

Gymnasium Leonhard Basel – Maturaarbeit

Susanne Schaub, 5e

Die Nutzung von Sonnenenergie am
Beispiel eines selbstgebautes Solarofens
sowie ein Einblick in ein Plusenergiehaus
der Solarsiedlung Vauban (D)

Betreuung: Rainer Vogler, Koreferat: Armin Kaspar

4. Dezember 2015

Inhaltsverzeichnis

1. Vorwort.....	S. 1
2. Einleitung.....	S. 2
3. Hauptteil	S. 3
3. 1. Die Technik meines Solarofens.....	S. 3
3. 2. Dokumentation des Baus.....	S. 4
3. 2. 1. Aluminiumplatten für die Kochmulde.....	S. 4
3. 2. 2. Holzplatten für die Außenhülle.....	S.12
3. 2. 3. Holzrahmen für den Deckel.....	S.18
3. 2. 4. Abstellfläche für das Kochgut.....	S. 20
3. 2. 5. Isoliermaterial.....	S. 23
3. 2. 6. Die Spiegelreflektoren.....	S. 25
3. 2. 7. Holzrahmen für die Spiegelreflektoren.....	S. 30
3. 2. 8. Die Glasscheiben.....	S. 33
3 . 3. Inbetriebnahmen.....	S. 37
3. 3. 1. Erste Inbetriebnahme am 12. 10. 2015.....	S. 37
3. 3. 2. Inbetriebnahme am 8. 11. 2015.....	S. 39
3. 4. Berechnung des Wirkungsgrades.....	S. 40
3. 5. Die verschiedenen Typen von Solarkochern.....	S. 43
3. 5. 1. Solare Kochkisten.....	S.43
3. 5. 2. Reflektor-Kocher.....	S. 45
3. 5. 3. Solarkocher mit Wärmespeicher.....	S. 45
3. 5. 4. Solare Dampfkocher.....	S. 46
3. 5. 5. Konvektionskocher.....	S. 46

3. 6. Vor- und Nachteile meines Solarofens im Vergleich zu konventionellen Kochmethoden.....	S. 46
3. 6. 1. Vorteile.....	S. 46
3. 6. 2. Nachteile.....	S. 47
3. 7. Geschichte des Solarkochers.....	S. 47
3. 8. Wo werden Solarkocher eingesetzt?.....	S. 48
3. 9. Nutzung von Sonnenenergie am Beispiel eines „Plusenergiehauses“.....	S. 49
3. 9. 1. Effiziente Konstruktionen.....	S. 51
3. 9. 2. Dreifache Fensterverglasung.....	S. 52
3. 9. 3. Isolierung.....	S. 52
3. 9. 4. Belüftungssystem mit Wärmerückgewinnung.....	S. 52
4. Schlusswort.....	S. 54
5. Literatur- und Quellenverzeichnis.....	S. 55
5. 1. Literatur.....	S. 55
5. 2. Internetquellen.....	S. 55
5. 3. Bildquellen und Tabellen.....	S. 55

1. Vorwort

Ich habe mich für den Bau eines Solarofens entschieden, da mein Interesse unter anderem der Technik und den Naturwissenschaften gilt. Mit dem Bau eines einfachen Solarofens ist es mir möglich, eigene praktische Erfahrungen im Umgang mit der Nutzung und Anwendung von Solarenergie zu sammeln. Ferner habe ich die Möglichkeit, mich mit technischen, physikalischen und handwerklichen Fragestellungen auseinanderzusetzen, was meinen Interessen entspricht.

Meine Motivation wird hauptsächlich durch die Faszination begründet, wie sich die energiereichen Strahlen der Sonne nutzbar machen lassen.

Vor dem Hintergrund des globalen Klimawandels betrachte ich die Energieproblematik als ein äußerst spannendes Feld, in das ich mich gerne vertiefen möchte.

Am Beispiel eines „Plusenergiehauses“ im freiburgischen Stadtteil Vauban war es mir zudem möglich, einen vertieften Einblick in die Anwendung von solarer Energie zu gewinnen.

Ich möchte mich bei allen bedanken, die mich bei der Realisierung dieser Arbeit unterstützt haben, so auch bei Herrn Rainer Vogler, der sich bereit erklärt hat, meine Maturaarbeit zu betreuen und bei Herrn Armin Kaspar, der das Koreferat übernommen hat.

Mein Dank gilt außerdem Herrn Wolfgang Schnürer, Bewohner eines „Plusenergiehauses“, der sich freundlicherweise Zeit für mich genommen hat, meine Fragen zu seinem Haus zu beantworten.

2. Einleitung

Die Energieproblematik ist zur Zeit in aller Munde. Es existieren diesbezüglich verschiedene Ansichten. Auf der einen Seite gibt es Leute, die von der Nutzung regenerativer Energiequellen überzeugt sind und die Energiewende verwirklichen möchten. Auf der anderen Seite stehen diejenigen, die nicht daran glauben, dass wir unseren Energiebedarf mit erneuerbaren Energien decken können.

Mein Ziel war es, mit mir möglichen Mitteln, das Potenzial der Sonne sichtbar zu machen und möglichst effektiv zu nutzen. Darüberhinaus wollte ich einen Einblick in die Anwendung der Sonnenenergie in einem Haus der Solarsiedlung in Vauban (D) gewinnen.

Der Schwerpunkt dieser vorwiegend praktischen Arbeit liegt beim Bau eines Solarofens. Der Hauptteil ist in mehrere Kapitel gegliedert. Darin dokumentiere ich ausführlich den Bau des Ofens mit allen wichtigen Arbeitsschritten und Berechnungen. Zum besseren Verständnis habe ich mehrere Fotos, welche die Arbeitsschritte illustrieren sollen, eingefügt. In der Dokumentation beantworte ich Fragen, wie: „Wie konstruiere ich den Solarofen, damit die Nutzung der Sonnenenergie möglichst effizient erfolgt?“ oder „Welche Materialien eignen sich für den Bau?“. Außerdem habe ich zwei der mehrmaligen erfolgreichen Inbetriebnahmen des Ofens dokumentiert.

Der theoretische Teil meiner Arbeit beinhaltet die Erkenntnisse, die ich aus dem Interview mit einem Bewohner der weiter oben genannten Solarsiedlung gewonnen habe.

3. Hauptteil

3. 1. Die Technik meines Solarofens

Mein Solarofen funktioniert nach der Technik einer solaren Kochkiste. Später erkläre ich ausführlicher, wie die Technik der solaren Kochkiste funktioniert.

Bei meinem Solarofen wird der Treibhauseffekt genutzt.

Durch die vier Spiegelreflektoren werden die Sonnenstrahlen durch die transparente Abdeckung in den Innenraum des Ofens reflektiert. An den mattschwarz bemalten Innenwänden, der Ablage für das Kochgut und an den Kochgefäßen werden die kurzwelligeren Strahlen absorbiert und in langwellige Strahlen umgewandelt. Diese können die transparente Abdeckung nur noch teilweise passieren. Die Lichtenergie der Sonnenstrahlen wird mittels Absorber in Wärmeenergie umgewandelt, welche das Kochgut erwärmt.¹ Darüberhinaus können die Sonnenstrahlen direkt durch die transparente Abdeckung einfallen und die Kochmulde so erwärmen.²

Die schwarzen Innenwände bestehen bei meinem Solarofen aus mit Solarlack bemalten Aluminiumplatten. Die Kochmulde ist mit einer Schicht aus Steinwolle isoliert. Der größte Teil der erzeugten Wärme bleibt somit in der Kochmulde erhalten. Die runde Form erlaubt es, den Solarofen problemlos dem Sonnenstand nachzuführen. Die Ablage für das Kochgut ist eine Schaukel, auf der das Kochgut bei allen Winkelausrichtungen waagrecht auf der Ablage stehen bleibt.

Skizze des Solarofens

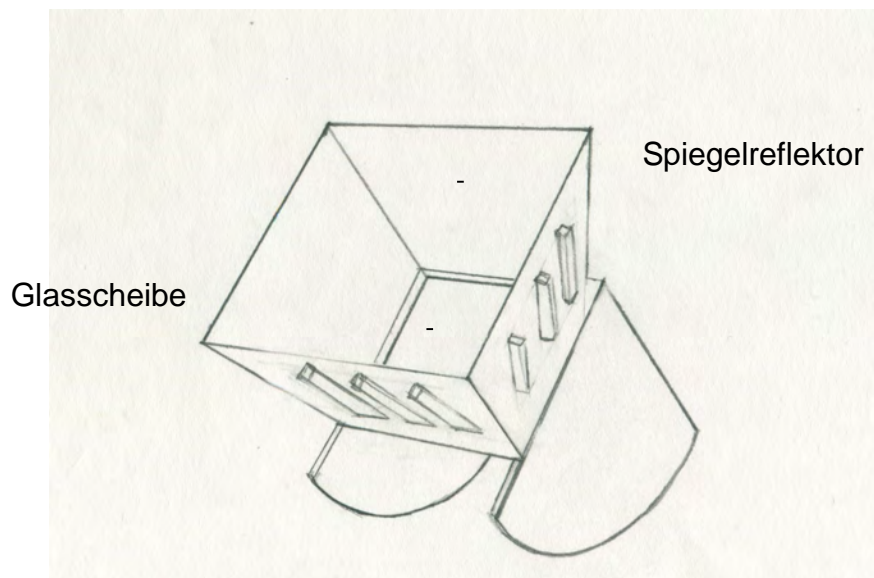


Abb. 1

¹ Vgl. Bremm-Gerhards (1991, S. 28)

² Vgl. Bremm-Gerhards (1991, S. 37)

Ich habe mich für den Bau eines Solarofens nach der Technik der solaren Kochkiste entschieden, da ein solcher Ofen sich gut im Eigenbau herstellen lässt.

Für den Bau des Ofens habe ich mir mehrere Selbstbauanleitungen angesehen und mich dadurch inspirieren lassen. Beim Bau bin ich nicht nach einer vorgegebenen Anleitung gegangen. Oft sind mir wichtige Ideen erst während des Baus gekommen.

3. 2. Dokumentation des Baus

Als erstes habe ich mir im Internet auf der Webseite www.solarfood.de eine Pfanne bestellt, die sich speziell für Solaröfen eignet. Diese Pfanne hat eine Breite von circa 25 cm und eine Höhe von 14 cm. Abgeleitet von diesen Massen habe ich die Größe der Kochmulde bestimmt.

3. 2. 1. Aluminiumplatten für die Kochmulde

Die Erwärmung in der Kochmulde erfolgt über die schwarz bemalten Innenflächen der Kochmulde, die sogenannten Absorber.³

Das Material, aus dem die Kochmulde gebaut wird, sollte demnach viel thermische Energie transportieren können. Es sollte also ein möglichst guter Wärmeleiter sein. Weiterhin sollte das Material so beschaffen sein, dass Korrosion das Metall nicht beschädigen kann. Beim Kochen gelangt in der Regel Wasserdampf in die Kochmulde. Aus diesem Grund darf am Material keine Dampfdiffusion stattfinden, da sonst die Isolierungsschicht feucht werden würde.⁴ Um mich über die verschiedenen

Wärmeleitfähigkeiten der Materialien zu erkundigen, habe ich meine Formelsammlung in Physik aufgeschlagen.

Stoff	λ
Aluminium	239
Blei	34.8
Eisen	80
Gold	312
Kupfer	390
Messing	79
Nickel	81
Platin	70.1
Quarzglas	1.39
Silber	428
Wolfram	177
Zink	112
Zinn	64
Eis	2.2

λ : Wärmeleitfähigkeit in $\frac{W}{m \cdot ^\circ C}$

Aus der nebenstehenden Tabelle wird ersichtlich, dass Silber, Gold, Aluminium und Kupfer gute Wärmeleiter sind. Da Silber, Gold und Kupfer jedoch teure Stoffe sind, sind sie für meinen Solarofen ungeeignet. Daher habe ich mich für Aluminium als Material für die Kochmulde entschieden. Metalle sind generell gute Wärmeleiter. Kunststoffe oder Holz eignen sich nicht, da sie hohen Temperaturen nicht standhalten können. Ferner ist Aluminium korrosionsbeständig.⁵

Thermische Daten für Feststoffe, Tab. 1

³ Vgl. Bremm-Gerhards (1991, S. 37)

⁴ Vgl. Bremm-Gerhards (1991, S. 38)

⁵ Vgl. Bremm-Gerhards (1991, S. 38)

Darstellung der beiden Seitenwände der Kochmulde

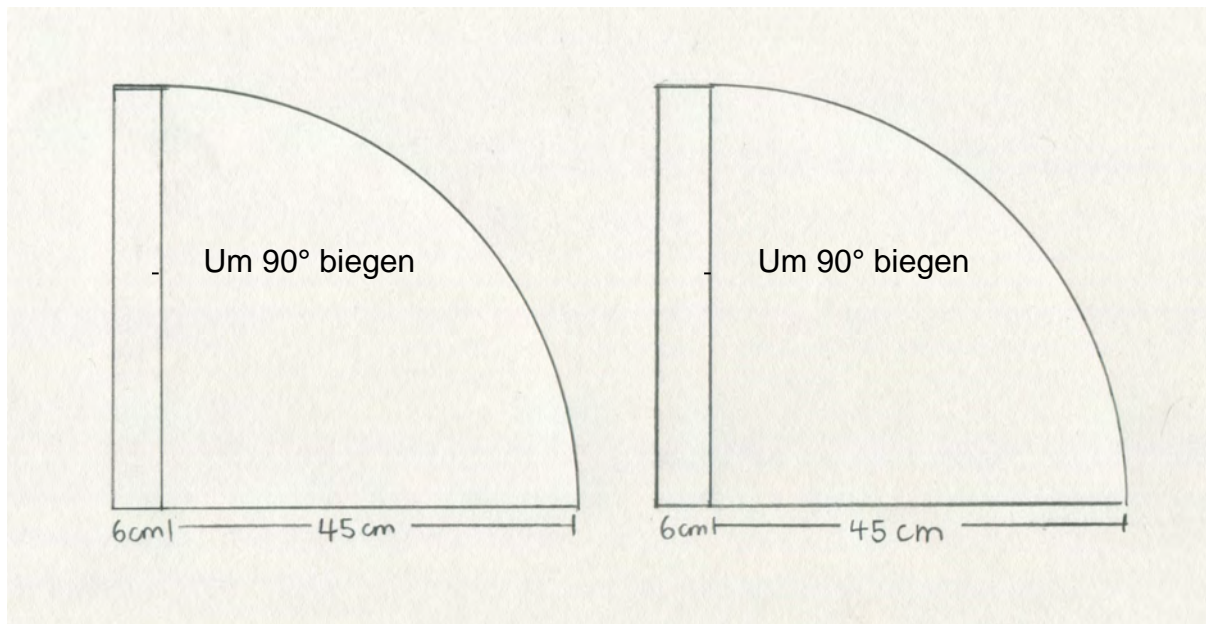


Abb. 2, gezeichnet im Maßstab 1:8

Den Umfang der beiden Viertelkreise habe ich berechnet, um die Masse der dritten Aluminiumplatte zu bestimmen. Diesen habe ich folgendermaßen berechnet:

