das Gerät von Ihnen zur Verfügung gestellt bekommen haben.

Freundliche Grüße

Johannes Schmid, Maik Dreßen, Simon Liedel
 Schüler der Klasse TSW 2A

Projektarbeit im Rahmen der Ausbildung zum staatlich
geprüften Techniker für Umweltschutztechnik und
regenerative Energien



Verbrennungslos in die Zukunft

Vorgelegt von: Maik Dreßen, Simon Liedel, Johannes Schmid

am: 09.05.2016

bei der Technikerschule Waldmünchen

bearbeitet von 10.10.15 bis 02.05.16

Betreuungslehrer: Volker Lankes

Inhalt

1. Einleitung.....	4
2. Physikalische Voraussetzungen	6
2.1 Die Sonne	6
2.1.1 Der Aufbau der Sonne.....	6
2.1.2 Allgemeines.....	7
2.1.3 Die Sonnenstrahlung	8
2.2 Der Stirling-Prozess	12
2.2.1 Grundlagen.....	12
2.2.2 Funktionsweise des Prozesses	13
2.3 Das Gestell	17
3. Technische Umsetzung.....	18
3.1 Der Stirlingmotor.....	18
3.1.1 Funktion	20
3.1.2 Typen	23
3.2 Der Parabolspiegel	27
3.3 Das Gestell	29
3.4 Messen	33
3.5 Messergebnisse und Verbesserungen.....	37
4. Wirtschaftliche Betrachtung.....	40
4.1 Kosten des Projekts	40
4.1.1 Der Prototyp.....	41
4.1.2 Stromerzeugung	42
4.1.3 Aktive Kühlung.....	42
4.1.4 Gesamtkosten	42
4.1.5 Die Vergleichs PV-Anlage	43
4.1.6 Die 1000er-Serie	44
4.2 Amortisation	45
4.2.1 Rechnungsbeispiel für das Jahr 2015.....	45
4.2.1 Ertrag im Jahresmittel 2015	46
4.2.2 Einfache Amortisationszeit	46
4.2.3 Alternative Amortisation	47
4.2.4 Wertverlust	47
4.2.5 Amortisation der Vergleichs Mikro-PV-Anlage	47
5. Ökologische Betrachtung	48
5.1 Aufgewandte Ressourcen	48

5.1.1 Der Motor	48
5.1.2 Das Gestell.....	49
5.1.3 Der Spiegel	49
5.1.4 Die Nebenbauteile.....	50
5.1.5 Restliche Aufwendungen	50
5.2 Aufwand, Nutzen, Recycling	50
5.2.1 Aufwand.....	50
5.2.2 Nutzen.....	51
5.2.3 Recycling	51
5.3 Vergleich mit der Mikro-PV-Anlage.....	52
5.4 Vergleich beider Systeme	52
6. Projektverlauf und Zeitplanung	54
7. Fazit	56
8. Danksagungen.....	58
9. Literaturverzeichnis	59
Eidesstattliche Erklärung.....	62

1. Einleitung

Weltweit ist spür- und sichtbar, dass sich ein Wandel auf der kompletten Welt vollzieht, schmelzende Polkappen und Gletscher, Flucht aus Klimagründen, längere Dürreperioden, milde Winter, starke Regen und Unwetter, Verschiebung der Klimazonen.

Allgemein ist anerkannt, dass maßgeblich der Mensch an diesen Änderungen Schuld trägt. Allein im Jahr 2015 lag der CO₂-Ausstoß in Deutschland laut Umweltbundesamt bei 908 Mio. Tonnen. Auch wenn dies unter dem Kyoto Ziel liegt, ist das bei weitem zu viel. Das Ziel der Bundesregierung bis 2020 liegt bei 749 Mio. Tonnen CO₂.

Die Jahresmitteltemperaturen sind seit der Industrialisierung am Steigen. Seit 1976 ist ein starker, kontinuierlicher Temperaturanstieg deutlich bemerkbar. Die Polkappen verlieren jährlich rund 500 km³ Volumen, seit 2009 hat sich der jährliche Eisverlust in der Westantarktis verdreifacht und in Grönland verdoppelt. In Folge dessen steigt der Meeresspiegel alle zehn Jahre um etwa 32 mm.

Der Große Aletschgletscher in den Alpen hatte 1863 eine angenommene Fläche von 163 km², bis 1973 ist diese schon auf 128 km² gesunken. Im Jahre 2011 betrug die Fläche nunmehr nur noch 81,7 km².

Die Anzahl der Tornados in den USA ist von 886 im Jahr 2014 auf 1153 im Jahr 2015 gestiegen, allein im Jahr 2016 gab es schon 202 Tornados. Menschen, Flora und Fauna verlieren deshalb ihren angestammten Platz in unserem Ökosystem.

Es ist unsere Verpflichtung und auch unser Job den Klimawandel aufzuhalten oder wenigstens einzudämmen. Die heutige Zeit verlangt mehr Taten als Worte!

Als Männer der Taten können wir über diese Fakten nicht hinwegsehen und wollen dahingehend handeln. Angesichts des steigenden Energiehungers von Menschen ist es wichtig ressourcenschonend Energie zu erzeugen. Fossile Brennstoffe sind klimapolitisch eine Sackgasse.

Vorhandene, ins Hintertreffen geratene Technologien, können hierbei eine große Rolle spielen. Auch wenn diese nicht so ausgereift sind wie moderne Technologien, haben diese dennoch ein großes Potential und können noch bis zur vollen Reife entwickelt werden.

Im Jahre 1816 entwickelte Robert Stirling eine Wärmekraftmaschine, die nach ihm benannt wurde. Mit ihr kann man Wärmeenergie in mechanische Arbeit umwandeln. Über die Jahre wurde sie beim Vormarsch moderner Verbrennungskraftmaschinen vergessen. Auch wenn der Wirkungsgrad dieser Kraftarbeitsmaschine relativ niedrig ist, scheinen diese perfekt für den Antrieb mit der Energie der Sonne geeignet zu sein.

In der folgenden Projektarbeit befassen wir uns mit dieser relativ einfachen Technologie, dem Parabolspiegel und einen fast unendlichen Treibstoff. Bei der Suche eines Projektthemas stolperten wir in Volker Quaschnings (Autor) Website über eine schon bestehende Dish–Stirling-Anlage in Spanien. Inspiriert von dieser, beschlossen wir, selbst ein solches System in kleinem Maßstab zu realisieren.

Bei Recherchen für das Projekt sind von vornherein schon einige Probleme aufgetreten. Stirlingmotoren sind in Deutschland leider nicht weitverbreitet und eher im Hobbybereich anzutreffen. Dort sind nur Motoren im Leistungsbereich von wenigen Watt zu finden.

Auch der internationale Markt ist in diesem Bereich sehr eingeschränkt. Die Verfügbarkeit von Parabolspiegeln in Deutschland ist ebenfalls begrenzt.

Allgemein standen wir vor dem Problem, etwas zu konstruieren, das es in diesem Maßstab noch nicht gab. Die richtige Dimensionierung von Motor und Spiegel hat uns vor ungeahnte Probleme gestellt. Diese beiden Bauteile müssen exakt aufeinander abgestimmt sein, da das System sonst nicht betriebsfähig ist.

Des Weiteren wollten wir ein System realisieren, das mit einer PV–Anlage konkurrenzfähig ist und weitere Einsatzmöglichkeiten bieten kann, als nur die Stromerzeugung. Wir spielten mit dem Gedanken das System für den Outdooreinsatz als Energiequelle nutzbar zu machen.

Der Parabolspiegel eignet sich hierfür besonders gut, da durch die Bündelung der Sonnenstrahlung ein hohes Energiepotential für Strom- und Wärmeerzeugung bereitgestellt wird. Einfacher Transport, Handhabung und Robustheit waren hierfür unsere wichtigsten Kriterien.

Alle Bauteile sind relativ einfach herzustellen und somit leicht zu ersetzen. Da bei einem Stirlingmotor nur wenige Bauteile als Verschleißteile dienen, ist dessen Wartung mit wenig Aufwand durch einen Laien zu erledigen. Durch Tausch der Verschleißteile kann dieser Motor nahezu unbegrenzt lange seinen Zweck erfüllen.

Für uns war wichtig, Erfahrung auf diesem Gebiet zu sammeln und Theorie und Praxis zu vereinen.

2. Physikalische Voraussetzungen

Zum Einstieg in dieses Thema betrachten wir die physikalischen Voraussetzungen, um das Zusammenspiel der einzelnen Vorgänge in unserem Projekt verständlich zu machen.

2.1 Die Sonne

Vor ungefähr 5 Milliarden Jahren bildete sich eine Wolke aus interstellarem Gas (= dünn verstreute Materie zwischen Sternen einer Galaxie, besteht aus ca. 90 % Wasserstoff und ca. 10 % Helium). Da sich genügend Masse in dieser Umgebung befand, entwickelte sich eine Gravitationskraft, welche immer mehr Masse anzog und dadurch immer größer wurde. Somit entstand die Sonne.

2.1.1 Der Aufbau der Sonne

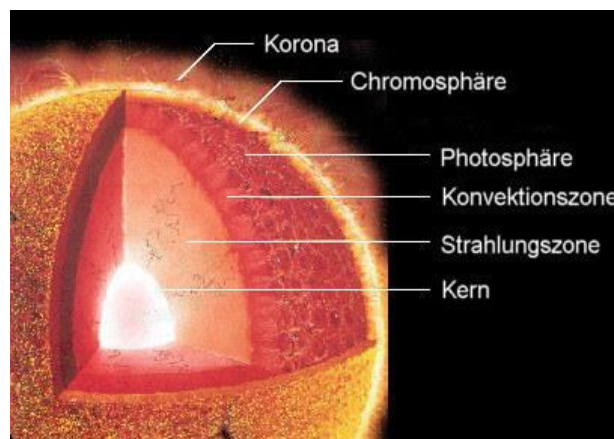


Abb. 1. Der Schichtaufbau der Sonne

Die Sonne ist in mehrere Schichten unterteilt. Die Kernzone ist das Zentrum der Sonne, in der die Kernfusionen stattfinden und das Licht der Sonne produzieren. Durch die Strahlungs- und Konvektionszone erfolgt der weitere Abtransport des Lichtes zu den oberen Schichten, zur Photosphäre und zur darauffolgenden Oberfläche, der Chromosphäre. Diese ist die einzige sichtbare Schicht, die jedoch durch blasenartige Erscheinungen (auch Granule genannt), ungleichmäßig hell erscheint. Durch Konvektionen (Bewegung der heißen Materie vom Inneren zur Oberfläche und kalte Materie in Richtung Zentrum) wechseln die Granule die Schichten der Sonne. Die Äußerste und damit letzte Schicht ist die Korona. Sie besitzt die geringste Dichte, ist jedoch am aktivsten.

2.1.2 Allgemeines

Die Energiequelle unserer Sonne ist die Proton-Proton-Reaktion.

Es ist bekannt, dass Atome Elektronen besitzen.

Man weiß ebenfalls, dass Atomkerne aus Protonen und Neutronen bestehen.

Wenn man ein Proton zu einem Neutron umwandelt, spalten sich ein Positron (Elektron nur positiv) und ein Neutrino (= Elementarteilchen) ab.

Die Voraussetzung für eine Proton-Proton-Reaktion ist ein enorm hoher Druck von ca. 220 Millionen bar und einer Temperatur von ca. 15 Millionen °C. Bei so einer hohen Temperatur spalten sich die Elektronen von den Atomen. Sie werden ionisiert.

Die Proton-Proton-Reaktion ist in drei Teile eingeteilt:

1) Im ersten Schritt verbinden sich zwei Wasserstoffprotonen zu einem Deuterium, welches aus einem Proton und einem Neutron besteht. Hier wird ein Proton in ein Neutron umgewandelt. Als Nebenprodukte entstehen ein Proton, ein Neutrino und Licht (= + 0,42 MeV; das freigesetzte Positron verschmilzt sich mit einem Elektron dabei wird ebenfalls Energie freigesetzt = + 1,02 MeV).

2) Dieses Deuterium verschmilzt nun mit einem weiteren Wasserstoffproton zu einem instabilen Helium (Helium-3 genannt). Auch hier entstehen als Nebenprodukte ein Neutrino und Licht (= + 5,49 MeV).

3) Im letzten Schritt verschmelzen zwei instabile Heliumkerne zu einem vollständigen Helium (Helium-4 genannt). Als Nebenprodukte entstehen 2 Protonen und Licht (= + 12,86 MeV).

Mev – Megaelektronenvolt ($1\text{eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$)

2.1.3 Die Sonnenstrahlung

Reduktion der Sonnenstrahlung durch die Atmosphäre

Die Erdatmosphäre absorbiert die schädliche kurzwellige Strahlung.

Röntgenstrahlung wird von der Ionosphäre, Ultraviolettstrahlung von der Ozonschicht in der Stratosphäre ausgefiltert.

Radiowellen und das sichtbare Licht dringen bis zur Erdoberfläche vor.

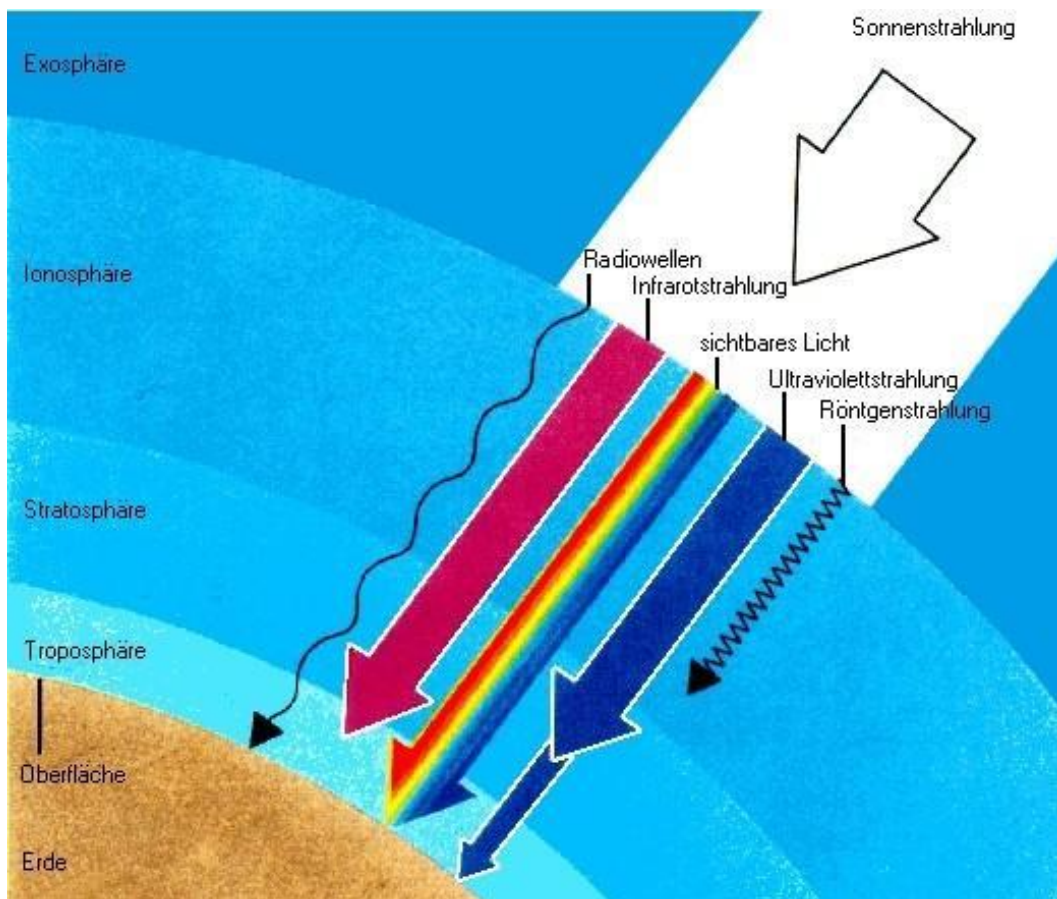


Abb. 2. Aufteilung der Sonnenstrahlung in ihre Bestandteile

Spektrum und Intensität der Solarstrahlung

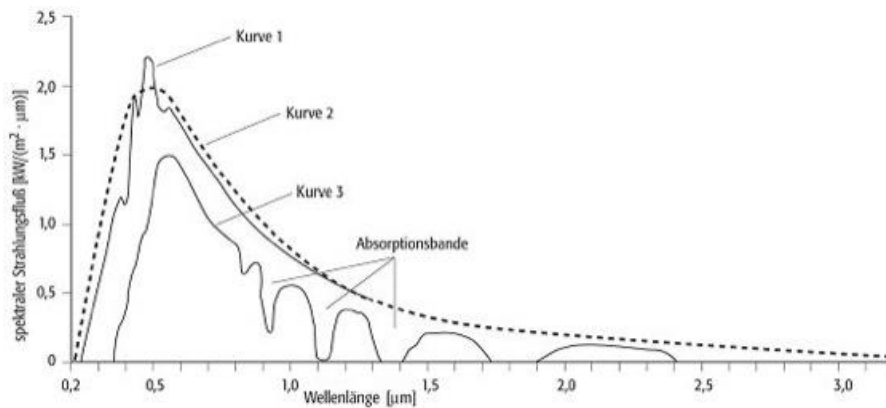


Abb. 3. Spektrum und Intensität der Solarstrahlung

Kurve 1: Darstellung der extraterrestrischen Sonnenstrahlung.

Kurve 2: Stellt den spektralen Strahlungsfluss von der Sonne im Vergleich zur Emission eines schwarzen Körpers mit einer Temperatur von 5900 K dar.

Kurve 3: Nach Durchgang durch die Erdatmosphäre ist die Sonnenstrahlung an der Erdoberfläche durch Streu- und Absorptionsprozesse deutlich geschwächt; die Absorptionsbanden, insbesondere durch Wasserdampf und Kohlendioxid verursacht, sind deutlich zu erkennen.

Sonnenkarte

Die Solar- oder Sonnenkarte zeigt, abhängig von der geografischen Lage, die jährlich anfallende Strahlungsenergie. Die Energiemengen werden in kWh/m² angegeben.

Die geografische Lage hat einen entscheidenden Einfluss auf die jährliche Strahlungsmenge. In Deutschland liegen die mittleren Strahlungswerte mit 900 kWh/m² - 1200 kWh/m² sehr eng zusammen.

Deswegen hat die geografische Lage zwar einen Einfluss, viel entscheidender ist aber, ob Gebäude oder Grundstücke für ein solches System geeignet ist, eine optimale Ausrichtung bzw. Neigungswinkel vorliegen oder Störobjekte zu einer Verschattung beitragen.

Die Globalstrahlung in Waldmünchen beträgt ca. 1090 kWh/m² – 1100 kWh/m² (Jahresmittel). (Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, 2016)

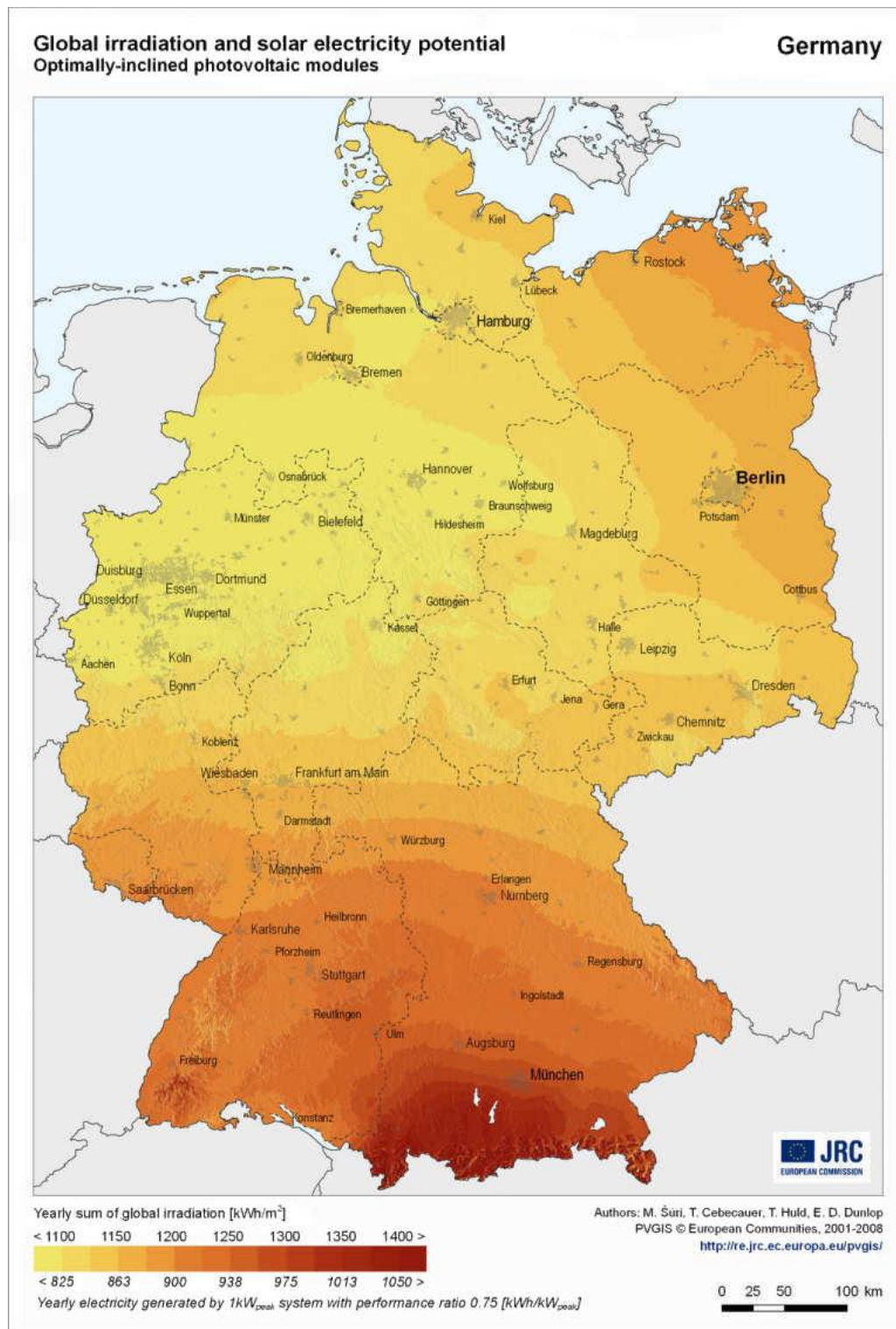


Abb. 4. Sonnenkarte Deutschland

Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries

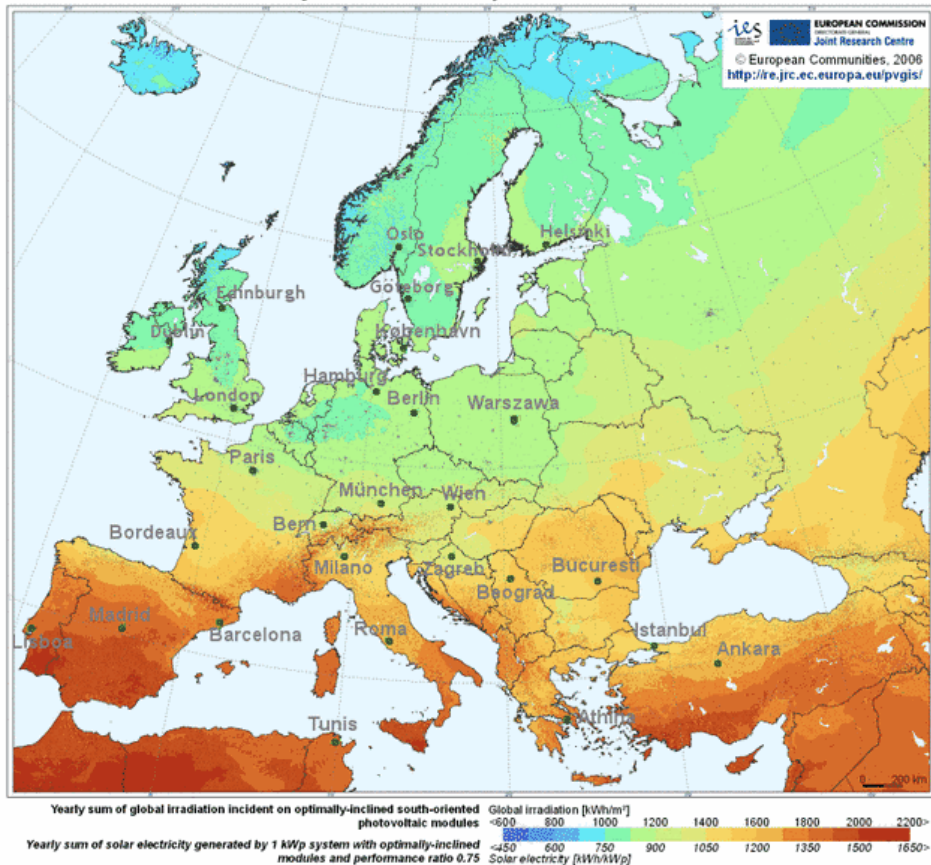


Abb. 5. Sonnenkarte Europa

Globalstrahlung

Die Globalstrahlung ist die Summe aus direkter und diffuser Sonnenstrahlung.

Als direkte Strahlung wird der Anteil der Strahlung bezeichnet, der ungehindert und ohne Streuung durch die Erdatmosphäre auf die Erdoberfläche trifft. Die direkte Strahlung beträgt im Jahresmittel etwa 50 Prozent der Globalstrahlung.