$$\frac{2 \times \pi \times 45 \text{ cm}}{4} = 70,67 \text{ cm}$$

Darstellung der mittleren Wand der Kochmulde

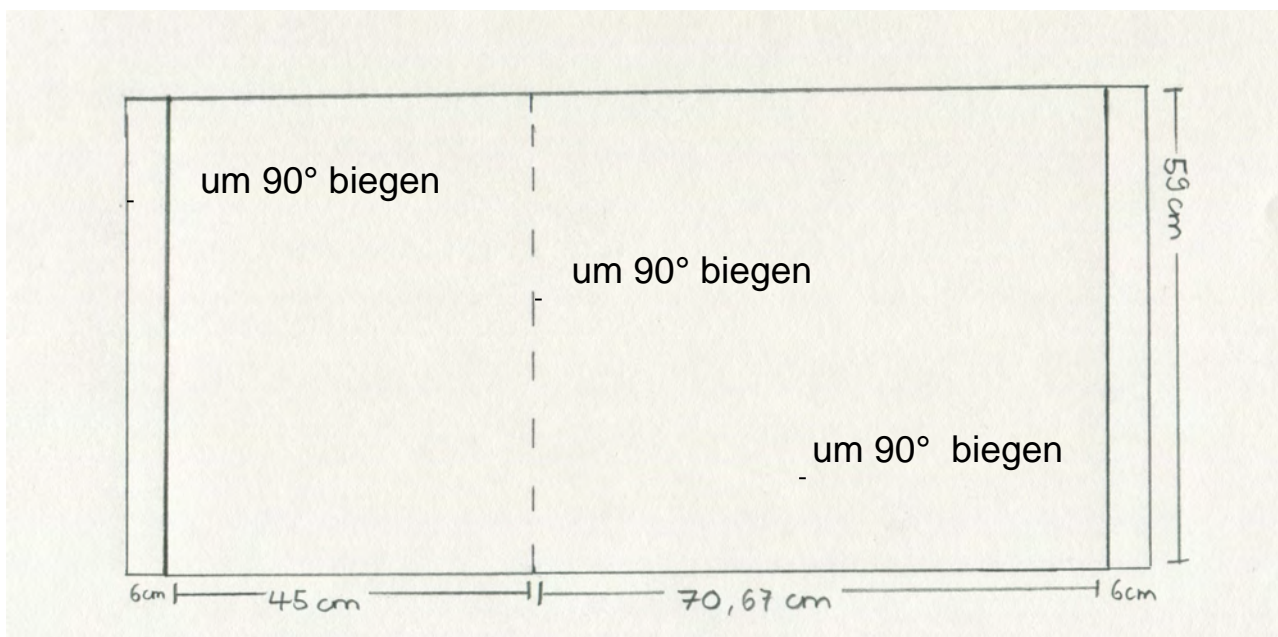


Abb. 3, gezeichnet im Maßstab 1:8

Die Länge der Aluminiumplatte ergibt sich aus folgenden Massen:

- dem 45 cm langen Radius der beiden Seitenteile
- dem 70,67 cm langen Umfang
- und den jeweils 6 cm breiten Zugaben

Die 6 cm resultieren aus der 4 cm breiten Steinwolle und dem circa 2 cm breiten Holz. Diese Zugabe ist dafür gedacht, dass ich diese 6 cm später im rechten Winkel aufbiege, um die Seitenwände an dem Holz fest zu nageln und somit die Kochmulde am Holz zu befestigen.

Um sicher zu gehen, dass sich bei meiner Skizze der Kochmulde keine Fehler eingeschlichen haben, habe ich ein Modell aus Karton im Maßstab 1:1 angefertigt.



Abb. 4

Um Aluminiumplatten mit den Massen 127,67 cm x 59 cm und 51 cm x 51 cm zu besorgen, habe ich bei diversen Baumärkten angerufen. Ich habe nachgefragt, ob diese Geschäfte Aluminiumplatten mit diesen Massen verkaufen und wenn nein, ob sie solche bestellen könnten. Leider hat man bei keinem Baumarkt in Basel die Möglichkeit, Aluminiumplatten nach Maß zu kaufen. Deshalb habe ich im Internet nach einem Laden in Basel gesucht, der solche Platten verkauft. Schließlich bin ich bei meiner Recherche auf den „Metallladen“ in Münchenstein gestoßen. Dort bin ich dann hingegangen und habe verschiedene Stärken von Aluminiumplatten begutachtet. Es gab Platten mit Stärke 0,5 mm, 0,8 mm und 1,3 mm. Da die Platte stabil sein sollte, habe ich mich für die Stärke 0,8 mm entschieden. Ein Mitarbeiter im „Metallladen“ hat mir erklärt, dass das Material automatisch stabiler wird, wenn ich die Aluminiumplatten miteinander zur Kochmulde verbinde.

Zuerst mussten die Aluminiumplatten, mithilfe einer Maschine, auf meine gewünschte Masse zugeschnitten werden. Anschließend wurden mir die 90° Winkel mit der unten abgebildeten Maschine aufgebogen.



Abb. 5

Ursprünglich bin ich davon ausgegangen, dass ich die drei Aluminiumplatten miteinander an den Nahtstellen verschweißen muss. Der Mitarbeiter aus dem „Metallladen“ hat mir den Rat gegeben, die Aluminiumplatten miteinander zu vernieten. Da ich noch nie in meinem Leben etwas genietet habe, habe ich mir im Baumarkt eine Nietzange und Nieten gekauft und mir den Gebrauch erklären lassen. Folgende Werkzeuge habe ich für den Bau der Kochmulde verwendet: eine Nietzange, eine Metallschere, eine Bohrmaschine, mehrere Zwingen und Zulagen, einen Hammer, eine Aale, ein Stück Draht, einen Bleistift, ein Geodreieck und ein Lineal.



Abb. 6

Als erstes habe ich bei beiden Seitenwänden den Viertelkreis eingezeichnet. Da ich keinen Zirkel besitze, bei dem man einen Radius von 45 cm einstellen könnte, habe ich einen fest gespannten Draht zu Hilfe genommen. Beim einen Ende des Drahtes habe ich eine kleine Schlaufe gemacht. Durch das Loch der Schlaufe habe ich eine Aale beim Mittelpunkt des Viertelkreises gestoßen. Da ich nicht gleichzeitig mit dem

einen Ende des Drahtes den Umfang des Viertelkreises zeichnen und mit dem anderen Ende die Aale halten konnte, hat mir ein Familienmitglied dabei geholfen.



Abb. 7

Danach habe ich den Viertelkreisumfang bei beiden Platten mit der Metallschere ausgeschnitten.



Abb. 8

Am Aluminiumrand, der später zur Rundung geformt und genietet wird, habe ich mehrere Zacken angezeichnet. Diese Zacken waren nötig, um die Rundung überhaupt zu ermöglichen. Ich habe sie anschließend ausgeschnitten und an der Markierung in der Mitte ein Loch für die Niete vorgebohrt. Die Zacken haben eine Länge von 3 cm.

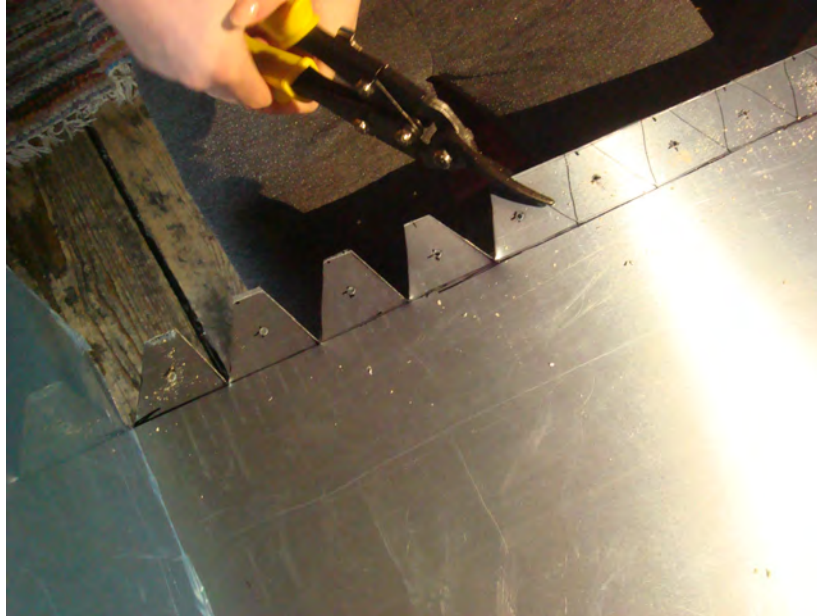


Abb. 9

Entlang der Markierungslinie habe ich mithilfe von Zwingen und zwei Holzleisten das Aluminium mit einem Hammer um 90° aufgebogen.



Abb. 10



Abb. 11

Den Teil des Aluminiumblechs, der keine Zacken hat, habe ich mit der gleichen Methode um 90° aufgebogen.



Abb. 12

Im Anschluss habe ich Löcher für die Niete vorgebohrt. Dann habe ich die vorgebohrten Löcher der mittleren Wand und die der Seitenwand übereinander gelegt und die Löcher mit der Nietzange vernietet, um die beiden Seitenwände mit der mittleren Wand zu verbinden.



Abb. 13

Das folgende Bild zeigt die fertig gebaute Kochmulde.

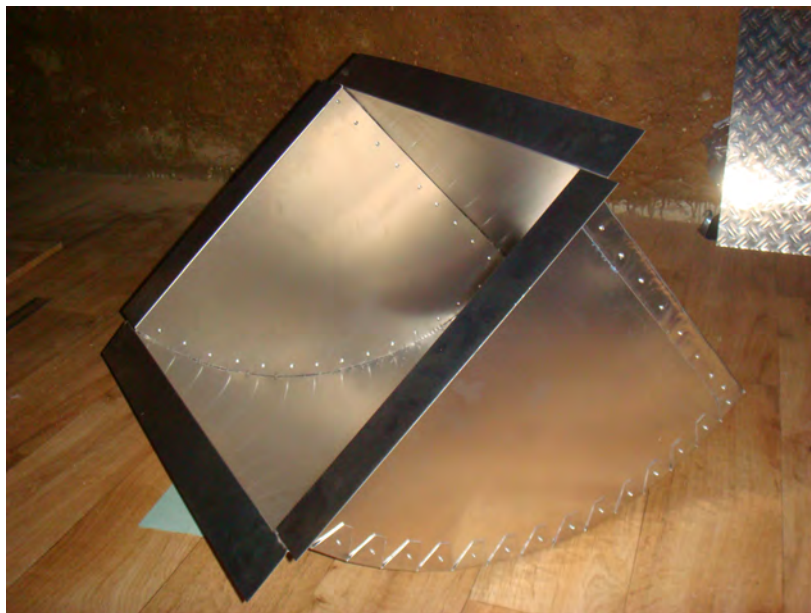


Abb. 14

3. 2. 2. Holzplatten für die Außenhülle

Für die Außenhülle des Solarofens eignen sich viele Materialien. Ich habe mich für eine Tischlerplatte aus Buchenholz mit der Stärke 2 cm entschieden. Dieses Holz habe ich ausgesucht, da es nicht allzu schwer ist und sich leicht bearbeiten lässt.

Darstellung der beiden Seitenplatten

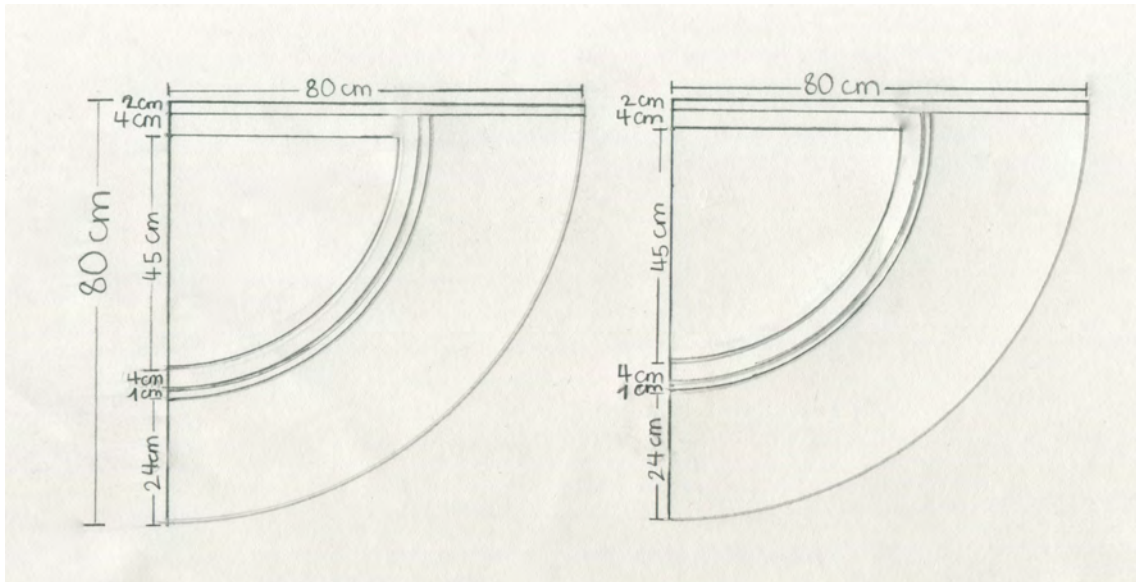


Abb. 15, gezeichnet im Maßstab 1:10

Die 80 cm für den Radius des Viertelkreises der Holzplatten setzen sich wie folgt zusammen:

- 45 cm (Radius der Aluminiumkochmulde)
- 2 x 4 cm (Dicke des Isoliermaterials)
- 2 cm (Höhe der mittleren Holzplatte)
- 1 cm (Höhe der Holzlatte)
- 24 cm (Höhe, damit die Spiegelreflektoren nicht den Boden berühren)

Darstellung der mittleren Holzplatte

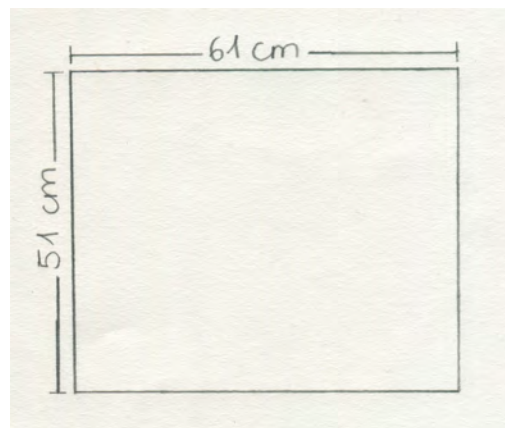


Abb. 16, gezeichnet im Maßstab 1:10

Die 61 cm setzen sich zusammen aus:

- der 53 cm breiten Metallmulde
- der Dicke des Isoliermaterials auf beiden Seiten der Metallmulde (2 x 4 cm)

Die 51 cm setzten sich zusammen aus:

- dem 45 cm Radius des Viertelkreises
- des 4 cm dicken Isoliermaterials
- der 2 cm hohen Holzplatte

Im Baumarkt habe ich zwei quadratische Holzplatten mit den Massen 80 cm x 80 cm und eine Holzplatte mit den Massen 61 cm x 51 cm bestellt.

Zur Bearbeitung der Holzplatten habe ich folgende Werkzeuge verwendet: einen Schraubenzieher, einen Bohrer, eine Stichsäge, Holzleim, mehrere Schleifpapiere, eine Aale, einen Draht, ein Lineal und einen Bleistift.