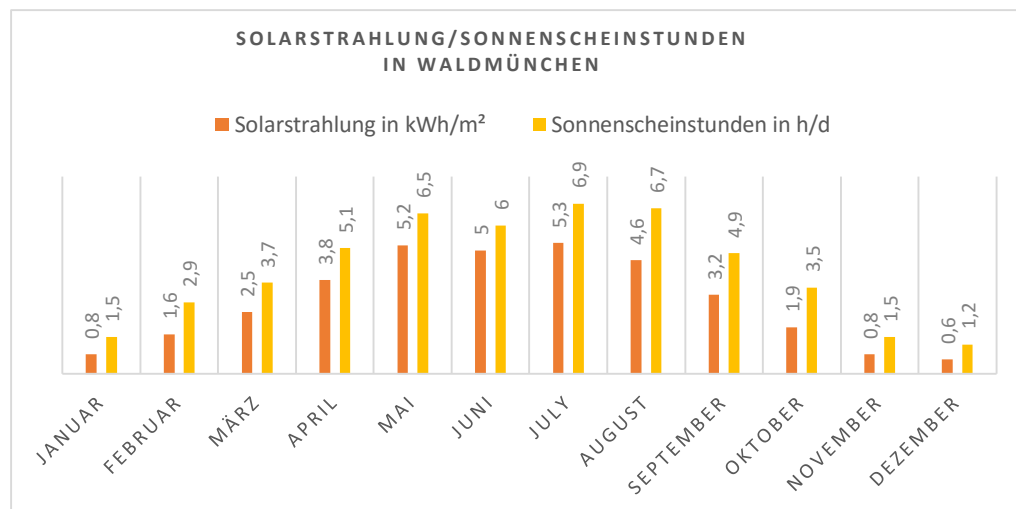


Diagramm 1. Solarstrahlung / Sonnenscheinstunden in Waldmünchen

Die diffuse Strahlung oder Himmelsstrahlung ist der Strahlungsanteil der an Wolken, Dunst, Nebel oder Schmutzteilchen gestreut, reflektiert oder gebrochen wird und nicht gradlinig auf die Erde trifft. Sie macht im Jahresmittel die anderen 50 Prozent der Globalstrahlung aus.

2.2 Der Stirling-Prozess

Der Stirlingprozess ist die Grundlage der Funktion des Stirlingmotors. Er kommt dem Carnot Prozess sehr nahe und ist einer der wenigen Kreisprozesse die den Carnot-Wirkungsgrad erreichen können und in der Praxis umsetzbar ist.

Der Carnot Prozess ist der idealisierte Kreisprozess einer Wärmekraftmaschine. Er ist in der Realität wegen physikalischen Gegebenheiten nicht umsetzbar.

2.2.1 Grundlagen

Wärmekraftmaschine:

Eine Maschine, die Wärmeenergie in mechanische Energie umwandelt. Sie nutzt das Bestreben der Wärme, von einem höheren Wärmepotential in ein niedriger gelegenes zu fließen.

Kreisprozess:

Prozess in einem thermodynamischen System, der sich nach Ablauf mehrerer Unterprozesse wieder in den Anfangszustand zurücksetzt.

Zustandsänderung:

Das System geht von einem Anfangs- in einen Endzustand über. Dabei ändern sich seine thermischen und kalorischen Zustandsgrößen.

Isotherme Zustandsänderung:

Zustandsänderung bei konstanter Temperatur.

Isochore Zustandsänderung:

Zustandsänderung bei konstantem Volumen.

Entropie:

Im Allgemeinen ist die Entropie ein Maß für die Unordnung eines Systems. Ein Gas hat demnach eine große Entropie, da die Gasteilchen sich völlig regellos in alle Richtungen bewegen können. Feste Körper haben im Gegensatz dazu eine geringe Entropie, da die Teilchen an bestimmte Plätze gebunden sind und sich kaum bewegen können. Bei Zustandsänderungen verändert sich demnach die Entropie eines Stoffes.

Die Entropie ist eine „Umwandlungsgröße“ und kann nicht veranschaulicht werden. Sie hat aber einen erheblichen Nutzen in der Wärmetechnik, da sie zum Entscheidungsmerkmal für Prozessarten angewandt wird.

Stirlingprozess:

Grundlage des Stirlingprozesses ist die Expansion eines heißen Gases und die Kompression kalten Gases. Dabei muss der Arbeitsaufwand der Kompression kleiner sein als der Arbeitsgewinn der Expansion.

2.2.2 Funktionsweise des Prozesses

Im p-V-Diagramm sieht man, wie sich Druck und Volumen während des Prozesses ändern:

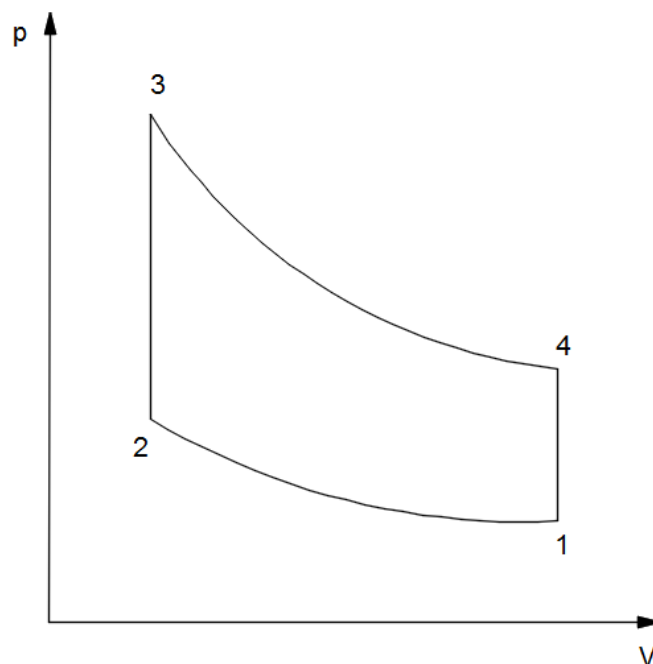


Diagramm 2. p-V Diagramm des Stirlingprozesses

Im T-S-Diagramm erkennt man die Änderungen von Temperatur und Entropie:

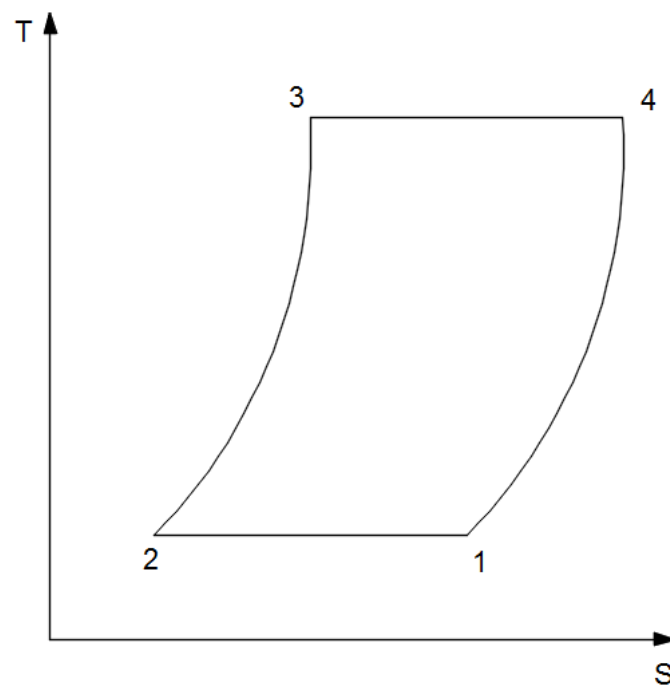


Diagramm 3. T-S Diagramm des Stirlingprozesses

Schritt 1/2 - isotherme Verdichtung:

Das kühle Arbeitsgas wird isotherm verdichtet, die dabei entstehende Wärme wird außerhalb des Systems abgeleitet. Da das Gas ein niedriges Temperaturniveau besitzt ist die Kompressionsarbeit gering.

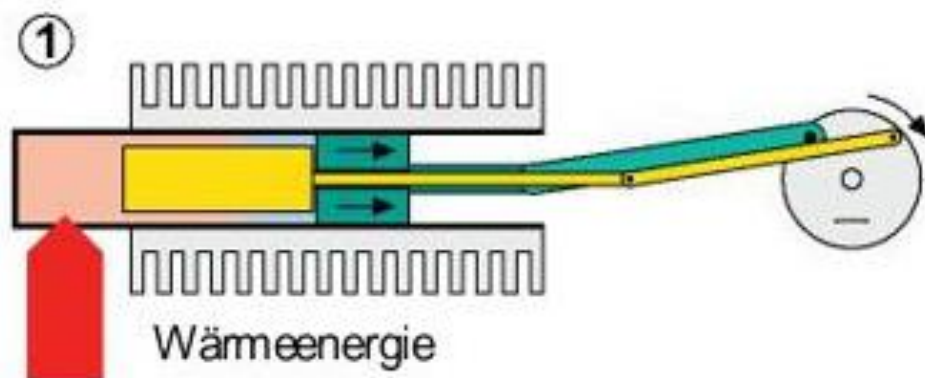


Abb. 6. Erster Arbeitsschritt

Schritt 2/3 – isochore Erwärmung:

Das Arbeitsgas wird nun erwärmt. Durch diese Erwärmung expandiert es. Da das Volumen konstant ist, steigt der Druck im System.

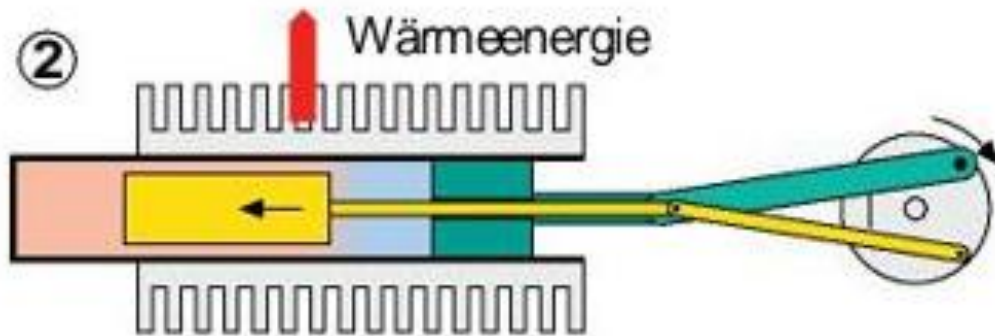


Abb. 7. Zweiter Arbeitsschritt

Schritt 3/4 – isotherme Expansion:

Das Gas wird isotherm entspannt. Die dafür notwendige Temperatur wird von außen hinzugeführt. Die dabei entstehende Expansionsarbeit ist hoch, da das Temperaturniveau des Gases hoch ist.

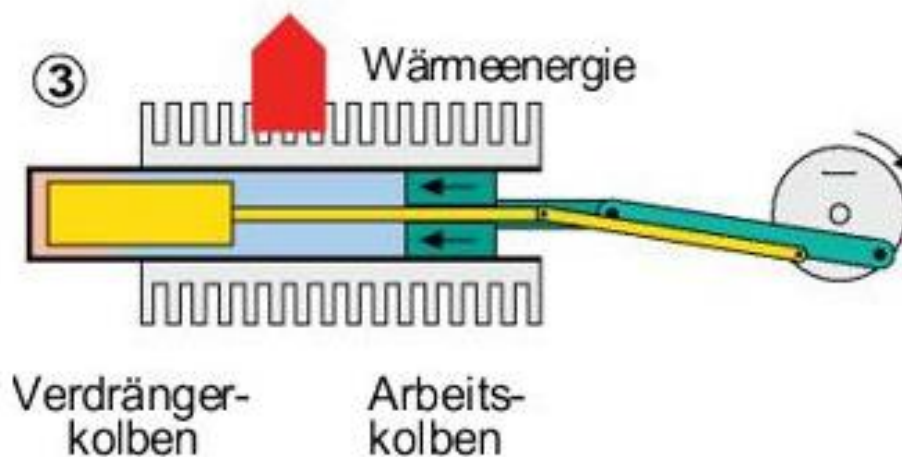


Abb. 8. Dritter Arbeitsschritt

Das Gas wird wieder auf das Temperaturniveau des Ausgangszustandes gebracht. Somit kann der Kreisprozess wieder mit der isothermen Verdichtung beginnen.



16

Somit kann der Energieübertrag durch das gleiche Bauteil erfolgen, die abgegebene Energie von $Q_{4/1}$ gespeichert und im Schritt 2/3 genutzt werden. Hier ist auch die gewonnene Energie zu erkennen, sie stellt die unschraffierte Fläche W_t dar.

2.3 Das Gestell

Die Anforderungen an das Gestell:

- Aufnahme aller Kräfte
- Mobilität
- Nachführbarkeit
- Flexibilität
- Wenig Verschattung am Spiegel

Da der Parabolspiegel die Sonnenstrahlung in einem Punkt bündelt und dieser je nach Einfallswinkel der Sonne wandert, muss der Spiegel immer genau auf die Sonne ausgerichtet werden. Dies erfordert am Gestell eine Verstellung in der vertikalen und der horizontalen Achse.

Der erforderliche, maximale einstellbare Winkel ist aus dem Sonnenstandsdiagramm z.B. für den Landkreis Cham herauszulesen.