Abb. 17

Um den Viertelkreisumfang zu markieren, habe ich dieselbe Methode wie die bei der Aluminiumplatte verwendet.



Abb. 18



Abb. 19

Anschließend habe ich die Holzteile mit der Stichsäge ausgesägt.



Abb. 20

Da sich aus den runden Seitenteilen viel Restholz ergeben hat, habe ich dieses verwendet, um daraus zwei gebogene Holzteile auszuschneiden. Darauf werde ich dann später die Holzlatten für den runden Boden anleimen.



Abb. 21

Im Baumarkt habe ich Gipserratten eingekauft, welche eine Breite von 2,4 cm und eine Höhe von circa 1 cm hatten.

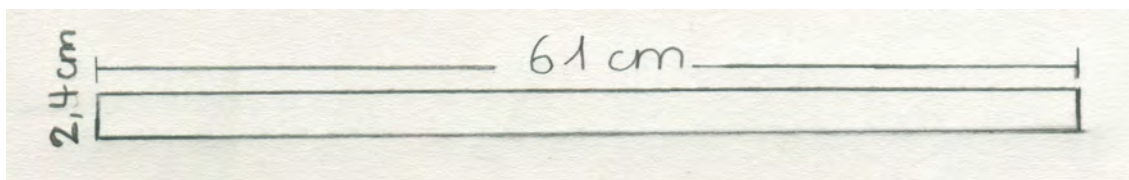


Abb. 22, gezeichnet im Maßstab 1:5

Diese habe ich auf die Länge 61 cm abgeschnitten. Die Anzahl dieser Latten habe ich folgendermaßen berechnet. Zuerst habe ich den Umfang des Viertelkreises berechnet, in dem die Holzlatten später angeleimt werden. Für den Radius habe ich 49 cm genommen. Die 49 cm setzen sich aus den 45 cm von dem Radius der Aluminiumplatte und den 4 cm (Stärke der Steinwolle) zusammen.

$$\frac{2 \times \pi \times 49 \text{ cm}}{4} = \sim 77 \text{ cm}$$

$$\frac{77 \text{ cm}}{2,4 \text{ cm}} = \sim 32$$

Nach dieser Berechnung habe ich 32 Holzlatten auf die benötigte Länge von 61 cm mit der Stichsäge zugeschnitten.

Bei jeder Holzlatte habe ich am Rand eine Kennzeichnung markiert, damit ich später dort die Löcher bohren kann.

Mit Holzleim habe ich die runden Holzteile angeklebt und zusätzlich mit 4 Schrauben fixiert.



Abb. 23

Im folgenden Bild ist eine der zwei Seitenwände abgebildet.



Abb. 24

Danach habe ich die drei Holzplatten mit mehreren Schrauben miteinander verbunden.

Im Anschluss daran habe ich alle Holzplatten an beiden Enden vorgebohrt. Mit etwas Holzleim habe ich sie auf beiden Seiten an die Seitenwände angeleimt und angeschraubt.



Abb. 25

Das folgende Bild zeigt die fertig gebaute Außenhülle.



Abb. 26

3. 2. 3. Holzrahmen für den Deckel

Abgeleitet von den Massen der Kochmulde, habe ich die Längen des Holzrahmens bestimmt. Die äußeren Masse betragen 64,5 cm x 57 cm. Die inneren Masse betragen 45,5 cm x 53 cm. Ich habe mir im Baumarkt eine Holzlatte in vier Teile auf Gehrung sägen lassen. Diese werde ich später zu einem Rahmen verleimen. Im Keller habe ich einen Rahmenverleimspanner gefunden. Dieser besteht aus vier gelben Plastikwinkeln, die man mit einer Schnur verbinden kann, damit sich der Rahmen rechtwinklig verleimen lässt. Damit die Schnur einen starken Druck durch Zug ausübt, habe ich sie, mithilfe einer Schraube, verdreht. Diese habe ich dann mit einer Zwinge am Rahmen befestigt, wie auf dem Foto ersichtlich ist.



Abb. 27

Als Distanzhalter für die beiden Glasscheiben, habe ich eine Holzleiste in die Mitte der Innenseite des Holzrahmens mit mehreren Zwingen angeleimt.



Abb. 28

Zur Verstärkung habe ich noch an jeder Ecke des Holzrahmens einen Metallwinkel mit jeweils vier Schrauben angebracht.

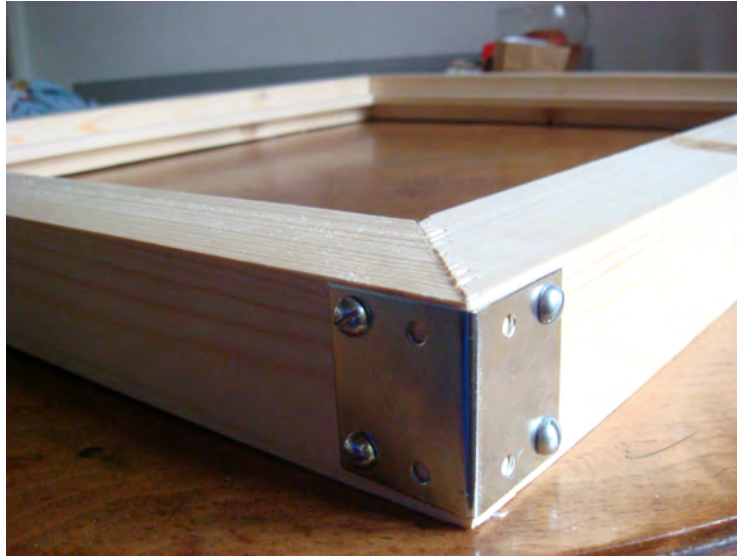


Abb. 29

Damit die Glasscheiben im Rahmen gehalten werden, habe ich noch 8 Dreiecksleisten, mithilfe einer Gehrungslade, zurechtgeschnitten. Mit diesem Hilfsmittel habe ich die Säge am markierten Punkt angesetzt und die Leisten in den passenden Winkel (45°) gesägt.



Abb. 30

Anschließend habe ich 4,5 cm breite Streifen aus Filz ausgeschnitten und sie mit Holzleim an die Unterseite des Rahmens angeklebt. Dies habe ich zur Abdichtung des Solarofens gemacht. Diese Idee habe ich von der Selbstbauanleitung von Ulrich Oehler übernommen.



Abb. 31

3. 2. 4. Abstellfläche für das Kochgut

Da der Solarofen einen runden Boden hat, kann ich das Kochgefäß nicht einfach auf den Boden stellen. Als Vorrichtung, damit die Pfanne bei allen Winkeleinstellungen in einer horizontalen Stellung stehen bleibt, habe ich eine Schaukel als Ablage für das Kochgut eingebaut. Die Abstellfläche, auf der das Kochgut steht, ist an beiden Seiten der Kiste angeschraubt.

Das Material soll, genauso wie die Kochmulde, ein guter Wärmeleiter sein. Also habe ich mich wieder für Aluminium entschieden. Da die Ablage für das Kochgut schwere Lasten tragen muss, habe ich mich für eine Aluminiumplatte der Stärke 1,3 mm entschieden.

Die Ablage für das Kochgut ist 50 cm lang. So habe ich links und rechts zwischen der Ofenwand und der Schaukelauflage 1,5 cm Abstand. Diesen Freiraum musste ich frei lassen, denn die Ablage darf die beiden Seitenwände der Kochmulde nicht berühren, damit sie sich frei bewegen kann. Für die Breite der Ablage der Kochmulde habe ich 25 cm gewählt. Dieses Maß habe ich gewählt, weil die Solarofenpfanne 25 cm breit ist.

Darüberhinaus könnte man mit diesen Massen auch ein Kuchenblech in den Ofen stellen. An beiden Seiten der Aufhängung befindet sich jeweils ein gleichschenkliges Dreieck. Dieses hat eine Höhe von 16 cm.

Das Aluminium habe ich wieder im „Metalladen“ in Münchenstein besorgt. Der Mitarbeiter aus dem Laden hat mir das Metall mithilfe einer Maschine auf beiden Seiten im rechten Winkel aufgebogen.

Darstellung der Abstellfläche für das Kochgut

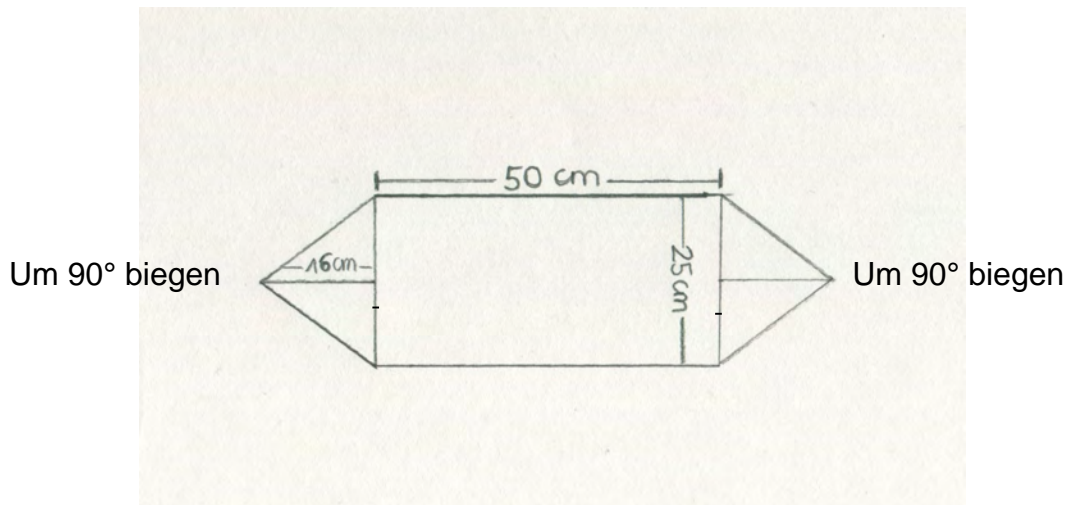


Abb. 32, gezeichnet im Maßstab 1:10

Damit die Abstellfläche für das Kochgut bei allen Winkeleinstellungen nirgends anstößt, habe ich den Drehpunkt an einer passenden Stelle gewählt.

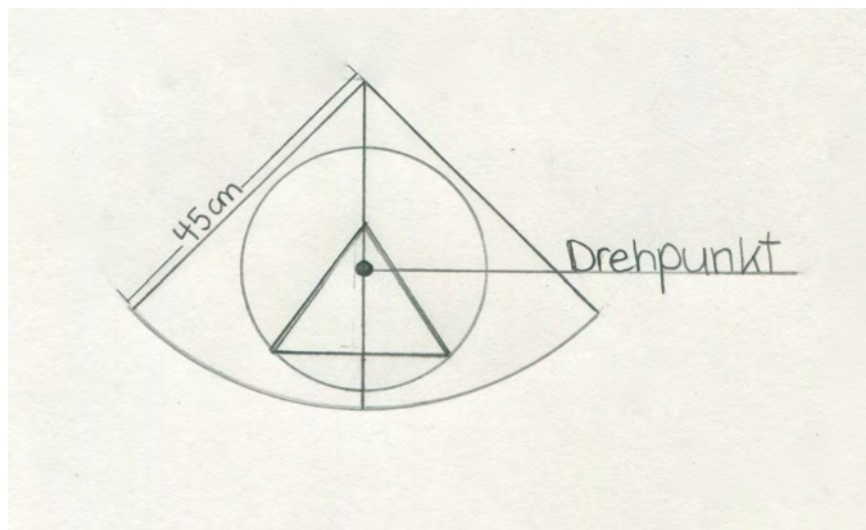


Abb. 33, gezeichnet im Maßstab 1:10

Auf der Abbildung wird ersichtlich, dass die Ablage für das Kochgut bei allen Winkeleinstellungen innerhalb der Viertelkreisfläche der Kochmulde bleibt. Das Loch für die Schraube habe ich ermittelt, indem ich die obenstehende Abbildung im Maßstab 1:1 auf einem transparenten Papier nachgezeichnet, auf den Viertelkreis der Kochmulde gelegt und den Drehpunkt mit einer Aale durchgestochen habe.

Auf beiden Seiten der Abstellfläche für das Kochgut habe ich zwei Löcher vorgebohrt, damit ich dort später die beiden Schrauben montieren kann.

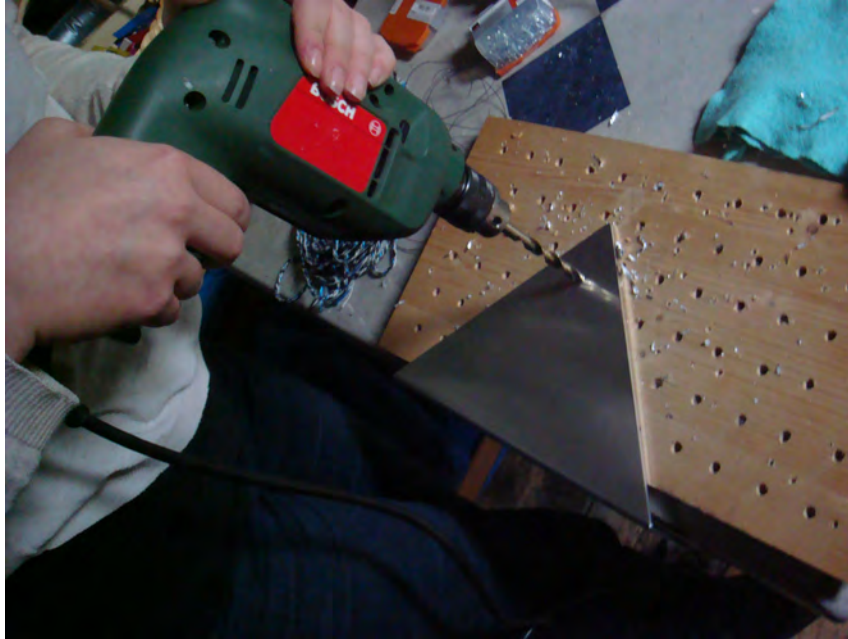


Abb. 34

Als Nächstes habe ich zur Abdichtung der Lücken zwischen den Holzlatten den runden Boden des Solarofens mit Papier zugekleistert.

Angesichts der Tatsache, dass die beiden Schrauben, an denen ich später die Abstellfläche für das Kochgut befestige, die erzeugte Wärme aus dem Solarofen in die hölzerne Außenhülle leiten würde, habe ich zum Schutz des Holzes, an beiden Stellen an den Seitenwänden der Außenhülle eine Resopalplatte montiert. Ich habe zwei Platten Resopal an jeweils ein viereckiges Holzstück angeschraubt. Resopal ist ein Material, das sehr hohen Temperaturen standhält. Das Material habe ich beim Zuschneideservice im Baumarkt entdeckt.



Abb. 35

Dort, wo ich später die beiden Schrauben für die Ablage des Kochgutes befestige, habe ich in beide Resopalplatten ein Loch für die Schrauben vorgebohrt.



Abb. 36

3. 2. 5. Isoliermaterial

Der Solarofen soll sehr gut isoliert sein, damit die Wärmeenergie während des Kochens im Ofen bleibt und nicht an die Umgebung abgegeben wird. Damit die erwärmte Luft beim Kochvorgang nicht zur Außenhülle gelangt, muss der Zwischenraum, zwischen Kochmulde und Außenhülle, mit Isoliermaterial ausgefüllt sein.