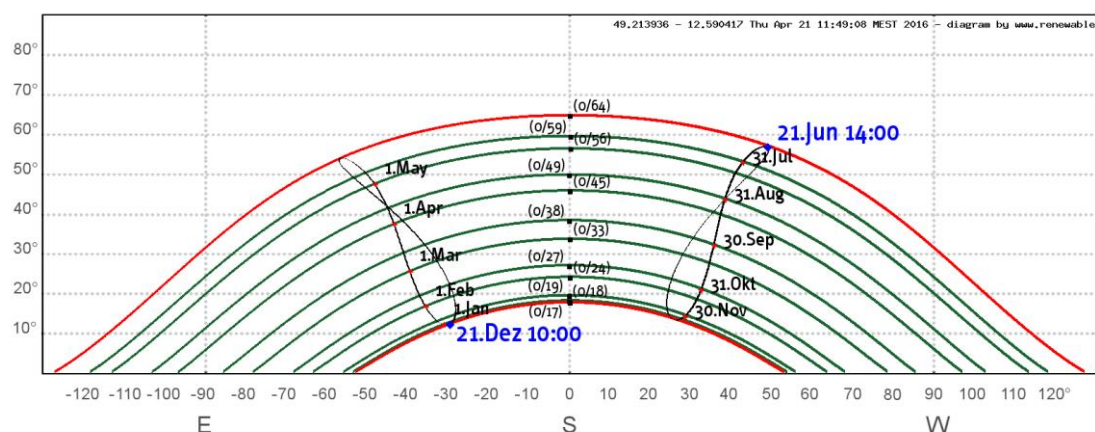


Diagramm 5. Sonnenstandsdiagramm Cham

Es ist zu erkennen, dass maximal ein Azimutwinkel von 65° am Standort Cham erreicht wird.

Das Gestell muss, um seine Mobilität zu gewährleisten, klein und leicht sein. Um dies mit der Stabilität des Gestells zu vereinbaren, muss es faltbar oder zerlegbar sein. Zudem muss es Windkräfte am Spiegel und Kippmomente bei komplett nach hinten gestelltem Spiegel (Mittagszeit – Sonne am höchsten) aufnehmen.

Bodenunebenheiten müssen durch das Gestell ebenso ausgeglichen werden, um den Sonnenwinkel in jeder Stellung genau einstellen zu können. Auch im Falle der Nachrüstung einer Nachführung ist somit die genaue Ausrichtung auf den Sonnenstand gewährleistet.

Um auch andere Bauteile, zum Beispiel zur Wassererwärmung oder zum Grillen, montieren zu können, muss das Gestell eine einfache, kompatible Kupplung am Halter des Motors besitzen. So kann der Spiegel für jegliche, mögliche Einsatzzwecke genutzt werden.

Um den Parabolspiegel so effizient wie möglich nutzen zu können, darf die Motorhalterung am Gestell den Spiegel nur minimal verschatten. Damit kann die größtmögliche Fläche am Parabolspiegel und die maximale Strahlungsleistung am Motor zum Erhitzen genutzt werden.

3. Technische Umsetzung

Da wir nun die physikalischen Randbedingungen kennen, wenden wir uns der technischen Umsetzung zu.

3.1 Der Stirlingmotor

„...Zu meinem Erstaunen stellte ich fest, dass während der gesamten, ununterbrochenen Probefahrt von 70 Stunden die Maschine nicht ein einziges Mal aussetzte, dass es bei der gleichmäßigen Bewegung der Schaufelräder keine einzige Unterbrechung gab.

....Alles war so sicher verankert, als ob das Schiff noch im Dock lag. Der Kolben bewegte sich vollkommen gleichmäßig und ruhig, während das Schiff rollte und schlingerte. Ich hatte viel über die große Hitze gehört, die auf die Maschine einwirkt, und ich ging deshalb häufig in die Kohlebunker. Zu meiner Überraschung stellte ich fest, dass die Bunkerräume so kühl waren wie ein Keller.

Auch versetzte es mich in erstaunen, dass nur ein einziger Heizer jeweils im Einsatz war, und das dieser von Zeit zu Zeit eine geringe Menge Kohle einschippen musste. Ich erfuhr dass es Vorschrift war, jede der acht Feuerstellen 80 Minuten mit jeweils 65 (englische) Pfund Kohle zu versorgen.

...Das Wetter war während der ganzen Fahrt so schlecht das man zu keiner Zeit viel nutzen von den Segeln gehabt hätte.

...möchte ich betonen, dass das Ergebnis insgesamt zufriedenstellend war.

...finde ich, dass die Probefahrt der „Ericsson“ den Erfolg des neuen Arbeitsprinzip endgültig bestätigte; ich hoffe, der Tag wird nicht mehr fern sein das die Einführung dieser Maschine als Antriebskraft für unsere Kriegsflotte die Schiffe von der drohenden Gefahr befreit, durch einen Zufallstreffer in den Dampfkessel in die Luft gesprengt zu werden, vielleicht gerade in einem Augenblick, wo der Sieg bereits unser ist. Ich verbleibe, Sir, mit dem Zeichen vorzüglicher Hochachtung ihr ergebener Diener Joshua Sands, US-Flottenkommandant.

An den hochwohlgeborenen Herrn Marineminister John P. Kennedy“ (Martin Werdich, 2007)

Schrieb im Jahre 1853 des US-Flottenkommandant Joshua Sands in seinem Bericht an den Marineminister John P. Kennedy nach der Probefahrt auf dem Wärmeschiffes „Ericsson“, das mit Stirlingmaschinen betrieben wurde.

Leider ging es im Sturm von New York unter, was seinem Ruf innerhalb des Schiffbaus sehr schädigte, keine Folgeaufträge wurden ausgeschrieben.

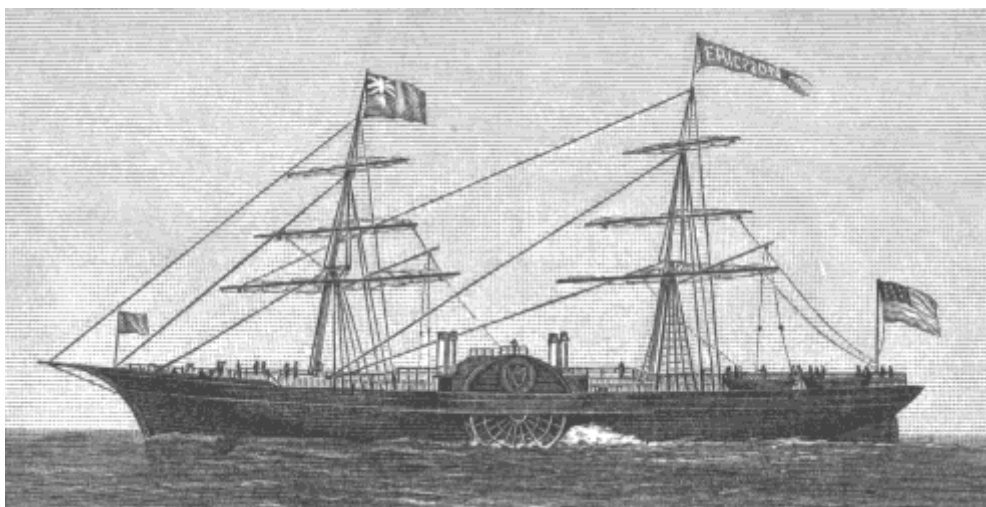


Abb. 11. Die "Ericsson"

3.1.1 Funktion

Anhand der Explosionszeichnung erklären wir nun die Funktion der einzelnen Bauteile und ihr Zusammenspiel.

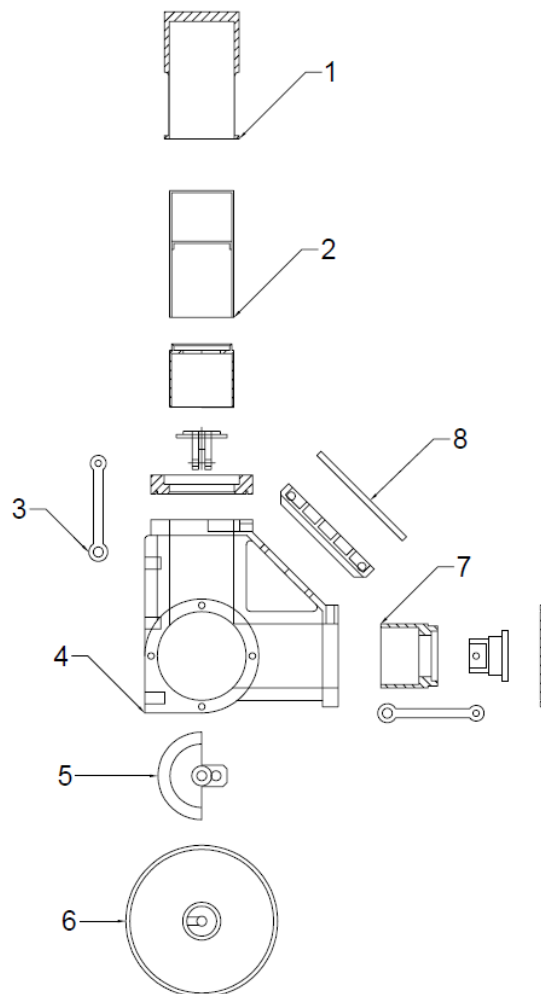


Abb. 12. Explosionszeichnung des modifizierten Ross V-15

Bauteil 1: Erhitzerkopf

Der Erhitzerkopf ist eines der wichtigsten Bauteile am Stirlingmotor. Er bildet das Volumen in dem sich der Heißkolben bewegt. Der Erhitzerkopf wird mit einer externen Wärmequelle erwärmt, dadurch erwärmt sich auch das Arbeitsgas in dessen Inneren. In unserem Beispiel ist er am oberen Ende dickwandiger als am unteren, somit kann er Wärmeenergie zeitweise speichern, ohne sie schnell an das Gehäuse abzugeben. Die dünne Wandung unterhalb verhindert den schnellen Wärmefluss und die Wärmespeicherung im kühleren Bereich des Kopfes.

Bauteil 2: Heißkolben

Der Heißkolben läuft im Erhitzerkopf und verdrängt das Arbeitsgas, sodass es in den Arbeitszylinder gelangt. Bei unserem Motor besteht dieser aus drei Teilen, die miteinander verpresst werden. Der obere Teil ist der Verdränger. Er hat ein so großes Volumen, dass er annähernd das gesamte Gas im Heißzylinder verdrängen kann. Die unteren Teile sind der hauptsächliche Kolben, der für den gasdichten Abschluss zum Gehäuse sorgt und der Kolbenfuß, der die Verbindung zwischen Kolben und Pleuel herstellt. Bei den meisten Motoren sind Kolben und Kolbenfuß ein Bauteil, aber bei unserem war es, wegen den kleinen Abmaßen nicht möglich, diese in einem Stück zu fertigen.

Bauteil 3: Pleuel

Das Pleuel ist in diesem Motor drei mal verbaut. Einmal am Heißkolben und zweimal am Arbeitskolben. Diese Pleuel haben die Aufgabe, die Kolben mit der Kurbelwelle zu verbinden. Um die erzeugte Arbeit durch den Arbeitskolben auf die Kurbelwelle zu übertragen sind dort zwei Pleuel verbaut. Am Heißkolben reicht eines, da dieser nur das Arbeitsgas verdrängt und dort keine großen Kräfte auftreten.

Bauteil 4: Kurbelwellengehäuse

Das Kurbelwellengehäuse ist das Kernstück des Motors. Es sorgt für die Lagerung der Kurbelwelle und bildet gleichzeitig die Laufbuchsen der Kolben, in unserem Beispiel auch den Hubraum für den Arbeitskolben.

Bauteil 5: Kurbelwelle

Die Kurbelwelle setzt die linearen Bewegungen der Kolben in eine Drehbewegung um. Dadurch kann die Arbeit einfacher und praktischer genutzt werden. Sie verbindet durch den Kurbelwellenzapfen den Heiß- und den Arbeitskolben und legt damit deren Steuerzeiten fest.

Bauteil 6: Schwungrad

Das Schwungrad speichert einen Teil der Rotationsenergie, die bei den arbeitserzeugenden Schritten entsteht und gibt diese zum Teil bei den Verdichtungsschritten wieder ab. Es ist notwendig, um den Motor überhaupt betreiben zu können. Ohne dieses würde der Motor sich nicht drehen und könnte somit nicht seine Aufgabe erfüllen.

Bauteil 7: Arbeitskolben

Der Arbeitskolben verrichtet die eigentliche Arbeit, die an der Kurbelwelle abgegeben wird. Er ist gasdicht an die Laufbuchse des Gehäuses angepasst und wird somit bei der Expansion des Arbeitsgases verdrängt. Durch den Schwung der Kurbelwelle verdrängt er das Gas wiederum aus dem Arbeitszylinder und schiebt dieses zurück in den Heißzylinder, wo es wieder erwärmt wird.

Bauteil 8: Regenerator

Der Regenerator ist der Wärmespeicher oder die Wärmerückgewinnungsanlage des Stirlingmotors. Er speichert einen Teil der Wärmeenergie des heißen Arbeitsgases, das ihn durchströmt. Wenn dieses Gas nach der Expansion im Arbeitskolben abgekühlt wieder durch ihn hindurchströmt, gibt der Regenerator diese Wärmeenergie wieder an das Arbeitsgas ab, sodass die Erwärmung im Heißkolben nicht zu lange braucht und die Energieaufnahme nicht zu hoch ist.

Um den Regenerationsgrad zu erhöhen wird der Regenerator unseres Motors mit Wasser durchströmt und hat an der Unterseite, an welcher das Gas entlangströmt, sehr feine Rippen, durch die die Oberfläche extrem vergrößert wird und der Wärmeaustausch effizienter stattfinden kann. Noch eine Besonderheit und Grundlage der extremen Leistungsfähigkeit unseres Motors, sind die Bohrungen, die vor dem Regenerator im Gehäuse zu sehen sind. Durch diese Bohrungen wird bei der Verdrängung aus dem Heißzylinder das Arbeitsgas beschleunigt, während es dann durch den Kühler strömt und dort Zeit hat sich abzukühlen oder die Wärme aufzunehmen. Vor dem Arbeitszylinder muss es wiederum durch dieselben Löcher, wodurch sich die Fließgeschwindigkeit erhöht. Das beschleunigte Arbeitsgas strömt mit hoher Geschwindigkeit in den Arbeitszylinder und hat damit schon eine hohe kinetische Energie. Durch die vollständige Expansion im kalten Arbeitszylinder wird die restliche Energie freigesetzt.

3.1.2 Typen

Der α -Typ:



Abb. 13. Foto und Schemazeichnung des α -Typen

Arbeits- und Heißzylinder sind in V-Form angeordnet und sitzen auf einem gemeinsamen Kurbelwellenzapfen. Die beiden Gasräume sind durch einen oder mehrere Gaskanäle miteinander verbunden, die zugleich den Regenerator darstellen.

Stirlingmotoren dieser Bauart erreichen eine hohe Leistung und die höchste Effizienz.

Der β -Typ:



Abb. 14. Foto und Schemazeichnung eines β -Typen

Arbeits- und Heißkolben sitzen in einem gemeinsamen Zylinder. Die Pleuel beider Kolben sind auf verschiedenen Kurbelwellenzapfen angebracht. Es gibt auch verschiedene exotische Antriebe der Kolben, wie z.B. auf dem oberen Bild zu sehen, der so genannte rhombische Antrieb. Einen Regenerator besitzt dieser Typ nicht. Der Verdränger übernimmt dessen Funktion.

Der Vorteil dieses Typs ist die kompakte Bauform, die allerdings den Wirkungsgrad mindert.

Der γ -Typ:

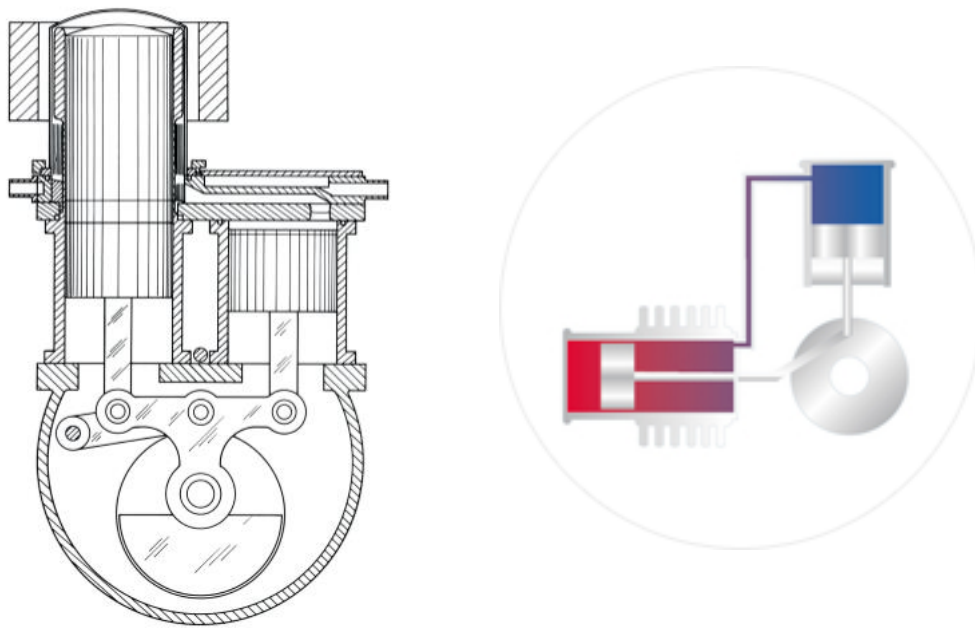


Abb. 15. Schnitt- und Schemazeichnung des γ -Typen

Hier laufen der Arbeits- und der Heißkolben wieder in verschiedenen Zylindern. Die Kolben sind im Gegensatz zum α -Typen nicht durch einen gemeinsamen Kurbelwellenzapfen gesteuert. Der Antrieb der Kolben erfolgt entweder über eine Kurbelwelle mit einem Zwischenpleuel, mit dem die Steuerzeiten des Arbeitskolbens festgelegt werden, oder auch wieder über experimentelle Antriebe, wie oben zu sehen, über ein Wackelgetriebe oder ähnliches.

Der γ -Typ erlangt durch seine großen Wärmetauscherflächen einen hohen theoretischen Wirkungsgrad. Dieser wird allerdings in der Praxis durch das große Totvolumen stark begrenzt, sodass der Motor nur Wirkungsgrade annähernd des β -Typs erreicht.

Daten unseres geplanten Motors:

1976 wurde der erste Prototyp unseres Motors von Andy Ross, der diesen und auch viele andere Motoren geplant und umgesetzt hat, fertiggestellt.

Bei ersten Testläufen haben sich folgende Werte herausgestellt:

Tabelle 1. Daten des Ross V-15

Hubraum	15 ccm
Typ	α -Typ
Schmierung	Nicht vorhanden
Zylinderwinkel	90°
Leerlaufdrehzahl	4700 rpm
Lastdrehzahl max.	3600 rpm
Betriebsdruck	Atmosphärendruck
Leistung bei 2750 rpm	44,1 W
Erhitzer	Gasbrenner

Dan Rojas, der uns die Pläne zur Verfügung stellte, hat den Motor etwas modifiziert und dadurch folgende Werte erreicht:

Tabelle 2. Daten des modifizierten Ross V-15

Leistung bei 3600 rpm	Geschätzt 180 W
Betriebsdruck	Unbekannt
Erhitzer	Sonnenlicht gebündelt durch Fresnel Linse

Leider haben wir über diesen Testlauf nicht mehr Informationen. Die Daten wurden aus einem Video entnommen. Auf weitere Fragen ist Mr. Rojas nicht mehr eingegangen.

Eigene Tests waren nicht möglich, da es wegen finanziellen und materiellen Schwierigkeiten nie zu einer Fertigung des Motors für unser Projekt gekommen ist.

Wir haben uns für diesen Motor entschieden, weil er für sein Volumen eine sehr hohe Leistungsentfaltung verspricht. Auch hat er, wie Mr. Ross in seinem Fachtext „Making Stirling Engines“ erwähnt, eine sehr gute Performance, ist sehr leicht, klein, leise und einfach aufgebaut. (Ross, 1997)

Nachdem die Fertigung des Motors nie zustande gekommen ist, mussten wir eine Notlösung finden. Modellbaumotoren kamen wegen ihrer geringen Größe nicht infrage. Auf der Webseite von Dan Rojas sind wir wiederum auf den nun verbauten Stirling β -Typ gestoßen. Er dient nur der Demonstration der Funktion und wird in dieser wissenschaftlichen Arbeit nicht berücksichtigt.

3.2 Der Parabolspiegel

Parabolspiegel funktionieren weitgehend unabhängig vom Typ der Welle, vorausgesetzt dass der Spiegel im Vergleich zur Wellenlänge groß ist und die Welle an der Oberfläche reflektiert wird. Die Spiegel eignen sich für elektromagnetische Wellen wie Licht, Radar- oder Radiowellen. Auch Schallwellen lassen sich mit Parabolspiegeln in einem Brennpunkt konzentrieren oder von dort aus in ebener Form ausstrahlen.

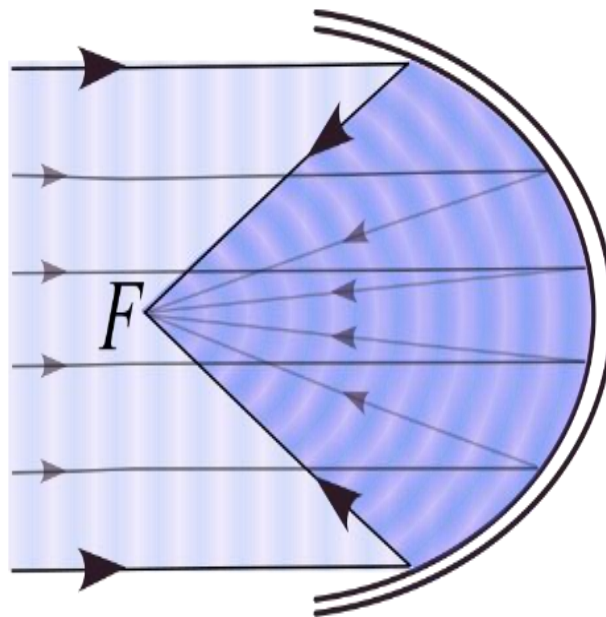


Abb. 16. Funktionsprinzip des Parabolspiegels

Eine Anwendung zur Nutzbarmachung der Sonnenenergie ist die Bündelung der Wärmestrahlung. Dadurch lassen sich im Bereich des Brennpunktes hohe Temperaturen erreichen. Die damit zur Verfügung stehende Energie kann genutzt werden, um Metalle zu schmelzen (Solarschmelzofen) oder Dampf zu erzeugen (Sonnenwärmekraftwerk).

Auch kleintechnische Anwendungen wie der Solarkocher nutzen oft Parabolspiegel zur Bündelung der Sonnenenergie. Dieses Prinzip wurde auch schon in der Antike für die Entzündung des olympischen Feuers eingesetzt, wobei eine Fackel im Brennpunkt entzündet wurde.



Abb. 17. Brennpunktbestimmung

In Dish-Stirling-Anlagen (auch Solar-Stirling genannt) wird solarthermische Energie mit einem Stirlingmotor in mechanische Energie umgewandelt. Damit wird in der Regel in einem direkt angekoppelten Generator elektrische Energie erzeugt.



Abb. 18. Brennpunkt auf Metallpräservativ

Dish-Stirling-Anlagen – der Name entstand wegen des schüsselförmigen Spiegels (engl. dish, „Schüssel“) – erreichen mit einem elektrischen Generator einen Wirkungsgrad von durchschnittlich etwa 20 %, womit sie einen etwas besseren Wirkungsgrad der Stromerzeugung haben können als Photovoltaik-Anlagen.

Berechnung des Brennpunktes:

$$\begin{array}{ll} \text{Krümmung:} & y = ax^2 \rightarrow a = \frac{y}{x^2} \\ & \text{Spiegeltiefe:} \quad y = 122,5 \text{ mm} \\ & a = \frac{122,5 \text{ mm}}{585 \text{ mm}} = 3,5795164 \cdot 10^{-4} \text{ mm} \quad \text{Radius:} \quad x = 585 \text{ mm} \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \text{Brennpunkt:} & F = \frac{1}{4a} \\ & F = \frac{1}{4 \cdot 3,5795164 \cdot 10^{-4} \text{ mm}} = 698,42 \text{ mm} \end{array}$$

3.3 Das Gestell

Bei der Konzeption des Gestells haben wir uns für ein Dreibein entschieden. Damit ist ein sicherer Stand gewährleistet. Durch ein in der Länge verstellbares Bein kann das Gestell an Bodenunebenheiten angepasst werden.

Es ist so konstruiert, dass alle drei Beine an das Mittelrohr geklappt werden können. So kann man das Gestell sehr einfach und schnell durch Lösen der drei Sterngriffschrauben zusammenklappen und transportieren.



Abb. 19. Transportbereites Dish-Stirling System

Das Mittelrohr dient gleichzeitig als Drehgelenk für die vertikale Verstellung des Spiegels. In dieses wird das Innenrohr gesteckt, auf dem sich die Adapterplatte für die Spiegelhalterung befindet. Die Adapterplatte ist ein Gelenk, das die horizontale Neigung des Spiegels ermöglicht.



Abb. 20. Spiegelverstellung

Der Spiegel ist an ein Profil aus sechs Millimeter dickem Aluminium, in das ein Stern aus Stahl geschraubt ist, befestigt.



Abb. 21. Befestigung des Spiegels

Daran wird ein zweites Profil, welches als Motorträger dient eingehängt und verschraubt.

Beim Aufbau des Gestells ist darauf zu achten, dass die drei Sterngriffschrauben an den Verstrebungen fest angezogen sind, um ein lösen durch Vibrationen im Betrieb zu verhindern. Das Gestell sollte in einer waagerechten Position stehen. Bodenunebenheiten sind durch einen längenverstellbaren Fuß auszugleichen.



Abb. 22. Neigungsverstellung

Nachdem das Dreibein richtig steht, wird der Spiegel samt Innenrohr in das Mittelrohr geschoben. So ist das empfindlichste Teil der Konstruktion einfach und ohne leicht beschädigt werden zu können, schnell montiert.



Abb. 23. Aufgebautes Dish-Stirling Systems

An das Profil des Spiegels wird nun der Motorhalter samt Motor eingehängt. Nachdem dieser verschraubt ist, kann der Motor angelassen werden und der Dish-Stirling ist betriebsbereit.

Zum Aufbauen sind zwei Personen erforderlich, da der Spiegel mit seinen 1,17 Metern Durchmesser sehr unhandlich ist.