Das Isoliermaterial sollte im Gegensatz zur Kochmulde ein Isolator sein und somit kein guter Wärmeleiter. Metalle kommen daher nicht infrage. Die Isolierung sollte nicht gepresst sein. Sie sollte weich und biegsam sein, da der Boden meines Solarofens eine runde Form hat, die auch mit Isoliermaterial ausgekleidet werden muss.

Zur Isolation des Solarofens habe ich Steinwolle verwendet. Steinwolle ist eine Art Mineralwolle und hat eine niedrige Wärmeleitfähigkeit. Der Wert beträgt 0,030 bis $0,050 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{°C}}$. Steinwolle entzündet sich nicht, da sie Temperaturen über 1000 °C standhält. Ferner verfügt Steinwolle über eine gute Wärmespeicherfähigkeit und ist widerstandsfähig gegen Schimmel und Fäulnis.⁶ Das ist von Vorteil, falls einmal Feuchtigkeit aus der Kochmulde in die Isolationsschicht dringen sollte.

Da man Steinwolle hauptsächlich zur Isolierung von Häusern verwendet, kann man Steinwolle in den Baumärkten nur in größeren Mengen einkaufen. Ein Baugeschäft hat mir für meine Arbeit freundlicherweise vier Steinwollstücke mit den Massen 100 cm x 62 cm x 4 cm gratis zur Verfügung gestellt.

⁶ <http://www.flumroc.ch/steinwolle/eigenschaften/> (13.9.2015)

Die Zuschnitte, für die ich Schnittvorlagen angefertigt habe, habe ich mit einer großen Haushaltsschere zugeschnitten.
Danach habe ich den Ofen mit den Steinwollteilen ausgekleidet und die Kochmulde an der hölzernen Außenhülle angeschraubt.



Abb. 37



Abb. 38

Anschließend habe ich die Innenwände mit mattschwarzem Solarlack bemalt. Hierbei handelt es sich um einen hochabsorbierenden Lack. Er ist speziell für Sonnenkollektoren gedacht, der sich aber auch gut für Solaröfen eignet. Er enthält ausschließlich umweltfreundliche, mineralische Grundstoffe und lösungsmittelfreie Bindemittel auf Wasserbasis. Den Solarlack habe ich über das Internet auf www.solarfood.de bestellt. Er hat die Funktion, dass möglichst viele Sonnenstrahlen in der Kochmulde absorbiert werden.



Abb. 39

3. 2. 6. Die Spiegelreflektoren

Da die Erde in ihrer Umlaufbahn um die Sonne ständig in Bewegung ist, verändert sich der Blickwinkel auf die Sonne andauernd. Aus diesem Grund ist es unerlässlich, den Solarofen dem Sonnenstand nachzuführen, um die Empfangsfläche der Sonne möglichst profitabel einzustellen.

Wenn die Sonnenstrahlen senkrecht auf die Fensterscheiben auftreffen, ist die Strahlung am energiereichsten.

Darüberhinaus haben eine Vielzahl von Faktoren Einfluss auf die effiziente Nutzung der Sonnenenergie. Eine wichtige Rolle spielen dabei die Tageszeit, die Jahreszeit, das Klima und die geografische Lage.⁷

Um meinen Solarofen so zu konstruieren, damit möglichst viele Strahlen eingefangen werden können, muss ich wissen, wie groß der optimale Öffnungswinkel der Reflektoren in Abhängigkeit zu den einfallenden Sonnenstrahlen sein muss. Die Strahlen sollen genau auf das Glas reflektiert werden und nicht auf die gegenüberliegenden Reflektoren.

⁷ Vgl. Bremm-Gerhards (1991, S. 27)

Der Winkel der Reflektoren bleibt bei meinem Ofen immer konstant, da die runde Form es erlaubt, den Solarofen dem Sonnenstand anzupassen. Den geeigneten Winkel für die Reflektoren habe ich durch konstruieren ermittelt. Der Einfallswinkel α , der Sonnenstrahlen, ist gleich dem Ausfallswinkel. Bei dem optimalen Winkel sollte der äußerste Sonnenstrahl S_1 ungefähr in die Mitte der Glasscheibe des Solarofens einfallen. Würde ich den Winkel β nur um wenige Grade ändern, so würde der Sonnenstrahl S_1 beim gegenüberliegenden Reflektor zurückgespiegelt werden.

Schematische Darstellung der Spiegelreflektoren

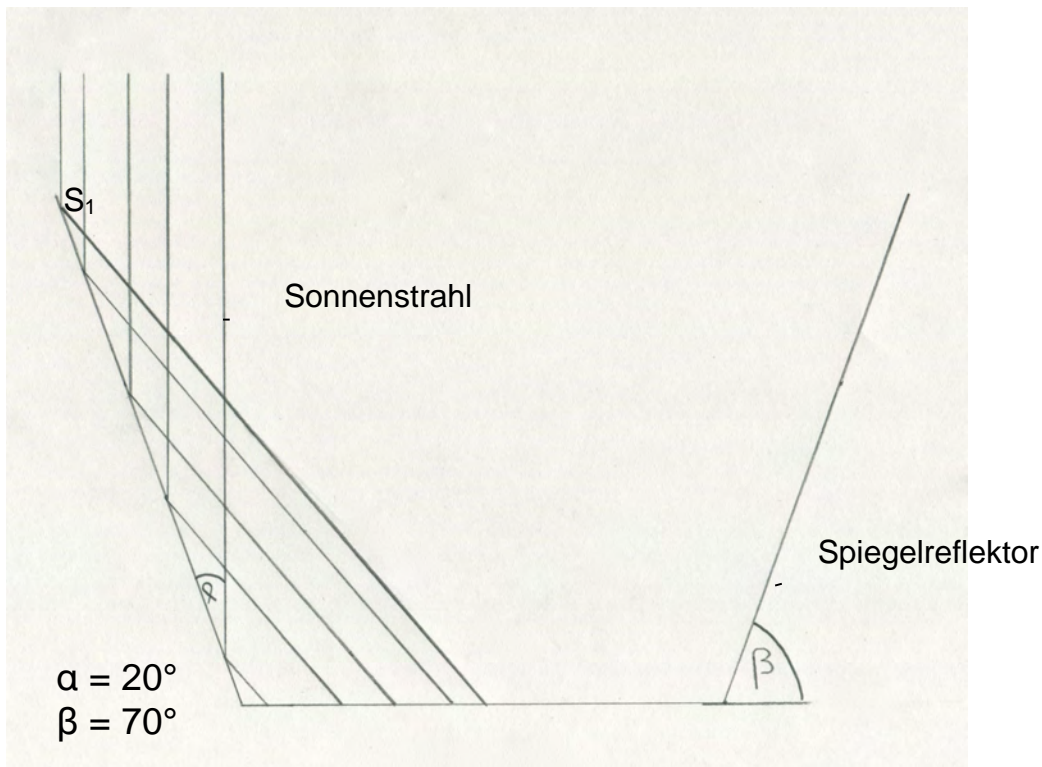


Abb. 40, gezeichnet im Maßstab 1:5

Der optimale Winkel der Reflektoren beträgt also 70° . Auf die Idee, vier, anstatt einen Spiegelreflektor zu konstruieren, bin ich gekommen, als ich im Internet nach Solarkochern gesucht habe. Ich bin auf die Website <http://www.movisol.ch> gestoßen. Dort habe ich erstmals ein Modell gesehen, das mit vier Spiegelreflektoren versehen ist. Solarkocher mit vier Spiegelreflektoren haben kürzere Kochzeiten im Vergleich zu Solarkochern mit nur einem Spiegel. Auf den folgenden Seiten erläutere ich, wie ich die geeigneten Masse der Spiegelreflektoren berechnet habe. Die Spiegelfolie, mit der ich später die Reflektoren überziehen werde, hat eine Breite von circa 50 cm. Aus diesem Grund habe ich 50 cm für die Höhe der Spiegelreflektoren gewählt. Nun muss ich noch die Höhe X_1 , die Länge X_2 (siehe Abb. 42) und die Längen der Seiten der Spiegelreflektoren (siehe Abb. 44 und 45) berechnen.

Skizze der vier Spiegelreflektoren

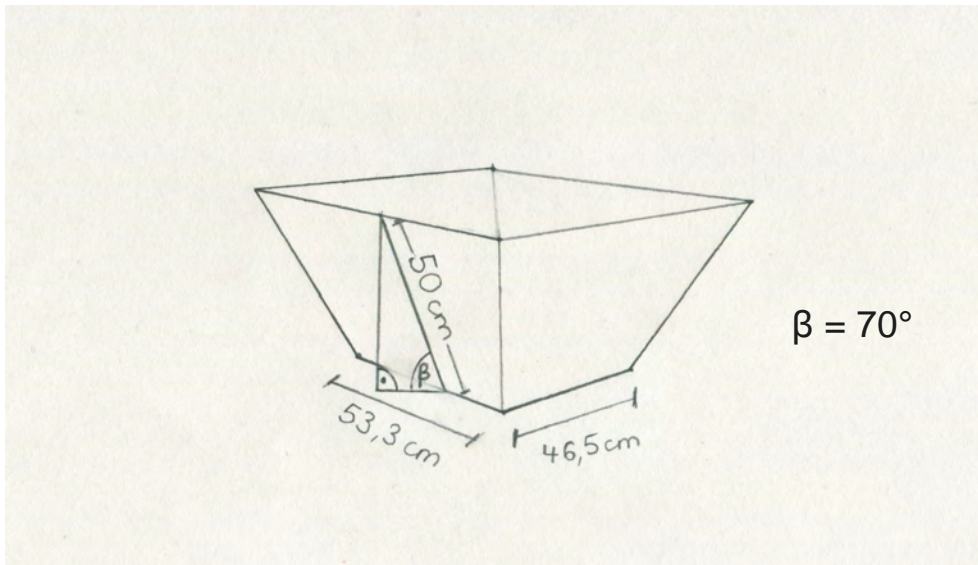


Abb. 41

X_1 und X_2 habe ich mithilfe von trigonometrischen Funktionen im rechtwinkligen Dreieck ermittelt.

$$\frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Hypotenuse}} = \sin(\beta)$$

$$\beta = 70^\circ$$

$X_1 = \text{Gegenkathete von } \beta$
 $X_2 = \text{Ankathete von } \beta$
 $50 \text{ cm} = \text{Hypotenuse}$

$$\rightarrow \sin(\beta) \times \text{Hypotenuse} = \text{Gegenkathete}$$

$$\rightarrow \sin(70^\circ) \times 50 \text{ cm} = 47 \text{ cm} = X_1$$

$$\frac{\text{Ankathete}}{\text{Hypotenuse}} = \cos(\beta)$$

$$\rightarrow \cos(\beta) \times \text{Hypotenuse} = \text{Ankathete}$$

$$\rightarrow \cos(70^\circ) \times 50 \text{ cm} = 17 \text{ cm} = X_2$$

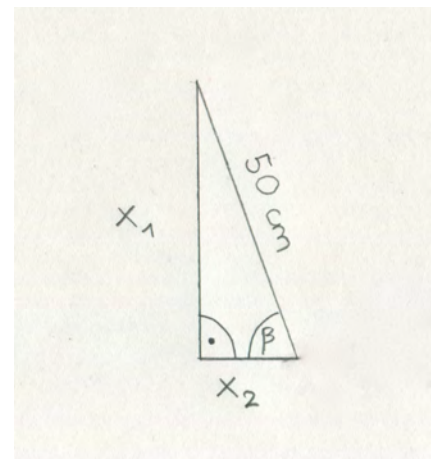


Abb. 42, gezeichnet im Maßstab 1:10

Da nun die Längen X_1 und X_2 bestimmt sind, muss ich noch die Länge der äußeren Kanten des Trichters bestimmen. Dies habe ich folgendermaßen gemacht: Ich habe mir vorgestellt, dass die Länge X_2 multipliziert mit sich selbst an der Ecke der Spiegelreflektoren die quadratische Grundfläche eines Quaders bildet. Die gesuchte Länge ist nun die Raumdiagonale des Quaders. Diese lässt sich einfach mit der folgenden Formel für die Raumdiagonale eines Quaders berechnen.

Skizze der vier Spiegelreflektoren mit dem Quader

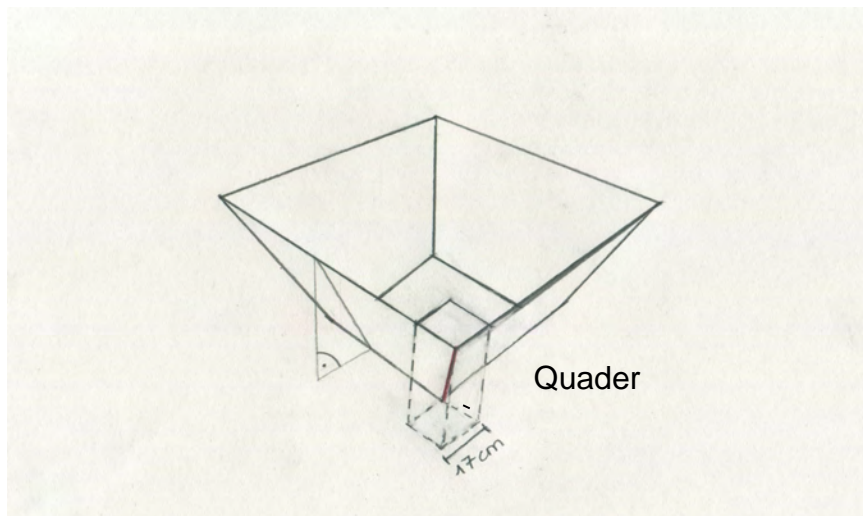


Abb. 43

Hier handelt es sich um einen speziellen Quader, der genauso breit wie tief ist, a ist demnach gleich groß wie b . Es ist ein Quader mit quadratischer Grundfläche. Folglich kann ich in die Formel für a dieselbe Zahl wie für b einsetzen.

Formel für die Berechnung der Länge der Raumdiagonalen eines Quaders:

$$D = \sqrt{a^2 + b^2 + h^2}$$

$$\rightarrow a = b = 17 \text{ cm} = X_2$$

$$\rightarrow h = 47 \text{ cm} = X_1$$

$$\rightarrow \sqrt{17^2 \text{ cm} + 17^2 \text{ cm} + 47^2 \text{ cm}} = 52,8 \text{ cm}$$

Die Länge der Raumdiagonalen beträgt 52,8 cm. Anhand dieser Information weiß ich nun, dass ich die Seite des Holzes der Spiegelreflektoren auf die Länge 52,8 cm abschneiden muss.

Die Form der Spiegelreflektoren bilden gleichschenklige Trapeze. Nun muss ich noch die zwei letzten gesuchten Längen berechnen, nämlich die beiden oberen Längen l_1 und l_2 .

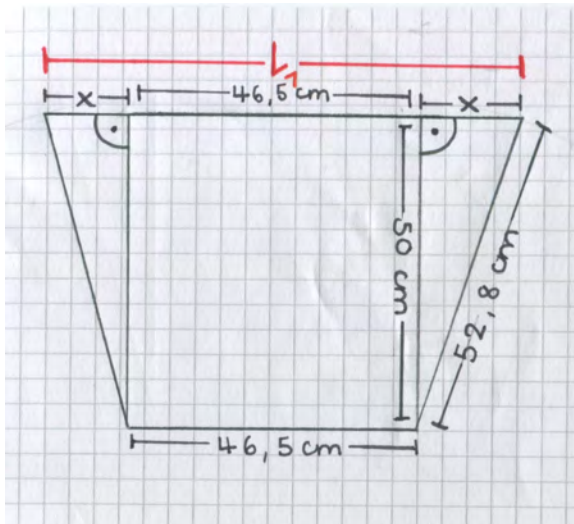


Abb. 44, gezeichnet im Maßstab 1:10

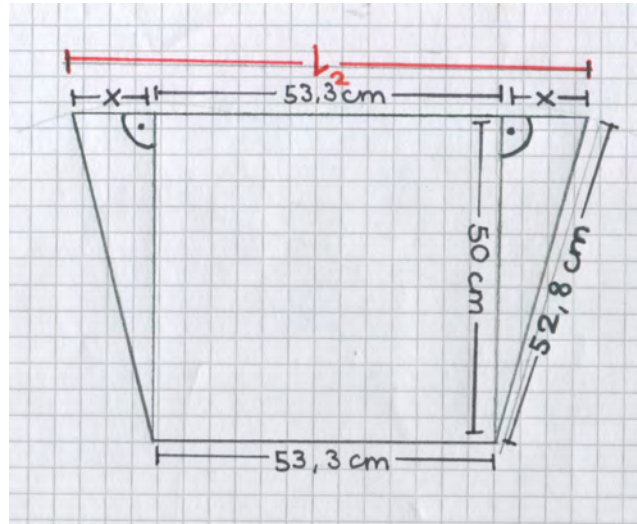


Abb. 45, gezeichnet im Maßstab 1:10

Zunächst berechne ich x mit dem Satz des Pythagoras.

Satz des Pythagoras:

$$a^2 + b^2 = c^2$$

$$\rightarrow a = x$$

$$\rightarrow b = 50 \text{ cm}$$

$$\rightarrow c = 52,8 \text{ cm}$$

$$\rightarrow x^2 + (50)^2 \text{ cm} = (52,8)^2 \text{ cm}$$

$$\rightarrow x = \sqrt{(52,8)^2 \text{ cm} - (50)^2 \text{ cm}}$$

$$\rightarrow x = 16,96 \text{ cm}$$

Da x jetzt bekannt ist, kann ich die Längen l_1 und l_2 berechnen.

$$l_1 = (2 \times x) + 46,6 \text{ cm}$$

$$\rightarrow l_1 = (2 \times 16,96 \text{ cm}) + 46,6 \text{ cm}$$

$$\rightarrow l_1 = 80,5 \text{ cm}$$

$$l_2 = (2 \times x) + 53,3 \text{ cm}$$

$$\rightarrow l_2 = (2 \times 16,96 \text{ cm}) + 53,3 \text{ cm}$$

$$\rightarrow l_2 = 87,22 \text{ cm}$$

Nachdem ich alle gesuchten Masse berechnet hatte, habe ich das Holz eingekauft. Vorsichtshalber habe ich ein Modell der Spiegelreflektoren im Maßstab 1:10 angefertigt, um zu überprüfen, ob ich richtig gerechnet hatte.

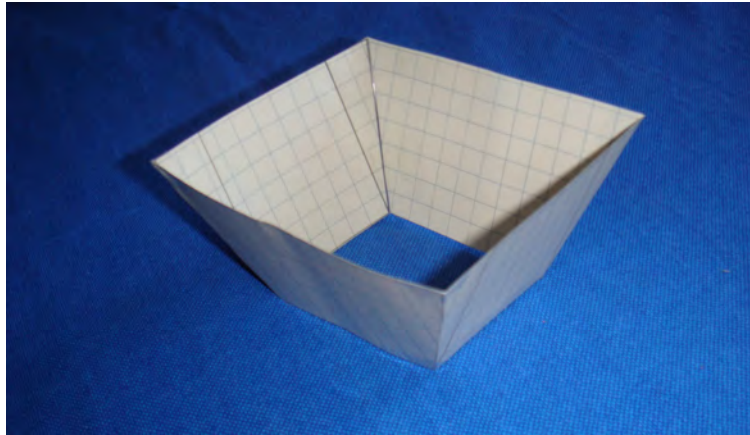


Abb. 46

Das Holz für die Spiegelreflektoren soll möglichst dünn sein, da der Solarofen nicht allzu schwer werden soll. Außerdem soll das Holz ziemlich eben sein, damit die Sonnenstrahlen nicht in die falsche Richtung abgelenkt werden. Dünnes Holz ist meistens instabil und hat immer einen kleinen Durchhang. Daher sind meine Spiegelreflektoren auch nicht völlig eben.

Ich habe mich für Pappelsperrholz der Stärke 4 mm entschieden, da Pappelsperrholz zu den stabilsten Hölzern gehört. Das hat mir ein Mitarbeiter aus dem Baumarkt erklärt.

3. 2. 7. Holzrahmen für die Spiegelreflektoren

Damit der Solarofen gut transportabel ist, habe ich mich dafür entschieden, den Ofen so zu bauen, dass man den Rahmen für die Spiegelreflektoren vom Solarofen abnehmen kann. Für den Rahmen habe ich im Baumarkt eine Holzlatte gekauft, die ich wieder in vier Teile auf Gehrung gesägt habe. Beim Zusammenleimen habe ich dieselbe Methode wie beim Glasrahmen angewendet.



Abb. 47

Ich habe eine Holzleiste in vier Teile gesägt und an der Innenkante des Rahmens angeleimt, damit die abnehmbaren Spiegelreflektoren später dort angestellt werden können.

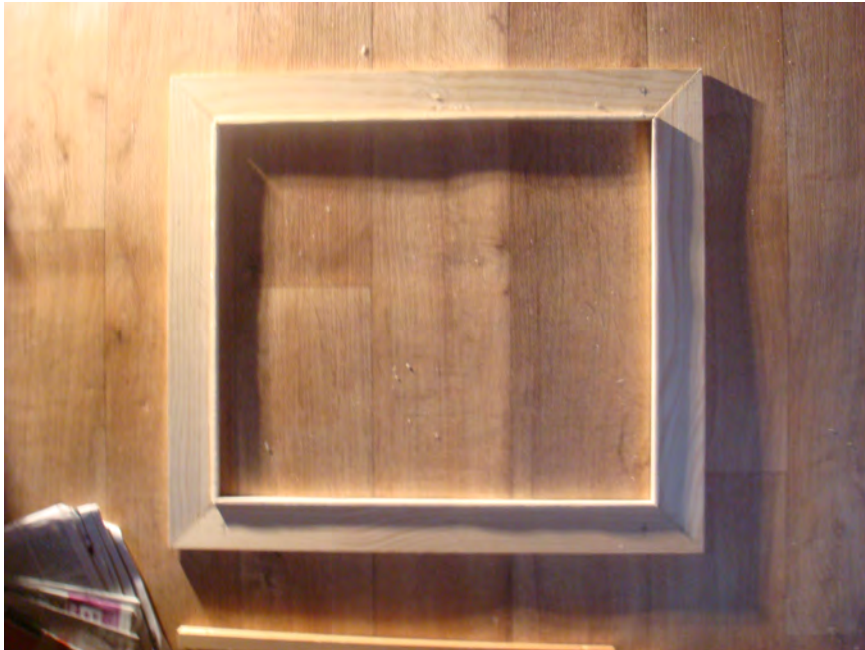


Abb. 48

Anschließend habe ich das Holz für die vier Spiegelreflektoren mit der Laubsäge auf die berechneten Masse zugesägt. Der Reflektorrahmen wird später mit vier Flügelschrauben am Glasrahmen befestigt und ist somit leicht abnehmbar. Im Anschluss daran habe ich aus Sperrholz 12 Holzstücke mit der Stichsäge ausgesägt. Die Holzstücke sind als Stützen für die Spiegelreflektoren gedacht. Diese haben ebenfalls eine Neigung von 70° . Ich habe sie so konstruiert, dass ich jeden einzelnen Spiegelreflektor vom Rahmen abnehmen kann, um so den Transport sowie die Aufbewahrung des Solarofens zu erleichtern.



Abb. 49

Damit die Reflektoren im 70° Winkel auf den Rahmen zu stehen kommen, habe ich sie auf der Rückseite mit Sperrholzstützen versehen, welche ebenfalls eine Neigung in diesem Winkel aufweisen. Diese Stützen habe ich mithilfe von Holzleim und Schrauben befestigt.



Abb. 50

Damit die Reflektorstützen besser am Rahmen halten, habe ich in der Mitte jeder Stütze und an entsprechender Stelle beim Rahmen ein Loch vorgebohrt. Dort habe ich dann in jedes Loch einen Holzdübel mit etwas Holzleim eingehämmert und den überstehenden Holzdübel mit der Laubsäge abgeschnitten.



Abb. 51

3. 2. 8. Die Glasscheiben

Die Abdeckung des Ofens soll transparent sein, damit die Strahlen optimal einstrahlen können. Für den Rahmen eignet sich, gemäß Ulrich Oehler, Fensterglas gut. Ich habe mich für Fensterglas der Stärke 2 mm entschieden, damit der Rahmen nicht allzu schwer wird.

Einige Sonnenstrahlen werden beim Auftreffen an der Oberfläche des Glases reflektiert, was einen kleinen Energieverlust bedeutet.

Glas ist ein optisch dichteres Material als Luft. Glas hat somit einen höheren Brechungsindex als Luft. Die Sonnenstrahlen werden an den Grenzflächen (die Fläche zwischen zwei Phasen) gebrochen. Sie werden am Glas zum Lot hin gebrochen, da Glas ein optisch dichteres Material als Luft ist. Beim Übergang vom Glas zur Luft werden die Strahlen weg vom Lot gebrochen.

Jede Brechung bedeutet einen kleinen Energieverlust. Bei einer doppelten Verglasung werden die Strahlen zweimal gebrochen. Außerdem müssen die Sonnenstrahlen einen längeren Weg durch das Glas zurücklegen.⁸

Die Fenstergläser erwärmen sich beim Kochen stark. Somit geben sie die Wärmeenergie an die Umgebung ab. Dies bedeutet einen weiteren Energieverlust. Eine Lösung für dieses Problem ist die doppelte Verglasung. Sie fördert den Isoliereffekt, da sich im Zwischenraum der beiden Glasscheiben Luft befindet. Luft ist ein schlechter Wärmeträger, deshalb bleibt die warme Luft größtenteils im Ofen und erwärmt dadurch weniger die Umgebungsluft. Der Energieverlust ist somit etwas gemildert.⁹

Aufgrund des oben genannten Isoliereffekts habe ich mich beim Solarofen, trotz des optischen Strahlungsverlustes, für eine doppelte Verglasung entschieden.

Schematische Darstellung des Weges eines Lichtstrahls in den Solarofen

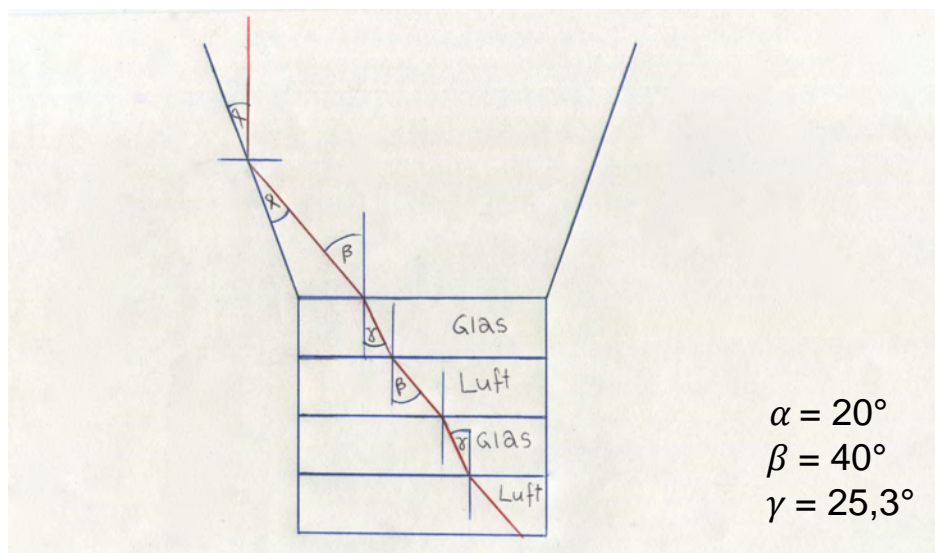


Abb. 52

⁸ Vgl. Müller (2013, S. 112)

⁹ Vgl. Bremm-Gerhards (1991, S. 39)

Die Spiegelreflektoren sind im Maßstab 1:7 gezeichnet. Die Glas- und Luftphasen habe ich, zum besseren Verständnis, vergrößert. Der Lichtstrahl trifft im rechten Winkel auf den Spiegelreflektor auf. Der Einfallswinkel beträgt 20° . Der Lichtstrahl trifft mit dem Winkel $\beta = 40^\circ$ zum Lot auf die Glasfläche auf. Dort wird der Strahl dann mit dem Winkel $\gamma = 25,3^\circ$ zum Lot hin gebrochen. Danach geht der Lichtstrahl durch die Luftphase, wobei der Winkel des gebrochenen Lichtstrahls dem Einfallswinkel auf der Glasfläche entspricht. Anschließend wird der ganze Vorgang wiederholt und der Lichtstrahl muss nochmals eine Glas- und Luftphase durchdringen.

Den Winkel β habe ich abgemessen. Den Winkel γ des gebrochenen Lichtstrahls habe ich mit der folgenden Formel berechnet:

$$\frac{\sin(\beta)}{\sin(\gamma)} = n$$

β : Winkel des einfallenden Lichtstrahls im Gradmaß

γ : Winkel des gebrochenen Lichtstrahls im Gradmaß

n : Brechungsindex

$$\rightarrow \frac{\sin(\beta)}{n} = \sin(\gamma)$$

$$\rightarrow \frac{\sin(40^\circ)}{1,5} = \sin(25,3^\circ)$$

$$\rightarrow \sin(25,3^\circ) = 0,427$$

$$\rightarrow \sin^{-1}(0,427) = 25,3^\circ$$

Medium	Brechungsindex n
Glas	1,5
Luft	1,0003

Tab. 2

Ich habe die Abstellfläche für das Kochgut mit dem Solarlack bemalt. Anschließend habe die Ablage im Solarofen montiert, indem die zwei großen Schrauben mithilfe des unten abgebildeten Werkzeugs eingeschraubt habe. Um die Distanz zur Seitenwand zu halten, habe ich ein paar Unterlagscheiben zwischen Ablage und Seitenwand auf die Schraube gefädelt.



Abb. 53

Im Baumarkt habe ich mir zwei Fenstergläser mit den Massen 45,5 cm x 52,5 cm gekauft. Diese habe ich als erstes gesäubert. Dann habe ich die Gläser in den Rahmen gelegt und mit den Holzlatten, die ich zuvor auf Gehrung gesägt hatte, angeschraubt. Ich habe diese Art der Befestigung gewählt, da man die Holzlatten so einfach entfernen kann, falls eine Glasscheibe beschädigt wird und man sie auswechseln muss.