Tabelle 3 Daten des Gestells

Gesamthöhe	2,40m
Durchmesser	2 m
Gewicht mit Anbauteilen	35,0 kg
Aufbauzeit	5 min

3.4 Messen

HT I-V400 Photovoltaic-Panel-Analyzer



Abb. 24. HT I-V400 Photovoltaic-Panel-Analyzer

Dieses Messgerät ist ursprünglich sowohl zur Ermittlung der Strom-Spannungs-Kennlinie von Photovoltaik-Einzelmodulen als auch von einem Modulstring bis max.1000V und 10A entwickelt worden. Mit einem zusätzlichen Modul lassen sich jedoch auch die gegebenen Solarstrahlungswerte ermitteln. Das Zusatzmodul HT304 ist eine Duo-Referenz-Zelle zur Messung der Einstrahlungsstärke in W/m^2 .

Dieser Einstrahlungssensor liefert genaue Messergebnisse durch die Verwendung von hochwertigen Zellen und der internen Temperaturkompensation. Der Sensor kann die Einstrahlungsstärke mit 2 verschiedenen Referenzzellen (monokristallines Silizium und multikristallines Silizium) erfassen.

Infrarotthermometer Hi Temp 2400



Abb. 25. Infrarotthermometer Hi Temp 2400

Mit diesem Infrarotthermometer kann man Oberflächentemperaturen messen. Der besondere Vorteil eines Infrarotthermometers ist die berührungslose Messung von extrem hohen Temperaturen. Der Messbereich geht von 200-2400 °C. In unserem Fall messen wir den Erhitzerkopf des Stirlingmotors. Hier erreichten wir Temperaturen von bis zu über 750 °C.

Wärmebildkamera FLIR E 30 BX



Abb. 26. Wärmebildkamera

Eine Wärmebildkamera ist ein bildgebendes Gerät, ähnlich einer herkömmlichen Kamera, das jedoch Infrarotstrahlung empfängt. Die Infrarotstrahlung liegt im Wellenlängenbereich von ca. $0,7\text{ }\mu\text{m}$ bis $1000\text{ }\mu\text{m}$. Wärmebildkameras nutzen allerdings, aufgrund der typischen Emissionswellenlängen in der Nähe der Umgebungstemperatur, den Spektralbereich von ca. $3,5$ bis $15\text{ }\mu\text{m}$ (mittleres und langwelliges Infrarot). Dieser Bereich ist auch für die Messung und bildliche Darstellung von Temperaturen im Umgebungstemperaturbereich geeignet, wenn der Emissionsgrad bekannt ist. Dieser schwankt allerdings, materialabhängig, sehr zwischen $0,012$ und $0,98$ – entsprechend ungenau kann die Temperaturzuordnung ausfallen.

Der Emissionsgrad ϵ des Objekts ist also eine entscheidende Größe. Er gibt das Verhältnis zwischen der vom Körper tatsächlich abgestrahlten Wärme im Verhältnis zur abgestrahlten Wärme eines schwarzen Körpers, der den Emissionsgrad $\epsilon = 1$ besitzt, an. Da kein Körper ein idealer schwarzer Körper ist, strahlt er also tatsächlich einen niedrigeren Wert ab. Wasser hat z.B. einen Emissionsgrad von ca. $\epsilon = 0,97$, Beton ca. $\epsilon = 0,92$, blanke Metalle liegen dagegen bei Werten von $\epsilon = 0,1$ und niedriger. In der Regel hängt das sehr von der Oberfläche ab: Körper mit spiegelnden Oberflächen haben einen geringeren Emissionsgrad als solche mit rauen Oberflächen.

Da die normale Atmosphäre in diesem Bereich weitgehend transparent ist, stört die seitliche Einstrahlung der Sonne, sowie künstlicher Lichtquellen kaum, solange die Distanz nur einige Meter beträgt. Bei größeren Entfernungen kann die Eigenstrahlung der Luft das Ergebnis verfälschen.

Thermografie ist ein berührungsloses bildgebendes Verfahren, das die für das menschliche Auge unsichtbare Wärmestrahlung eines Objektes oder Körpers sichtbar macht. Bei der Thermografie werden Temperaturverteilungen auf Flächen und Gegenständen erfasst und dargestellt.



Abb. 27. Experten beim Messen

Richtig messen:

Vor der Messung muss in der Kamerasoftware einstellen, welchen Emissionsgrad ϵ das zu messende Objekt besitzt, um seine Temperatur korrekt messen zu können.

Bei Messungen kann es vorkommen, dass diese durch reflektierte Strahlung von anderen Objekten beeinflusst wird.

All diese unerwünschte Strahlung muss der Experimentator abziehen, wenn er korrekte Angaben zu seinem Objekt haben möchte.

Das Messen mit einem Infrarotthermometer ist einfacher, zwar ist hier auch auf die Emissionsgrade zu achten, aber das zu messende Objekt muss nur anvisiert werden.

Allerdings muss der Messkegel beachtet werden, ansonsten kann die Messung verfälscht werden.

3.5 Messergebnisse und Verbesserungen

Aufgrund der schlechten Wetterverhältnisse und anderer Problemstellungen, war es uns erst am 21.04.16 möglich erste Messungen vorzunehmen.

Tabelle 4. Messung 1.

Messung am	21.04.16
Sonneneinstrahlung	$1050 \frac{W}{m^2}$
Außentemperatur	19 °C
Temperatur Erhitzerkopf	700 °C
Temperatur Regenerator	111 °C

Bei dieser Messung stellte sich heraus, dass beim Betrieb des Stirlingmotors starke Vibrationen auftreten. Dem wurde mit der Entwicklung einer neuen, verbesserten Motorhalterung mit Gummilagerung entgegengewirkt.

Tabelle 5. Messung 2.

Messung am	29.04.16
Sonneneinstrahlung	$750 \frac{W}{m^2}$
Außentemperatur	15 °C
Temperatur Erhitzerkopf	480 °C
Temperatur Regenerator	98 °C

Trotz niedriger Einstrahlungsintensität kamen am Erhitzerkopf Temperaturen von 480 °C zustande. Der Motor lief ohne Probleme. Nach dem Betrieb fiel uns eine Oxidation am Erhitzerkopf auf.

Tabelle 6. Messung 3.

Messung am	30.04.16
Sonneneinstrahlung	$1070 \frac{W}{m^2}$
Außentemperatur	17 °C
Temperatur Erhitzerkopf	760 °C
Temperatur Regenerator	124 °C

Durch starke Sonneneinstrahlung wurde die gebündelte Hitze so hoch, dass der Erhitzerkopf anfang zu glühen. Da dies eine Beschädigung des Motors verursachen könnte, musste hierfür eine weitere Sicherheitsmaßnahme gefertigt werden.

Abhilfe schafften wir durch eine Art Metallkappe, die über den Erhitzerkopf gestülpt wird, um diesen vor zu starker, direkter Hitze zu schützen.

Tabelle 7. Messung 4.

Messung am	30.04.16
Sonneneinstrahlung	$1073 \frac{W}{m^2}$
Außentemperatur	17 °C
Temperatur Erhitzerkopf	800 °C
Temperatur Regenerator	128 °C

Durch den Einsatz des Metallpräservativs waren mit dem Spiegel noch höhere Temperaturen möglich. Das Glühen des Erhitzerkopfes wurde somit unterbunden.



Abb. 28. Prototyp des Metallpräservativs

Tabelle 8. Messung 5.

Messung am	02.05.16
Sonneneinstrahlung	$770 \frac{W}{m^2}$
Außentemperatur	17 °C
Temperatur Erhitzerkopf	654 °C
Temperatur Regenerator	50 °C

Erster Einsatz des neuen verbesserten Metallpräservativs mit großer Oberfläche und hohem Wärmespeicherpotential war es trotz geringer Strahlungsintensität möglich, den Motor zu betreiben. Weiterer Vorteil dessen war eine durch die Wärmespeicherung verlängerte Nachlaufzeit ohne Sonneneinstrahlung, von 1:26 min. Damit lassen sich kurzzeitig Wolken überbrücken.



Abb. 30. Verbessertes Metallpräservativ



Abb. 29. Wärmebildaufnahme am laufenden Motor



Abb. 31. Messung der Temperatur am Erhitzerkopf

4. Wirtschaftliche Betrachtung

Ob sich die Anschaffung des Dish-Stirling-Systems lohnt, untersuchen wir im folgenden Kapitel.

4.1 Kosten des Projekts

Die folgenden Kostenaufstellungen beziehen sich auf Aussagen sowie den Kostenvoranschlag der Firma micropräzision für den Stirlingmotor und der Firma Flabeg für den Parabolspiegel und die eigens erbrachte Arbeit für das Gestell und die Zeichnungen. (Angermeier & Heimerl, 2016)

4.1.1 Der Prototyp

Tabelle 9. Kostenaufstellung des Prototyps

Pos	Bezeichnung	Menge	Preis
1	Projekt Dish Stirling Motor beinhaltet: - Arbeitsvorbereitung - Material - Werkzeuge für Fertigung - Fertigung Pos. 01 - 07	1	6.620,00 €
2	Parabolspiegel	1	2.000,00 €
3	Gestell beinhaltet: - Arbeitsvorbereitung - Material - Fertigung	1	400,00 €
4	Installation der Stromerzeugung und der aktiven Kühlung	1	80,00 €
	Gesamtpreis		9.100,00 €
	Gesamtpreis zzgl. MwSt.	19%	10.830,00€

4.1.2 Stromerzeugung

Tabelle 10. Kostenaufstellung der Stromerzeugung

Pos	Bezeichnung	Menge	Preis
1	Hochleistungsgleichstrom-motor	1	10,00 €
2	Step-Down-Spannungsregler	1	10,00 €
3	Solarakku 100 Ah	1	65,00 €
4	Kabel und Kleinteile	1	10,00 €
	Gesamtpreis inkl. MwSt.		95,00 €

4.1.3 Aktive Kühlung

Tabelle 11. Kostenaufstellung Aktive Kühlung

Pos	Bezeichnung	Menge	Preis
1	Wasserkühleinheit	1	100,00 €
2	Kabel und Kleinteile	1	15,00 €
	Gesamtpreis inkl. MwSt.		115,00 €

4.1.4 Gesamtkosten

Tabelle 12. Gesamtkosten

Pos	Bezeichnung	Menge	Preis
1	Dish-Stirling	1	10.830,00 €
2	Stromerzeugung	1	95,00 €
3	Aktive Kühlung	1	115,00 €
	Gesamtpreis inkl. MwSt.		11.040,00 €

Die Gesamtkosten für das Projekt belaufen sich auf 11.040,00 €, diese erscheinen sehr hoch das ist durch die Einzelfertigung bedingt ist.

Die von Projektgruppe erbrachte Arbeit für Zeichnungen belaufen sich auf ungefähr 50 Stunden, diese werden in den Gesamtkosten nicht berücksichtigt, sowie Zeit und Kosten für den ersten Prototyp des Parabolspiegels und Fahrtkosten.

Für Stromerzeugung und die aktive Kühlung wurden handelsübliche Geräte gewählt.

Hohe Prototypkosten werden erzeugt durch Einzelfertigung, ständigem Lern- und Verbesserungsprozess, sowie ineffektive interne Prozesse und sich fortwährend ändernde Designanforderungen. Ein weiterer erheblicher Faktor ist eine ungünstige Einkaufspraxis. Hierbei berufen wir uns auf Einzelfertigung und Einzelposteneinkauf.

4.1.5 Die Vergleichs PV-Anlage

Diese Mikro-PV Anlage haben wir gewählt, da sie im gleichen Leistungsspektrum liegt, wie die vermutliche Leistung des Dish-Stirling-Systems. Des Weiteren wird diese Mikro-PV-Anlage als Gesamtpaket vertrieben, somit sind einzelne Aufstellungen nicht nötig.

Kosten der Vergleichs-PV-Anlage

Solarblitz Inselanlage 180Wp 12V–24V–220V

Der Lieferumfang der mini-PV-Anlage beinhaltet:

- 36V 180Wp Solarpanel
- Wechselrichter 600W Dauerleistung
- MPPT-Laderegler 10A
- Solarakku 100Ah

Der Preis hierbei beträgt 820,00 € ohne Lieferung.

(Solarblitz, 2016)

4.1.6 Die 1000er-Serie

Obwohl das Projekt an den immensen Kosten gescheitert ist, werden wir uns nun einer Serienfertigung zuwenden. Um eine Aussage darüber zu erhalten, müssen ein paar Fragen geklärt werden.

Wie vergünstigt eine 1000er-Serie im Vergleich zu den Prototypen den Preis?

Nach Aussage eines Mitarbeiter von micropräzision GmbH, werden sich die Kosten einer 1000er-Serie um 2/3 vergünstigen, das bedeutet, die Kosten für ein Dish-Stirling-Systems belaufen sich auf 3680,00 €.

$$11.040,00 \text{ €} \times 1/3 = 3680,00 \text{ €}$$

Wie hoch ist der Preis, den Nachfrager bereit sind, für das Produkt zu zahlen?

Wenn der Dish-Stirling mit seiner installierten Leistung von 180W mit einer Mikro-PV-Anlage, mit gleicher installierten Leistung von 180Wp verglichen wird, sehen wir einen Preisunterschied von ca. 2.860,00 €.