Abb. 54

Der Rahmen mit den Fenstergläsern sollte möglichst dicht mit der Außenhülle verschlossen werden können, damit möglichst wenig Energieverlust erfolgen kann. Ich habe deshalb zwei Kofferverschlüsse an der Vorderseite des Rahmens angeschraubt. Zwischen den beiden Kofferverschlüssen habe ich noch einen Koffergriff montiert, damit man den Rahmen einfach öffnen kann.



Abb. 55

Anschließend habe ich die selbstklebende Spiegelfolie, die ich auch im Internet auf der Website www.solarfood.de bestellt habe, über die vier Spiegelreflektoren geklebt. Dann habe ich die drei Scharniere des Rahmens an das hölzerne Gehäuse angeschraubt.

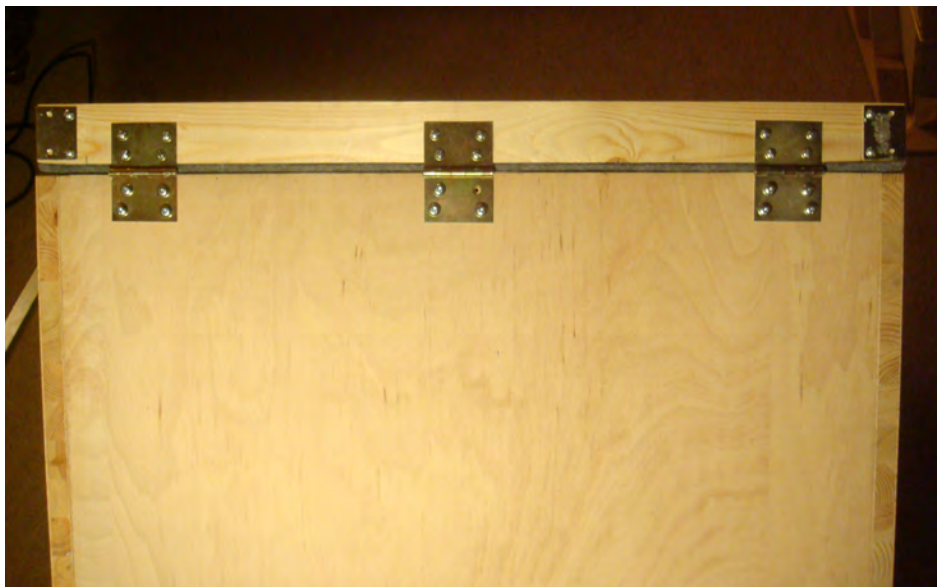


Abb. 56

Zum Schluss habe ich noch 2 Veloreifen aufgeschnitten und an den die gerundeten Seiten des Gehäuses geschraubt, damit das Holz geschützt ist. Zur Arretierung des optimal nach der Sonne ausgerichteten Ofens, habe ich im Baumarkt 4 Holzkeile gekauft.

Das folgende Foto zeigt den fertig gebauten Solarofen:



Abb. 57

3. 3. Inbetriebnahmen

3. 3. 1. Erste Inbetriebnahme am 12. Oktober 2015

Temperaturverlauf

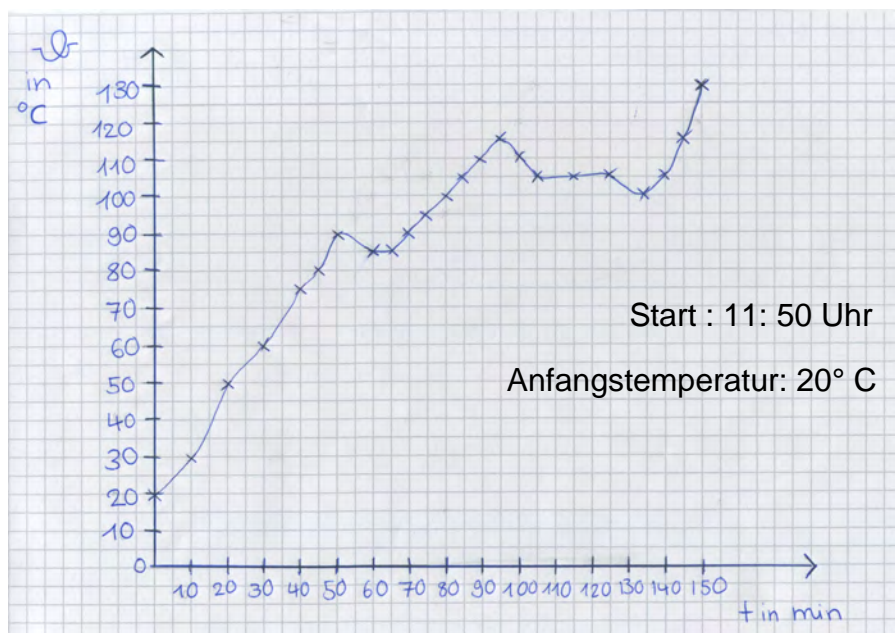


Abb. 58

Die Sonne wurde wiederholt durch Schleierwolken abgedeckt. In der Wetterprognose war für den 12. Oktober „bewölkt“ gemeldet. Dennoch wollte ich den Solarofen an diesem Tag zum ersten mal in Betrieb nehmen, da für die ganze Woche schlechtes Wetter gemeldet war.

In den Solarofen hatte ich einen Thermometer, eine Pfanne mit rohem Gemüse und ein rohes Ei gelegt.

Zuerst stieg die Temperatur an, sank ein wenig, da sich mehr Wolken vor der Sonne aufgebaut hatten. Danach stieg die Temperatur wieder an, bis zu 115° C. Anschließend fiel die Temperatur etwas und blieb dann im Intervall [105,125] konstant, aufgrund der Wolkenbildung. Danach stieg die Temperatur im Thermometer wieder steil an, da die Wolken größtenteils verschwunden waren.

Um 14:20 Uhr hatte ich den Deckel des Solarofens wieder geöffnet und das Kochgut herausgenommen. Das Gemüse war durchgegart und das Ei war hart geworden.

Bei klassischen Kochherden kommt die Wärme von unten zum Kochgut. Bei meinem Solarofen kommt die Wärme von den Seiten, von oben und von unten. Geeignete Pfannen für den Solarofen sollten also möglichst flache, niedrige Formen haben. Mit möglichst niedrigen Pfannenformen kann die Kochzeit verkürzt werden. Die Pfannen sollten außen mattschwarz angemalt sein, da dadurch zusätzlich Wärme aufgenommen werden kann und kein Licht aus dem Solarkocher reflektiert wird, denn dadurch würde Energie „verloren“ gehen.¹⁰

Da der Solarofen konstante Temperaturen über 100° C erzeugt, hat man die Möglichkeit, etwas mit dem Ofen zu sterilisieren.

Beim Kochen gerät immer etwas Wasserdampf in die Kochmulde, da zum Kochen keine dicht verschlossenen Gefäße verwendet werden. Dieser Wasserdampf kondensiert an den Fensterscheiben und beschlägt sie dadurch. Dieser Vorgang bedeutet einen Energieverlust, da die Sonnenstrahlen so nicht mehr optimal durch das Glas einfallen können. Folglich eignen sich beim Solarofen Speisen, die beim Kochen nicht all zu viel Wasser benötigen.



Abb. 59

¹⁰ Vgl. Oehler (1986, S. 15)

3. 3. 2. Inbetriebnahme am 8. November 2015

Der 8. November war ein sehr sonniger Tag, mit nur wenigen Schleierwolken. Daher war es ein Tag mit optimalen Wetterbedingungen für meinen Solarofen. Mit dem Solarofen habe ich an diesem Tag 6 Apfelküchlein gebacken. Innerhalb von 15 Minuten stieg die Temperatur um circa 70 °C. Grund für den rasanten Temperaturanstieg war auch mein neues Hilfsmittel. Es handelt sich um ein kleines Holzstück, das in der Mitte einen senkrecht eingeschlagenen Holzdübel aufweist. Dieses Hilfsmittel habe ich parallel zu den Glasscheiben in die Sonne gehalten. Wenn der Holzdübel keinen Schatten wirft, ist die Ausrichtung des Solarofens optimal. So habe ich gelernt, dass die richtige Ausrichtung das A und O ist. Zuvor hatte ich den Solarofen immer etwas zu hoch ausgerichtet, da ich dieses Hilfsmittel noch nicht zur Verfügung hatte. An diesem Tag habe ich die höchste Temperatur gemessen, die ich je mit dem Solarofen erreicht habe. Das Thermometer erreichte eine Temperatur von 160 °C. Dies finde ich beachtlich, da es anfangs November war. Also kann man den Solarofen auch in der Winterzeit an einem sonnigen Tag verwenden. Die Außentemperaturen spielen nämlich keine große Rolle. Es kommt nur auf die Intensität der Sonnenstrahlen an. Natürlich sind die Sonnenstrahlen im Sommer energiereicher, da die Sonne im Sommer höher steht als im Winter und der Einfallswinkel der Strahlen somit steiler ist.



Abb. 60



Abb. 61

Bei meinen mehrmaligen Kochvorgängen im Oekolampadpark hat mein Solarofen das Interesse vieler Passanten geweckt. Diese stellten mir viele Fragen zur Funktionsweise des Ofens und sie haben durchwegs positiv auf das solare Kochen reagiert.

3. 4. Berechnung des Wirkungsgrades

Der Wirkungsgrad ist das Verhältnis von der genutzten Energie zur aufgewendeten Energie. Er gibt an, wie effizient die Energiewandlung- oder Übertragung erfolgt.

$$\text{Wirkungsgrad} = \frac{\text{Genutzte Energie}}{\text{Aufgewendete Energie}}$$

Im Voraus möchte ich darauf hinweisen, dass die Berechnung des Wirkungsgrades bei einem Solarofen keine einfache Angelegenheit ist. Es existiert kein einheitlicher Wirkungsgradbegriff. Dies macht einen Vergleich sehr schwierig.¹¹

Für die solare Kochkiste wird der Wirkungsgrad definiert als:

„das Verhältnis von Nutzwärme zur auf die Apertur in derselben Zeit einfallenden Strahlungsenergie (Globalstrahlung) bei annähernd konstanter Bestrahlungsstärke für den Aufheizvorgang von 1 Liter Wasser von 20 auf 100°C.“¹²

Eine Vielzahl von Faktoren haben Einfluss auf den Wert des Wirkungsgrades. Beispielsweise spielt es eine Rolle, ob ich ein schwarz bemaltes oder ein transparentes Gefäß für die Erwärmung des Wassers verwende. Deshalb ist der errechnete Wert mit Vorbehalt zu betrachten. Er gibt nur einen Näherungswert an.

Das Experiment habe ich um 11:10 Uhr am 8. November 2015 gestartet. Dafür habe ich einen halben Liter Wasser in einem transparenten Glas in den Solarofen gestellt. Zuvor habe ich die Anfangstemperatur des Wassers gemessen. Sie hat 17 °C betragen. Nach 40 Minuten habe ich die Wassertemperatur erneut gemessen. Das Wasser habe ich nur so lange erwärmt, da ich nicht wollte, dass es die Siedetemperatur erreicht und der ganze Wasserdampf das Fensterglas beschlägt. Die Temperatur des Wassers hat 67,6° C betragen. (Die Temperatur im Solarofen hat zur selben Zeit 140° C betragen. Für meine folgende Berechnung ist dieser Wert jedoch nicht von Bedeutung).

$$67,6 \text{ °C} - 17 \text{ °C} = 50,6 \text{ °C} = \Delta\vartheta$$

0,5 l Wasser hat eine Masse von circa 0,5 kg.

Die spezifische Wärmekapazität von Wasser beträgt $4182 \frac{\text{J}}{\text{kg} \times \text{°C}}$.

Bei der genutzten Energie handelt es sich hierbei um die Energie, die der Solarofen zum Erwärmen von Speisen nutzt.

Mit diesen Werten kann ich nun die genutzte Energie berechnen:

Formel für die Wärmeenergie:

$$Q = m \times c \times \Delta$$

¹¹ Vgl. Bremm-Gerhards (1991, S. 43)

¹² Bremm-Gerhards (1991, S. 43)

Q: Innere Energie in Joule

m: Masse in kg

c: Spezifische Wärmekapazität in $\frac{J}{kg \times ^\circ C}$

$\Delta\vartheta$: Temperaturunterschied in $^\circ C$

$$\rightarrow 0,5 \text{ kg} \times 4182 \frac{J}{kg \times ^\circ C} \times 50,6 \text{ } ^\circ C = 105804,6 \text{ J}$$

Anschließend habe ich die aufgewendete Energie berechnet. Bei der aufgewendeten Energie handelt es sich um die Energie, die auf die Aperturfläche meines Solarofens in Form von Sonnenstrahlen auftrifft. Diese Energie habe ich mithilfe der Globalstrahlung berechnet. Die Globalstrahlung ist die gesamte Solarstrahlung, die an der Erdoberfläche auf eine horizontale Empfangsfläche auftrifft. Sie setzt sich aus der direkten und der diffusen Strahlung zusammen. Die direkte Strahlung trifft auf direktem Weg an der Erdoberfläche auf. Die diffuse Strahlung ist die Strahlung, welche durch Streuung die Erdoberfläche erreicht.¹³

Uhrzeit	Globalstrahlung in W/m^2
11:10	413
11:20	418
11:30	427
11:40	422
11:50	412

Tab. 3

Die Messdaten der Globalstrahlung für Basel (Klingelbergstraße) habe ich im Internet auf der Webseite <https://mcr.unibas.ch/dolueg/> nachgeschaut. Die Messdaten werden alle 10 Minuten aktualisiert. Für meine Berechnungen, habe ich aus den Messdaten den Durchschnittswert genommen. Er beträgt $418,4 \text{ W/m}^2$.

Für den folgenden Schritt habe ich die Aperturfläche des Solarofens bestimmt. Sie ist die Fläche des Solarofens, die der Sonne zugewandt ist.

Die Aperturfläche, ohne die vier Spiegelreflektoren, würde der Glasfläche entsprechen. Jedoch muss man die Spiegelreflektoren miteinbeziehen, da ich das Experiment mit den Reflektoren durchgeführt habe. Für die Aperturfläche habe ich also das Produkt aus den Längen l_1 und l_2 , die ich bei den Spiegelreflektoren berechnet habe, genommen (siehe Abbildung 44 und 45). Bei dieser Aperturfläche ist die Glasfläche miteinbezogen. Ich bin mir bewusst, dass die Sonnenstrahlen nicht im rechten Winkel auf die vier Reflektoren auftreffen, so wie bei der Glasscheibe. Die Strahlen, die auf die Glasfläche auftreffen, sind also energiereicher, als jene, die von den Reflektoren reflektiert werden. Bei der Reflexion der Strahlen tritt zusätzlich immer ein Energieverlust auf. Folglich darf man diese Flächen nicht gleichwertig behandeln. Bei meiner Berechnung habe ich die genannten Faktoren außer Acht gelassen, da ich den Schwerpunkt bei meiner Arbeit nicht auf diese Berechnung gelegt habe.

$$0,87 \text{ m} \times 0,81 \text{ m} = 0,6 \text{ m}^2$$

Nun berechne ich daraus die Leistung:

¹³ <https://de.wikipedia.org/wiki/Globalstrahlung> (5.11.2015)

$$418,4 \text{ W/m}^2 \times 0,6 \text{ m}^2 = 251 \text{ W}$$

Es dauerte 40 Minuten bis das Wasser die Endtemperatur (67,6 °C) erreicht hatte. Dies entspricht 2400 Sekunden.

Da ich die Leistung berechnet habe, kann ich aus der Leistung und der Zeit die Energie berechnen.

Formel für die Energie:

$$E = P \times t$$

E: Energie in Joule

P: Leistung in Watt

t: Zeit in Sekunden

$$\rightarrow 251 \text{ W} \times 2400 \text{ s} = 602\,496 \text{ J}$$

Da ich die genutzte Energie und die aufgewendete Energie berechnet habe, kann ich nun daraus den Wirkungsgrad berechnen.

Formel für den Wirkungsgrad:

$$\eta = \frac{E_{\text{nutz}}}{E_{\text{auf}}}$$

η : Wirkungsgrad (dimensionslos)

E_{nutz} : in Joule

E_{auf} : in Joule

$$\rightarrow \frac{105804,6 \text{ J}}{602496 \text{ J}} = \sim 0,176$$

$$\rightarrow \eta = 17,6 \%$$

Der Wirkungsgrad des Solarofens beträgt also 17 %.

Wenn ich bei dieser Berechnung die Spiegelreflektoren nicht einbezogen hätte, dann betrüge der Wirkungsgrad 44%. Die Effizienz der Spiegelreflektoren könnte man ermitteln, indem man dieses Experiment einmal mit Reflektoren und einmal ohne Reflektoren durchführen würde.

3. 5. Die verschiedenen Typen von Solarkochern

Um mein Produkt in einen kulturhistorischen Zusammenhang zu stellen, analysiere ich ähnlich etablierte Produkte.

Es existieren bereits die verschiedensten Arten von Solarkochern, die sich alle in der Technik der Wärmergewinnung voneinander unterscheiden. Die Forschung auf dem Gebiet der Solarkocher ist noch nicht abgeschlossen. Heutzutage forscht man immer noch an der Verbesserung bestehender Produkte oder an der Entwicklung neuer Modelle. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen den 5 folgenden Solarkochertypen¹⁴:

- Solare Kochkisten
- Reflektor-Kocher
- Solarkocher mit Wärmespeicher
- Solare Dampfkocher
- Konvektionskocher

Daneben existieren noch zahlreiche Mischtypen.¹⁵

3. 5. 1. Solare Kochkisten

Solare Kochkisten funktionieren nach dem Prinzip der Energiefalle. Dabei wird der Treibhauseffekt genutzt. Konventionelle solare Kochkisten sind Kisten, deren Innenwände schwarz eingefärbt sind. Die Innenseiten der solaren Kochkiste bestehen aus einem Blech, das mit einer ungiftigen schwarzen Farbe bemalt ist, um die Reflexion der Sonnenstrahlen zu reduzieren und die Wärme aufzunehmen. Bei der solaren Kochkiste ist ein äußerer Spiegel montiert, der sich mithilfe einer Vorrichtung verstellen lässt, um die Kiste dem Sonnenstand nachzuführen. Bei den meisten Modellen der solaren Kochkiste ist nur ein Spiegelreflektor angebracht.¹⁶ Durch ein transparentes Material, wie zum Beispiel ein Fensterglas, kann das sichtbare Licht und die ultraviolette Strahlung optimal einstrahlen. Dabei wird je ein Teil reflektiert, emittiert oder absorbiert. Durch die Reflexion der Sonnenstrahlen am Glas geht ein Teil der Wärme verloren. Umso spitzer der Einfallswinkel des Lichts ist, desto grösser ist der Energieverlust. Die Infrarotstrahlen werden an diesem Glas reflektiert und ein partiell absorbiert.¹⁷ Durch die Absorption werden beim Auftreffen der Sonnenstrahlen auf die Absorber (die schwarzen Innenwände der Kiste und die schwarz bemalte Pfanne) die kurzwelligeren Strahlen der Sonne in langwellige umgewandelt.¹⁸

Die Absorber erwärmen sich und leiten die Wärmeenergie an den Inhalt der Pfanne weiter. Zur selben Zeit wird Wärme als Infrarotstrahlung in den Innenraum der

¹⁴ Vgl. Bremm-Gerhards (1991, S. 27)

¹⁵ Vgl. Bremm-Gerhards (1991, S. 27)

¹⁶ Vgl. Bremm-Gerhards (1991, S. 28)

¹⁷ Vgl. Müller (2013, S. 99)

¹⁸ Vgl. Bremm-Gerhards (1991, S. 28)

solaren Kochkiste abgegeben. Ein Teil dieser Wärme wird vom Glas absorbiert und an die Umwelt abgegeben.¹⁹

Da die umgewandelten langwelligen Infrarotstrahlen die transparente Abdeckung kaum passieren können, bleibt ein großer Teil der Wärme im Innenraum der solaren Kochkiste erhalten. Zudem sind solare Kochkisten sehr gut mit Isoliermaterial isoliert, damit zusätzlich weniger Wärme an die Umwelt abgegeben wird. Außerdem verteilt sich die Wärme durch Konvektion.²⁰

Das Kochgut stellt man in die Kiste. Solare Kochkisten existieren als stationäre oder auch als mobile, mit Rädern versehene Modelle. Sie lassen sich gut im Eigenbau herstellen. Da die erreichten Temperaturen nicht allzu hoch sind, besteht keine Anbrenngefahr des Kochgutes und somit ist es nicht nötig, das Kochgut umzurühren oder zu beobachten. Beim Kochen mit der solaren Kochkiste muss man auch keine Sonnenbrille tragen, da die Reflektoren einen nicht blenden wie bei einem Reflektor-Kocher. Die Kochzeit beträgt ungefähr 2-4 Stunden. Die solare Kochkiste ist geeignet zum Backen. Jedoch ist sie ungeeignet zum Frittieren oder Grillieren, da bei diesen Vorgängen höhere Temperaturen erforderlich sind. Das Kochgut bleibt in der solaren Kochkiste einige Stunden warm, jedoch nicht bis zum nächsten Morgen.²¹

Schematische Darstellung einer solaren Kochkiste

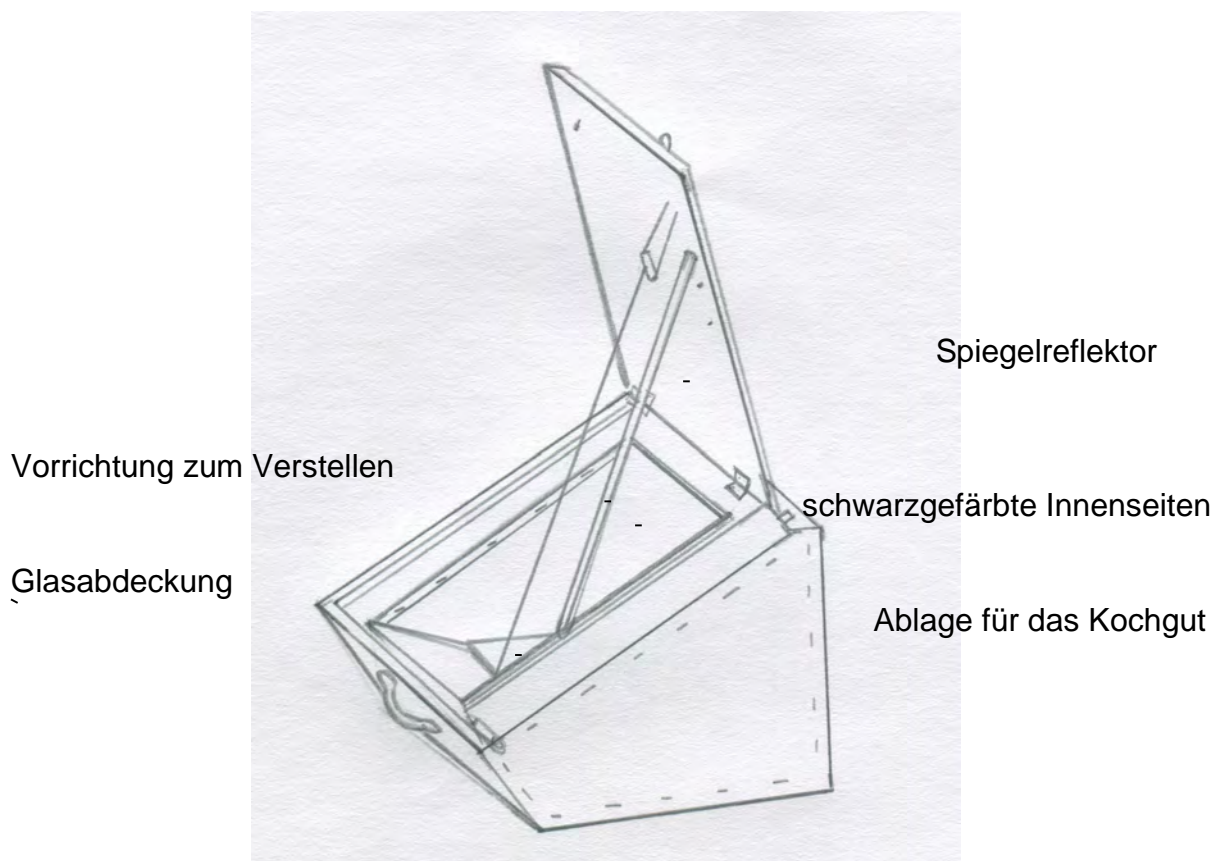


Abb. 62

¹⁹ Vgl. Müller (2013, S. 114)

²⁰ Vgl. Müller (2013, S. 115)

²¹ Vgl. Oehler (1986, S. 2)

3. 5. 2. Reflektor-Kocher

Der Reflektor-Kocher besteht hauptsächlich aus einem Parabolspiegel. Die Sonnenstrahlen werden durch den Hohlspiegel eingefangen und in den Brennpunkt unter der Ablage des Kochgutes gelenkt. Dies funktioniert, da der Spiegel im Querschnitt die Kurve einer Parabel hat. Die eingefangene Wärme wird im Fokus so stark konzentriert, dass man die Wärme zum Kochen nutzen kann.²²

Die Pfanne emittiert teilweise die Wärme, durch die sie erwärmt wird. Die Luft um die Pfanne erwärmt sich, dehnt sich aus und steigt in die Höhe. Die weiter unten befindliche und kältere Luft zieht mit und erwärmt sich partiell.²³ Die schwarz bemalte Pfanne absorbiert die Sonnenstrahlen.

Mit dem Reflektor-Kocher können bei sonnigem Wetter in kürzester Zeit sehr hohe Temperaturen erreicht werden. Der Reflektor-Kocher ist somit der leistungsfähigste aller Solarkocher. Folglich ist der Kochvorgang erheblich kürzer als bei einer solaren Kochkiste. Ein Nachführen nach der Sonne ist alle 2-5 Minuten erforderlich. Bei Wolkenbildung kühlt das Kochgut allerdings sehr schnell ab. Der Reflektor-Kocher eignet sich sehr gut zum Grillieren, Frittieren, oder Braten. Zum Backen ist dieser Solarkocher jedoch eher ungeeignet. Nachteilig bei einem solchen Solarkocher ist die hohe Blend- und Verbrennungsgefahr. Daher ist es ratsam, während des Kochens eine Sonnenbrille zu tragen. Außerdem muss man beim Reflektor-Kocher ständig das Kochgut überwachen, da es aufgrund der erreichten Temperaturen sehr schnell anbrennen kann. Reflektor-Kocher lassen sich im Eigenbau nur schwer herstellen und sind eher teuer zu kaufen. Weiterhin sind Reflektor-Kocher nicht gut transportabel und empfindlich gegen jegliche Art von äußerer Einwirkung.²⁴ Darüberhinaus existieren auch Reflektor-Kocher mit Wärmefalle.²⁵

3. 5. 3. Solarkocher mit Wärmespeicher

Solarkocher mit Wärmespeicher speichern die Wärme, die sie tagsüber aufgenommen haben. Dadurch hat man die Möglichkeit, auch in der Nacht oder sogar am nächsten Morgen damit zu kochen.²⁶ Vier parabolförmige Reflektoren bündeln die Sonnenstrahlen auf den Absorber, eine schwarz gefärbte Kupferleitung, in deren Inneren sich ein Wärmeübertragungsöl befindet. Das Öl dehnt sich bei der Erwärmung aus. Folglich sinkt seine Dichte und das Öl wird leichter. Das erwärmte Öl befindet sich in der oberen Leitung, während sich das kalte Öl in der unteren Leitung befindet. Das warme Öl wird vom kälteren nach oben gedrückt. Der Wärmespeicher steht auf einer Erhöhung. Dies ermöglicht das Kochen zu Hause, da man die Leitung in das Innere des Hauses führen kann. Ein Nachführen des Solarkochers nach dem Sonnenstand ist während des Kochens nicht erforderlich.

²² Vgl. Bremm-Gerhards (1991, S. 29)

²³ Vgl. Müller (2013, S. 103)

²⁴ Vgl. Oehler (1986, S. 2)

²⁵ Vgl. Müller (2013, S. 61)

²⁶ Vgl. Bremm-Gerhards (1991, S. 31)

Allerdings müssen die vier Reflektoren circa alle 20 Minuten dem Sonnenstand angepasst werden.²⁷

3. 5. 4. Solare Dampfkocher

Bei solaren Dampfkochern gleitet der mit Flachkollektoren erzeugte Wasserdampf zur Ablage mit dem darauf befindlichen Kochgut hinauf und erwärmt dort das Kochgut. Der Vorteil bei einem solaren Dampfkocher ist, dass man die Möglichkeit hat, ihn im Haus zu verwenden. Nachteile stellen allerdings der niedrige Wirkungsgrad, die niedrigen Temperaturen und die langen Kochzeiten dar.²⁸

3. 5. 5. Konvektionskocher

Bei den Konvektionskochern wird die Luft in einem ersten Kreislauf über einen Absorber erwärmt und über Konvektion in ein höhergelegenes Kochgefäß und schließlich zu einem Wärme-Luft-Tauscher transportiert. Der Wärme-Luft-Tauscher beheizt in einem zweiten Kreislauf den Wassertank. Die Luft gelangt zum Absorber zurück. Da der Wassertank gut isoliert ist, hat man die Möglichkeit, auch in der Nacht zu kochen. Das Kochgut befindet sich auf einer höhergelegenen Vorrichtung. Dadurch ermöglicht der Konvektionskocher das Kochen zu Hause.²⁹

Meiner Meinung nach ist die solare Kochkiste, von der Technik her gesehen, die simpelste Lösung. Sie ist einfach zum Transportieren, zum Kochen gut geeignet und lässt sich im Eigenbau herstellen.

3. 6. Vor- und Nachteile meines Solarofens im Vergleich zu konventionellen Kochmethoden

3. 6. 1. Vorteile

- Beim Kochen mit dem Solarofen hat man die Möglichkeit zu kochen, ohne dass Kosten für Gas, Elektrizität, Holz oder Öl anfallen.
- Solarenergie ist eine regenerative Energie, die dem Nutzer unbegrenzt zur Verfügung steht.
- Der Solarofen ist umweltschonend, da beim Kochen mit der Sonnenenergie keine Abgase wie CO₂ entstehen.
- Der Solarofen ist kostengünstig.
- Die Verbrennungsgefahren sind bei meinem Solarofen minimal.
- Der Solarofen lässt sich transportieren.