Geht man somit nach der installierten Leistung, wird ein Kunde nicht das Dish-Stirling-System kaufen. Ein Kaufanreiz für das Dish-Stirling-System wäre die höhere Flexibilität gegenüber einer Mikro-PV-Anlage, da das Dish-Stirling-System leicht anpassbar ist. Die Möglichkeit, Warmwasser oder Warmluft bereitzustellen, ist problemlos umsetzbar. Durch kleine Spezifikationen und Umbauten ist es möglich den Motor durch eine solare Kochstation zu ersetzen. Entweder wird das durch den Endkunden selbst geschehen oder durch die Fertigungsfirma angeboten.

Wie hoch ist der Preis anderer Anbieter, die ein vergleichbares Produkt anbieten?

Auf dem Europäischen Markt gibt es kein vergleichbares Produkt, somit ist das vorgestellte Dish-Stirling-System einzigartig und konkurrenzlos auf dem Markt. Seine hohe Flexibilität und Fähigkeit zum Umbau macht ihn für den Hobby-Bastler sehr attraktiv.

Wird sich der Kunde für ein Dish-Stirling System entscheiden?

Nur bedingt, da die großen Stärken unseres Systems im Bastler- und Campingbereich liegen. Für den Einzelnen zählt mehr der Gedanke und die Individualität. Der Endkunde wird seh- und hörbar auffallen. Vergleichbar mit einem Benz zum Opel, beide kommen trotz allem ins Ziel.

4.2 Amortisation

Wird sich das gesamte System amortisieren?

Nach einer langen Laufzeit, ja, da das System noch ohne Sonnennachführung versehen ist und somit durch den Endnutzer nachgeführt werden muss. Dies ist manuell sehr aufwendig und muss im fertigen Produkt mechanisch und automatisiert mit eingebracht werden, was das Endprodukt zusätzlich wieder verteuert und aufwendig macht.

4.2.1 Rechnungsbeispiel für das Jahr 2015

Im folgenden Rechenbeispiel wird mit den Gesamtkosten aus 4.1.4 und mit einer vollständigen Sonnennachführung durch den Endkunden am Standort Waldmünchen, Schulstraße 23 gerechnet. Die Anlage wird vollkommen zum Eigenverbrauch genutzt.

Laut Energie-Atlas Bayern, ist die mittlere jährliche Sonnenscheindauer im Durchschnitt 1575 Stunden. (Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, 2016)

Die installierte Leistung des Dish-Stirling beträgt 180 W. Daraus resultiert, dass in einer Stunde 0,18 kWh erbracht werden können.

Der Strompreis für eine kWh am Standort betragen 27,55 ct/kWh. (Waldmünchen, 2015)

4.2.1 Ertrag im Jahresmittel 2015

Durchschnittliche jährliche Sonnenscheindauer in h x Ertrag pro h
= jährlicher Ertrag

$$1575 \text{ h} \times 0,18 \text{ kW} = 238,5 \text{ kWh}$$

Einsparung beim Strompreis von 27,55 ct /kWh im Jahr

jährlicher Ertrag x Strompreis = jährliche Einsparung

$$238,5 \text{ kWh} \times 27,55 \text{ ct/kWh} = 7810,42 \text{ ct}$$

Somit ist die jährliche Einsparung 78,10 €.

4.2.2 Einfache Amortisationszeit

$$\text{Amortisationszeit} = \frac{\text{Anlagenpreis}}{\text{Energieertrag} \times \text{Strombezugspreis} - \text{Betriebskosten}}$$

$$\text{Amortisationszeit} = \frac{3680,00\text{€}}{238,5 \frac{\text{kWh}}{\text{Jahr}} \times 0,2755 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} - 10,00 \frac{\text{€}}{\text{Jahr}}}$$

Amortisationszeit der Anlage = 66,06 Jahre.

Die Betriebskosten des Systems belaufen sich auf Schätzungsweise 10,00€ im Jahr für etwaige Reparaturen oder nach fünf bis zehn Jahren für den Austausch der Kolben und Zylinder. Mögliche Reparaturen an aktiver Nachführung und Stromerzeugung sind berücksichtigt worden.

Daraus lässt sich schlussfolgern, dass sich das System wenn im Jahre 2015 gekauft, sich im Jahre 2081 amortisiert hat. Dies entspricht in etwa einen ganzen Arbeitsleben einem deutschen Bürger.

4.2.3 Alternative Amortisation

Wäre nach der oberen Berechnung eine Leistung von 500 W Leistung installiert, wäre die Amortisationszeit auf 17,8 Jahre geschrumpft und somit wäre das System bei weitem besser vermarktbar. Durch größere Dimensionierung und neue planerische Abläufe, würden sich die Kosten zwar erhöhen, aber der Marktanreiz wäre größer und somit höhere Absätze erzielbar. Das würde den vorangegangenen Kostenpunkt minimieren.

4.2.4 Wertverlust

Der Wertverlust des Dish-Stirling-System ist auch geringer als bei einer Mikro-PV-Anlage. Der Spiegel und das Gestell sind bei pfleglicher Behandlung kaum von Wertverlust betroffen, der Motor muss vom Kunden instandgehalten werden und auch immer im optimalen Bereich betrieben worden sein, was wiederum einen sachkundigen Kunden voraussetzt. Somit kann der Wertverlust gering gehalten werden. Teile für Stromerzeugung und aktiver Kühlung müssen altersbedingt ausgetauscht werden.

4.2.5 Amortisation der Vergleichs Mikro-PV-Anlage

Wir wenden hier die aus 4.2.2 bekannte einfache Amortisation an.

$$Amortisationszeit = \frac{820,00\text{€}}{238,5 \frac{\text{kWh}}{\text{Jahr}} * 0,2755 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} - 5,00 \frac{\text{€}}{\text{Jahr}}}$$

Somit ergibt sich eine Amortisationszeit von 13,5 Jahren.

Diese ist bei weitem besser, als die des Dish-Stirling-Systems, aber schon seit langer Zeit haben Mikro-PV Anlagen ihre Marktreife erreicht. Eine solche Marktreife könnte auch für das Dish-Stirling-System von Vorteil sein, wenn Stückzahlen steigen und Fertigungskosten sinken.

5. Ökologische Betrachtung

In der heutigen Zeit ist es nicht nur wichtig die wirtschaftliche Seite zu betrachten, sondern auch die ökologische. Produkte von heute müssen auch umweltschonend, ressourcensparend und einfach wiederverwertbar sein.

5.1 Aufgewandte Ressourcen

Hier wird aufgelistet, wie viele Ressourcen das Projekt Dish-Stirling gebraucht hat und hätte, wenn der Motor gefertigt worden wäre.

Hierfür gliedern wir das Projekt in seine Hauptbestandteile, die sind wie folgt:

- Motor
- Gestell
- Spiegel
- Nebenbauteile

Ein Hauptproblem ist die Genauigkeit der Studien, da viele aus den 90ern stammen und somit für viele heutige, technische Verfahren nicht vergleichbar sind, da viele Stoffströme nicht bekannt sind oder vernachlässigt werden.

5.1.1 Der Motor

Der Prototyp Motor wäre aus Messing, weicher Gelbton ($\rho = 8,47 \text{ g/cm}^3$) hergestellt worden, die Masse des Motors ist laut Autodesk Inventor 2,34 kg. die Masse bezieht sich auf den originalen Motor und nicht auf die Pläne des Anhangs.

Fertigungsbedingt wäre der Prototyp aus einer größeren Materialmenge heraus gefertigt worden, daher setzten wir 5 kg unbearbeitetes Messing an.

Laut dem Bundesamt für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorschutz, wird der Brennstoffverbrauch von Tiegelöfen bei einem Fassungsvermögen von 300 kg bei 13 kg Heizöl je 100 kg Schmelze angegeben. Bei einer vereinfachten Rechnung bedeutet, dass für unsere 5 kg Messing ca. 8,19 kWh verbraucht wurden.

Bei einem Brennwert des Heizöls von 12,6 kWh/kg. (Bundesamt für Umwelt, Bundesamt für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorschutz, 2013)

Daraus folgern wir, dass für die projektrelevante Menge an Messing ohne Nachbearbeitung schon 8,19 kWh aufgebracht wurden.

Für die Fertigung und Nachbearbeitung veranschlagen wir nochmals 150 kWh Energie.

Mit Rohstoffen, Bearbeitung und Transport kommen wir so auf ca. 200 kWh Energie.

5.1.2 Das Gestell

Das Gestell wurde aus handelsüblichen Stahlteilen und Spezialanfertigungen aus Aluminium gefertigt. Insgesamt besteht das Gestell somit aus ca. 15 kg Stahl und 3 kg Aluminium.

Stahl:

Um die Menge an Stahl herzustellen, wurden ca. 40 kWh Energie verbraucht. Laut einer Studie aus dem Jahre 2000 wird pro Tonne guter Guss eine Gesamtenergie 2637,46 kWh verbraucht. (Bundesamt für Umwelt, Bundesamt für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorschutz, 2013)

Aluminium:

Um die Menge an Aluminium herzustellen wurden ca. 47 kWh Energie verbraucht. Um eine Tonne Aluminium herzustellen werden ca. 15.700 kWh Energie verbraucht. (Wikipedia, 2016)

Für die Verarbeitung, Fertigung und Transport des Gestells rechnen wir mit ebenfalls 200 kWh erbrachter Energie.

5.1.3 Der Spiegel

Leider konnten keine konkreten und zitierbaren Ergebnisse gefunden werden, wie energieintensiv die Glas und Spiegelproduktion ist, da Glas jedoch eine energieintensive Ressource ist, kann man ebenfalls mit einen hohen Energieverbrauch pro m² rechnen.

Daher setzten wir hier das Minimum von 100 kWh erbrachter Energie an.

5.1.4 Die Nebenbauteile

Hierunter fallen alle etwaigen kleineren Bauteile, die zugekauft worden wären:

- Batterie
- Generator
- Computertechnik
- Wasserkühlung

Leider bekommt man von diesen Posten keine genauen Energieaufwandszahlen und kann diese nicht in die ökologische Betrachtung mit einbeziehen.

5.1.5 Restliche Aufwendungen

Darunter fallen der Aufwand für die planerische Umsetzung zum Zeichnen des Motors, der Transport von Einzelteilen und Fahrten um Termine wahrzunehmen und Material zu besorgen.

Auch diese werden wir nicht in die ökologische Betrachtung mit einbeziehen, da auch ihre Berechnung zu ungenau ist.

5.2 Aufwand, Nutzen, Recycling

Im Folgenden erläutern wir den ökologischen Nutzen und Vorteile des Dish-Stirling-Systems

5.2.1 Aufwand

Um die bei Produktion, Fertigung und Transport angefallenen Energieausgaben wieder rückfließen zu lassen ist eine bestimmte Zeit nötig. Diese errechnet sich aus der aufgewendeten Energie und der Zeit bis sich das System energetisch amortisiert hat.

Für die Produktion wurde ohne Nebenteile insgesamt 500 kWh Energie verbraucht, bei einer Leistung von 180 W, muss der Motor somit 2778 h oder 116 Tage Energie aus der Sonne ernten, um die für ihn aufgebrauchte Energie wieder zu erbringen.

5.2.2 Nutzen

Sobald das Dish-Stirling-System installiert ist und reibungslos seinen Dienst verrichtet, entstehen neben Wartung und Betriebskosten keine neuen Abgase oder Kosten. Der Stirlingmotor der 1000er-Serie wäre mit tauschbaren Buchsen und Kolben versehen worden und ohne Ölschmierung ausgekommen.

Umso flexibler das System durch Endkunden oder Fertigungsbetrieb geworden wäre, desto höheren Nutzen könnte man aus dem System ziehen. Eine solare Kochstation hätte, bei der Reduktion fossiler Brennstoffe im Campingbereich, wo Propan-Butan-Gasbrenner eine der häufigsten Energiequellen neben Holz ist, ungemein geholfen.

5.2.3 Recycling

Alle verwendeten Hauptbestandteile des Dish-Stirling-Systems sind sehr gut recycelbar.

Der Messingmotor könnte einfach bei örtlichen Schrotthändlern entsorgt werden ohne Mehrkosten zu verursachen. Bei der 1000er Serie wäre der Motor zwar nicht mehr aus hochwertigen NE-Metallen gefertigt, aber immer noch einfach zu recyceln.

Das Gestell ist aus Stahl und Aluminium gefertigt, somit auch sehr einfach wiederverwertbar oder auch umrüstbar.

Der Spiegel und die dafür verwendeten Materialien sind auch wiederverwertbar, ein weiterer Vorteil ist, dass kein Blei im Spiegel verwendet wurde, was ihn verträglicher für Mensch und Umwelt macht.

Die Nebenbauteile sind keine Neu- oder Maßanfertigungen für das System. Batterie, Generator und Wasserkühlung können wieder rückgeführt werden, wenn ihre Lebenszeit vorüber ist.

5.3 Vergleich mit der Mikro-PV-Anlage

Vergleicht man nun das Dish-Stirling-System mit der Mikro-PV-Anlage aus 4.1.5, erkennt man, dass die geldwerte Amortisation sich deutlich unterscheidet und die Mikro-PV-Anlage der klare Sieger ist. Betrachtet man aber die energetische Amortisation, verliert hier klar die PV Anlage.

„Die energetische Amortisation von Dünnschichtzellen ist die kürzeste. Das ist insofern naheliegend, als der Fertigungsprozess weniger aufwendig ist als bei kristallinen Zellen und auch weniger Rohstoff benötigt wird. Sie liegt je nach Wirkungsgrad zwischen 1,5 und 3,5 Jahren.“ (Münch, 2016)

Auch wenn für die Dünnschichtzellen die energetische Amortisation die kürzeste der Photovoltaik-Technologie ist, so ist sie immens länger als die des Dish-Stirling-Systems.

5.4 Vergleich beider Systeme

Um für Kunden, Produzenten und Entwickler nun ein klares Bild zu schaffen, vergleichen wir nun beide Systeme in den aufgelisteten Disziplinen. Bezug wird auf das vorgestellte Dish-Stirling-System aus der 1000er Serie und die Mikro-PV-Anlage genommen. Beide nutzen die gleiche Fläche zum Ernten von Sonnenstrahlen und erzielen gleiche Leistungen.

Vergleichsdisziplinen:

- Kosten
- Wartungs-, Betriebskosten
- Geldwerte Amortisation
- Energetische Amortisation
- Sicherheit
- Qualität
- Funktionalität
- Bewusstsein

Tabelle 13. Gegenüberstellung der beiden Systeme

	Dish-Stirling-System		Mikro-PV-Anlage	
Kosten	3680,00 €	--	820,00 €	++
Wartungs-, Betriebskosten	10,00 € / Jahr	-	5,00 € / Jahr	+
geldwerte Amortisation	66 Jahre	--	13,5 Jahre	+
energetische Amortisation	0,3 Jahre	++	2-3 Jahre	--
Sicherheit	betriebsbedingte Ausfälle möglich	-	etwaige Reinigung nötig	++
Qualität	gute Fertigung und Planung	++	Niedrig (Günstige Teile aus Übersee)	0
Funktionalität	System ist sehr flexibel	++	kann nur einen Zweck erfüllen	--
Bewusstsein	hoher Individualitätsfaktor	++	Systeme heute keine Neuerung mehr	+
Ergebnis:	++		+++	

Nach dem Ergebnis kann man sehen, dass beide Systeme untereinander vergleichbar sind und im Endeffekt der Kunde entscheidet, welches Produkt für ihn nun in Frage kommt.

Beide Systeme haben ihre Vor und Nachteile. Unbestreitbar ist der hohe Individualitätsfaktor des Dish-Stirling-Systems, aber leider auch sein hoher Preis.

6. Projektverlauf und Zeitplanung

Im Laufe der Projektarbeit wurden unterschiedliche Phasen durchlaufen, so fand die eigentliche Projektfindung im September statt. Nach einigen Tagen der Ideensammlung und Abwägung sich für ein Projekt zu entscheiden, kristallisierte sich die Idee heraus, das Projekt Dish–Stirling anzugehen. Nach Recherche zum Stirlingmotor fanden wir heraus, dass die Stirlinggemeinde in Deutschland nur in sehr kleinem Rahmen existiert, die leider nur kleine Modellbauanlagen anzubieten hat. Nach Kontaktaufnahme mit dem Ingenieurbüro ve-Ingeneure, die selbst einen größeren 500 W Motor im Angebot haben, wurde schnell klar, dass dieser den Rahmen sprengen wird. Nach weiterer Suche wurden wir auf Dan Rojas, der in den USA selbst Stirlingmotoren fertigt und diese austestet, aufmerksam.

Leider wurden die finanziellen Mittel, direkt einen Motor von Dan Rojas zu erstehen, nicht genehmigt. Nach erfolgreicher Kontaktaufnahme bekamen wir die Zeichnungen für den ROSS V-15 α -Typ (Anhang). Problematisch waren auf den ersten Blick die Zollmaße und die so auftretenden Maße, die vollständig umgerechnet und neu gezeichnet wurden. Nach Kontaktaufnahme, mit der Firma Stangl, die durch Hr. Zistler ermöglicht wurde, konnte keine Zusammenarbeit zwischen der Technikerschule Waldmünchen, der Technikerschule Roding und der Firma Stangl erzielt werden. Während dieser Zeit wurden wir durch einen Mitschüler auf die Firma Flabeg aufmerksam, von denen wir nach erfolgreicher Kontaktaufnahme den Parabolspiegel zur Verfügung gestellt bekommen haben.

Auf der Suche nach neuen Partnern, mit der Möglichkeit den Motor zu fertigen, wurden wir wieder, dank eines Mitschülers auf die Firma micropräzision GmbH aufmerksam. Nach Kontaktaufnahme mit Hr. Schwarzfischer und Hr. Angermeier, waren diese von unserer Idee begeistert. Nach Tagen, die für die neuen Zeichnungen gebraucht wurden, konnten erste Prognosen zum Verlauf und Änderungen an den Zeichnungen selbst vorgenommen werden. Leider entsprachen die Kenntnisse für maschinenfertige Zeichnungen nicht den Ansprüchen der Firma micropräzision GmbH. Somit musste in einem dauerhaften Lernprozess die Zeichnungen verbessert und optimiert werden.

Nach Abgabe der vollständigen Zeichnungen (Anhang), wurde uns mitgeteilt, dass die Kosten für die Fertigung doch sehr hoch sind und somit wurde entschlossen, den Motor nicht zu fertigen und wieder einen käuflich zu erwerben. Parallel dazu wurde das Gestell geplant. Im März konnte die Fertigung des Gestells gestartet werden, einige Teile dafür wurden in eigener Arbeit gefertigt. Die gelaserten Teile des Gestells wurden von der Firma Wölfler GmbH in Ochsenhausen gefertigt.

Im Zwischen den Osterferien und Pfingstferien wurde der Zusammenbau fertiggestellt.
 Durch den Zeitdruck, der durch Motorfertigung, Motorbestellung und schulischen
 Angelegenheiten entstand, musste der Zeitplan neu definiert und teilweise eingeplante
 Schritte gekürzt werden.

Zeitplan

Tabelle 14. Zeitplan

2015						
		September	Oktober	November	Dezember	
Projektfindung						
Recherche						
Planung						
Durchführung						
Fertigung						
Dokumentation						
Projektarbeit						
2016						
		Januar	Februar	März	April	Mai
Projektfindung						
Recherche						
Planung						
Durchführung						
Fertigung						
Dokumentation						
Projektarbeit						

7. Fazit

Die Harmonie zwischen der technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Betrachtung ist selten herstellbar. Auch das Dish-Stirling-System leidet unter diesem Problem.

Aus technischer Sicht sind die Grundvoraussetzungen gegeben, doch die Technik des Stirlingmotors muss an die Gegebenheiten des 21. Jahrhunderts angepasst werden. Unserer Ansicht nach verfügt die Technik über ein großes Verbesserungspotential, aber auch ohne dieser Effizienzsteigerung ist es der heutigen PV-Technik ebenbürtig. Der Vorteil dieses Systems liegt bei seiner Langlebigkeit.

Wirtschaftlich gesehen ist unser Projekt ein Fehlschlag, niemand wird sich einen Stromerzeuger für knapp 4000 Euro und einer Amortisationszeit von 66 Jahren kaufen. Ein aufgreifen der Technologie durch Unternehmen würde das System markttauglich machen und könnte zu einem günstigeren Preis angeboten werden. Dies würde zu einer technologischen Weiterentwicklung und Effizienzsteigerung, was das System zudem attraktiver machen würde. Staatliche Förderungen könnten ihr übriges tun.

Der große Vorteil des Dish-Stirling-Systems ist die Umwelt- und Ressourcenschonende Erzeugung von Ökostrom. Der Einsatz einfacher Materialien, die sich nebenbei auch leicht recyceln lassen, hat einen signifikanten Vorteil gegenüber anderer Systeme, mit denen sich aus Solarenergie Strom erzeugen lässt. Kaum ein anderes System erreicht eine energetische Amortisation von 0,3 Jahren. Eine vergleichbare PV-Anlage müsste beinahe zehn Mal so lange Energie erzeugen, um dies zu erreichen! Kommende Generationen werden sich mehr Gedanken zum Thema Energieerzeugung machen müssen. Die umweltverträgliche Herstellung der Systeme wird immer mehr an Bedeutung gewinnen, hier könnte das Dish-Stirling-System seine Renaissance erleben.

Bei der Umsetzung des Projekts erlebten wir Höhen und Tiefen. Nach ersten Recherchen für die Beschaffung der Teile für unser Projekt, fanden wir Angebote für Stirlingmotoren in einer Preisspanne von 320–5000 Euro excl. MwSt. im Internet. Bei der Vorstellung dieser Motoren stellte sich heraus, dass dies unser Budget überziehen würde. Allgemein zog sich ein Budgetproblem durch die gesamte Projektarbeit.

Nach Erhalt der Pläne, mussten diese vom zöllischen auf das metrische System umgezeichnet werden. Dies gipfelte in einer Neukonstruktion des Motors zur Vereinfachung der Fertigung, wobei wir uns an den Grenzen unserer Fähigkeiten bewegten.

Allerdings haben wir durch die Planung des Motors ein umfangreiches Wissen in der technischen Kommunikation und den Anforderungen an Materialien in Stirlingmotoren erlangt.

Durch den Kontakt und Gesprächen mit etlichen Firmen haben wir Erfahrungen im Knüpfen von Geschäftlichen Kontakten, National und International, gesammelt. Wie bereits erwähnt standen wir vor einigen Problemen, die es für die Umsetzung des Projekts zu lösen galt. Durch den guten Zusammenhalt unseres Teams waren diese Probleme nicht unlösbar. Jeder konnte sein Wissen und Erfahrungen zur Geltung bringen.

Durch verschiedene berufliche Vorbildungen, wurden Probleme von verschiedenen Sichtweisen betrachtet und führten so zu einer schnellen Problemlösung. Im Team konnten wir voneinander lernen, wobei sich jeder persönlich stark weiterentwickelt hat.

Aufgrund der genannten zeitlichen Engpässen, erforderte die Realisierung eine ständige Neustrukturierung der Vorgehensweise, um die gesetzten Ziele zu verwirklichen. Zudem war es teilweise schwer, die individuellen Tagesabläufe der einzelnen Projektanten aufeinander abzustimmen.

Letztendlich konnten wir uns untereinander arrangieren und das führte zu dem gewünschten Ergebnis.

Nachdem beschlossen wurde, doch einen Motor zu kaufen, haben sich die finanziellen Mittel verbessert, wodurch sich die Budgetprobleme erledigt haben und die Umsetzung nicht mehr gefährdet war.

Im Laufe des Schuljahres wurden umfangreiche Kenntnisse in der Projektplanung erworben. Bei der Durchführung des Projekts mussten wir uns schrittweise hineinarbeiten. Dank verschiedener Lehrkräfte und Eigeninitiative, waren wir immer mehr in der Lage anstehende Aufgaben zu meistern. Im zukünftigen Geschäftsleben könnte dies zu einem Vorteil für uns werden, da wir nun das Gesamtbild eines Projekts kennen.

Alles in Allem würden wir ein solches Projekt mit dieser Unterstützung wieder durchführen. Der Lerneffekt bei der Umsetzung war sehr hoch, auch weil wir durch einige Rückschläge und Probleme zum Umdenken gezwungen waren. Durch den Zeitdruck mussten schnell Lösungen gefunden werden, die trotzdem mit einem hohen Maß an Professionalität bewältigt werden mussten. All diese Erfahrungen sind im Unterricht nur schwer zu vermitteln, sondern müssen tatkräftig erlernt werden.

Wie im Volksmund gesprochen wird: „Von nix kommt nix!“

8. Danksagungen

Zum Schluss wollen wir uns noch bei allen Personen und Firmen, die an der Umsetzung unseres Projekts beteiligt waren, bedanken.

Dan Rojas

Für die freundliche Bereitstellung der Pläne des Motors, ohne die dieses Projekt nie zustande gekommen wäre.

Firma Flabeg

Manfred Bauer, Daniel Eiber

Für die schnelle und unkomplizierte Bereitstellung des hochwertigen Parabolspiegels.

Wölfler GmbH

Fritz Schmid

Für die schnelle Fertigung der Laserteile für das Gestell.

Volker Lankes

Für die tatkräftige Unterstützung und Beratung im Laufe des Projekts.

Sepp Haller

Für die rasche Unterstützung auf seinem Hof, wo wir Werkstatt und Lagerplatz unbegrenzt nutzen durften.

Siegfried Zistler

Für die Unterstützung und das Herstellen der Kontakte.

Ludwig Wenzl

Für die Unterstützung und Beschaffung des Infrarotthermometers.

micropräzision GmbH

Albert Schwarzfischer, Andreas Angermeier

Für die große Unterstützung bei den technischen Zeichnungen und der Wegbereitung für die Fertigung des Motors.

Firma Weiß

Für die Spende des Parabolspiegel-Prototypen.

Technologie Campus Cham

Michael Fuchs, Christian Reil

Für den 3D-Druck des Anschauungsobjekts unseres Stirlingmotors.

Daniel Gumbert

Für das Design des Logos und anderer Vorlagen.

Und alle Mitschüler die mit Rat und Tat geholfen haben.