²⁷ https://www.ti.bfh.ch/fileadmin/_migrated/content_uploads/bfh04-05_M_Riesen-Wegmann_03.pdf

²⁸ Vgl. Bremm-Gerhards (1991, S. 32)

²⁹ Vgl. Bremm-Gerhards (1991, S. 33)

- Eine Überwachung des Kochgutes ist nicht erforderlich, da nichts anbrennen kann. Folglich kann sich der Nutzer während des Kochvorgangs im Schatten aufhalten.³⁰
- Der Solarofen lässt sich im Eigenbau herstellen.

3. 6. 2. Nachteile

- Der Solarofen ist nur zeitlich begrenzt nutzbar; das heißt, man kann ihn nur an sonnigen Tagen verwenden.
- Das Kochen geht beim Solarofen um einiges länger.
- Man hat nur im Freien die Möglichkeit mit dem Solarofen zu kochen.
- Vitamin C wird in größeren Mengen abgebaut als bei einem herkömmlichen Kochherd. Der Grund dafür sind die niedrigeren Temperaturen und die längeren Kochzeiten, die eine höhere Enzymaktivität bewirken. (Diese Aussage betreffend der Vitaminverluste benötigt allerdings eine noch umfangreichere Untersuchung, gemäß Bremm-Gerhards)³¹
- Aufgrund der niedrigeren Temperaturen kann der Solarofen nicht zum Grillieren, Frittieren oder zum knusprigen Backen genutzt werden.³²
- Ein Öffnen des Ofens bzw. der Pfanne während des Kochens ist nicht ratsam, da beim Öffnen des Solarofens große Energieverluste anfallen. Eine Überwachung des Kochgutes ist jedoch- wie oben schon erwähnt - nicht nötig.

Allein die Tatsache, dass man die Möglichkeit hat, kostenlose und unbegrenzte Energie umweltfreundlich zu nutzen, ist - meiner Meinung nach - Grund genug, mit dem Solarofen zu kochen.

3. 7. Geschichte des Solarkochers

Die Geschichte des Solarkochers geht bis ins 18. Jahrhundert zurück. Doch schon circa 2'300 Jahre vorher wurden erstmals Brennspiegel erwähnt und zu unterschiedlichsten Zwecken verwendet. Schon die alten Römer machten sich die Wärmefälle zu Nutze. Sie verwendeten die Solarthermik in Bade- und Gewächshäusern.³³

Hier stelle ich einige der wichtigsten historischen Ereignisse in der Entwicklung des Solarkochers dar.

Der erste Solarkocher wurde vom Schweizer Geologen Horace-Bénédict de Saussure **1767** entworfen. Er nannte ihn „hélio thermomètre“ Er gilt als Vorläufer der solaren Kochkiste.³⁴

Der britische Astronom Sir John Herschel verwendete um **1830** eine solare Kochkiste zur Zubereitung seiner Mahlzeiten während seiner Expedition in Afrika.³⁵

³⁰ Vgl. Bremm-Gerhards (1991, S. 34)

³¹ Vgl. Bremm-Gerhards (1991, S. 47)

³² Vgl. Bremm-Gerhards (1991, S. 34)

³³ Vgl. Müller (2013, S. 7)

³⁴ Vgl. Müller (2013, S. 11)

³⁵ Vgl. Bremm-Gerhards (1991, S. 23)

1876 baute William Adams, der englische Archivar beim hohen Gericht in Bombay, einige Solaröfen in Indien, dessen Spiegel silberüberzogene Glasplatten waren.³⁶ Der erste Solarkocher mit Parabolspiegeln wurde von Mouchot beschrieben, der Solarkocher für französische Kolonialtruppen in Afrika herstellte. **1877** baute er einen Reflektor-Kocher, der dieselbe Leistung wie heutige Modelle aufwies.³⁷ Charles Greeley, der Sekretär des Smithsonian Instituts erfand **1876** einen Solarkocher mit Wärmespeicher. Dieser befand sich im Haus und wurde mit außenstehenden Spiegeln erhitzt. Der Solarkocher funktionierte mit erwärmtem Öl als Wärmespeicherung. Jahrzehnte später wurde dieser Solarkocher von der Amerikanerin Barbara Kerr wieder aufgenommen und nachgebaut.³⁸ Im Jahre **1945** hat der indische Forscher M. K. Ghosh eine solare Kochkiste gebaut, die bis heute als Urmodell dieses Typus gilt.³⁹ Der indische Physiker M. L. Ghai stellte **1953** einen Reflektor-Kocher her, der damals massenproduziert und verkauft wurde.⁴⁰ Der Basler Entwicklungsingenieur Ulrich Oehler konstruierte um **1980** solare Kochkisten für tropische und nicht-tropische Gebiete als Entwicklungshilfe für Entwicklungsländer.⁴¹

3. 8. Wo werden Solarkocher eingesetzt?

Solarkocher werden oftmals in Afrika verwendet, da sich die intensive Sonnenstrahlung dort für den Solarofen gut eignet. Außerdem wird die Anschaffung von Brennstoffen (Holz) durch die Nutzung eines Solarofens vermieden.

Darüberhinaus werden Solaröfen auch als Hilfe für Flüchtlinge verwendet. Nahe des Äquators finden nämlich mehrere Kriege statt, die viele Menschen in die benachbarten Länder wie Kenia oder Tschad flüchten lassen. Durch den Bedarf an Lebensmitteln der riesigen Menschenmassen werden dort viele Bäume und Büsche gerodet. Somit entstehen im Umkreis der Flüchtlingsstätte Wüsten. Mithilfe des Solarkochers müssen diese Menschen keine Bäume für den Kochvorgang mehr roden und tragen so weniger zur Desertifikation bei.⁴²

Als Hilfe beim gewaltigen Erdbeben am 12. Januar 2010 in Tahiti wurden viele Solarkocher nach Tahiti geliefert. In Tahiti existieren unter anderem wegen der Herstellung von Holzkohle nur wenige Wälder, was den Einsatz von Solarkochern dort begünstigt.⁴³

³⁶ Vgl. Müller (2013, S. 13)

³⁷ Vgl. Bremm-Gerhards (1991, S. 23)

³⁸ Vgl. Müller (2013, S. 13)

³⁹ Vgl. Müller (2013, S. 17)

⁴⁰ Vgl. Müller (2013, S. 29)

⁴¹ Vgl. Müller (2013, S. 30)

⁴² Vgl. Müller (2013, S. 39)

⁴³ Vgl. Müller (2013, S. 41)

3. 9. Nutzung von Sonnenenergie am Beispiel eines „Plusenergiehauses“

Die folgenden Fakten wurden mir im Gespräch mit Herrn Wolfgang Schnürer am 16.10.2015 in Vauban mitgeteilt.

Im Jahr 1998 begann man mit den Bauarbeiten der Solarsiedlung im Stadtteil Vauban in der Stadt Freiburg im Breisgau. Sie zählt zu den bekanntesten Solarsiedlungen Deutschlands. Die Siedlung befindet sich am Fuße des Schlierbergs. Die Häuser in der Solarsiedlung werden alle „Plusenergiehäuser“ genannt. Der Name „Plusenergie“ kommt daher, dass die besagten Häuser mehr Energie erzeugen als sie verbrauchen. Die „Plusenergiehäuser“ wurden vom Solararchitekt Rolf Disch geplant und realisiert, der selbst in solch einem Haus in der Solarsiedlung wohnt.

Nach 15 Jahren Solarsiedlung und hunderten von Interview-Anfragen von allen möglichen Seiten, nimmt die Bereitschaft Auskunft zu geben bei den Bewohnern der Solarsiedlung leider ab. Eine ganze Interviewreihe mit mehreren Bewohnern ist aus dem genannten Grund nicht möglich. Ich habe Herrn Tobias Bube, einem Solararchitekten, der am Bau der Solarsiedlung in Vauban beteiligt war, eine Mail geschrieben. In dieser Mail habe ich ihn gefragt, ob er mir Kontaktdaten von Bewohnern geben könnte, die noch ansprechbar wären, sofern diese damit einverstanden wären. Im Anschluss daran hat er mir zurückgeschrieben, dass ich mich an Herrn Wolfgang Schnürer wenden könne, der mir gerne Fragen über sein Haus beantworten würde.

Eine Woche später habe ich mich mit Herrn Schnürer in seinem Haus getroffen. Er hat sich freundlicherweise für mich Zeit genommen, um mir einige Fakten und Statistiken über sein Haus zu demonstrieren. Herr Schnürer sammelt nämlich jegliche Zahlen über sein Haus. Er hat sie mir zur Verfügung gestellt.

Für das Gespräch mit Herrn Schnürer habe ich mir folgende Fragen notiert:

- Welche Techniken zur Nutzung von Solarenergie werden in Ihrem Haus verwendet?
- Was ist ihre Motivationen in Vauban zu leben?
- Welche Einschränkungen des Wohnstils nehmen Sie als Bewohner eines „Plusenergiehauses“ in Kauf?
- Können die Wohnungen der Solarsiedlung Vauban preislich konkurrieren mit vergleichbaren Stadtteilen mit konventionellen Energieversorgungen?
- Funktioniert das System im Winter genauso gut wie im Sommer?
- Nutzen Sie in Ihrem Haus noch andere Energien, abgesehen von der Solarenergie, zum Beispiel elektrische Energie zum Heizen?
- Müssen Sie im Winter oft heizen?
- Wie lange ist die Lebensdauer der Geräte, die Sie in Ihrem Haus verwenden? Wie oft muss man Sie auswechseln?

Herr Schnürer ist ein pensionierter Lehrer, der mit seiner Frau in einem „Plusenergiehaus“ in der Solarsiedlung im Stadtteil Vauban in der Stadt Freiburg im Breisgau wohnt. Sein Haus wurde im Jahre 2000 vom Solararchitekten Rolf Disch gebaut. Er ist mit seiner Frau 2004 in dieses Haus eingezogen.



Herr Schnürers Haus, Abb. 63

Herr Schnürer trägt mit dem Betrieb seiner Photovoltaikanlage aktiv zum Umweltschutz bei.

Sein Haus erzeugt nur umweltfreundliche Energie. Es produziert so gut wie keine Treibhausgase. Seit es gebaut wurde, wurden rund 103'341 kg CO₂ Emissionen vermieden. Die schädlichen CO₂-Gase führen zum Treibhauseffekt und begünstigen die Klimaerwärmung.

Auf dem Dach des Hauses befinden sich mehrere Photovoltaik-Paneele. Die Nutzung der Solarenergie erfolgt hauptsächlich durch die Photovoltaikanlage und durch das Isolierungssystem. Die Bautechnik von Herrn Schnürers Haus ist teurer als Bautechniken in konventionellen Häusern. Die Photovoltaikanlage kostete rund 25'000 €. Für sein Haus musste er circa 10% mehr zahlen, als für ein Haus mit konventioneller Energieversorgung. Diesen Aufpreis machte er im Laufe der Zeit wieder wett durch das Einsparen von Heizkosten.

Seit die Photovoltaikanlage am 1.5.2000 das erste mal in Betrieb genommen wurde, hat sie bis zum Oktober 2015 circa 173'390 kWh Solarstrom erzeugt. Mit dieser Energie könnte man beispielsweise 173'390 Stunden Staubsaugen oder 866'952 Stunden mit dem Computer arbeiten. Den gesamten Strom, den die Photovoltaikanlage erzeugt, verkauft Herr Schnürer an die Badenova, das ist der örtliche Stromerzeuger. Er verbraucht den Strom, den er erzeugt also nicht selber, sondern kauft seinen umweltfreundlichen Verbrauchsstrom von außen ein.

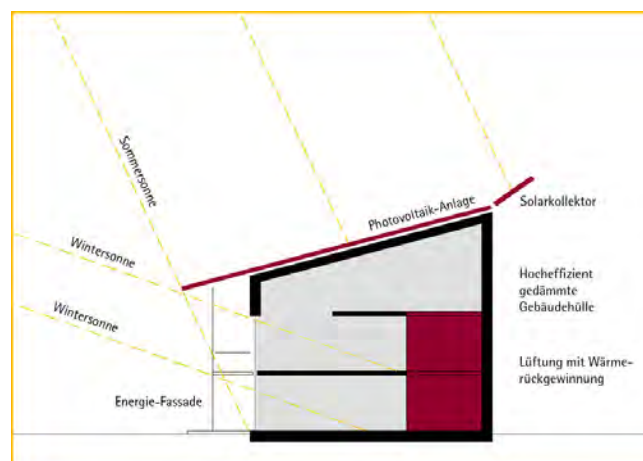
Im Jahre 2012 hatte Herr Schnürer nur 330 € Heizungskosten im ganzen Jahr. In seinem früheren Einfamilienhaus musste er für das Heizen mit seiner Ölheizung im Monat durchschnittlich 250 € zahlen.

2012 hatte ihm die Photovoltaikanlage 3'376 € Einnahmen eingebracht. Unter dem Strich hat er pro Monat einen Überschuss von circa 200 €. Das bedeutet, dass er fürs Energiesparen sogar bezahlt wird. Die Kosten für die Photovoltaikanlage hatte er bereits nach 6-7 Jahren durch das Einsparen von Heizungskosten amortisiert. Von diesem Zeitpunkt an hatte er jedes Jahr für das Wohnen in seinem Haus verdient. Zum Beispiel hatte Herr Schnürer letztes Jahr rund 2700 kWh Strom verbraucht und 6400 kWh Strom verkauft.

3. 9. 1. Effiziente Konstruktionen

Die Sonneneinstrahlung ist zur Mittagszeit am stärksten und die Sonne hat ihren Mittagslauf im Süden. Aus diesen Gründen sind die großflächigen Fensterscheiben im Wohnzimmer von Herrn Schnürers Haus nach Süden ausgerichtet. Die Fassaden des Hauses sind so gebaut, dass sie zur Mittagszeit zur Sonne ausgerichtet sind. Durch diese Konstruktion kann Herr Schnürer Licht- und Wärmeenergie direkt von der Sonne in seinem Wohnzimmer genießen.

Da im Sommer die Sonne höher als im Winter steht, wurde mithilfe von genauen Berechnungen eine Balkonkonstruktion über dem Wohnzimmer eingebaut. Diese Konstruktion ist zur Abschattung der Sonne, also zum Sonnenschutz, gedacht. Im Winter, wenn die Sonnenstrahlen flacher als im Sommer einfallen, können sie effektiv in das Haus einstrahlen. Dadurch funktioniert das System im Sommer wie auch im Winter genauso gut. Diese Konstruktion ist einer der Gründe dafür, dass Herr Schnürer in seinem Haus kaum noch heizen muss.



Konstruktion eines Plusenergiehauses, Abb. 64

3. 9. 2. Dreifache Fensterverglasung

Die großzügigen Fenster der Fassade, die nach Süden ausgerichtet ist, haben zur Isolierung eine dreifache Verglasung. Zwischen den Fenstergläsern befindet sich Luft. Luft ist ein schlechter Wärmeträger. Deshalb kommt die kalte Luft nicht ins Haus und die warme Luft nicht hinaus. Durch die dreifache Verglasung entsteht also ein doppeltes Luftpolster. Als zusätzliche Wärme-Kälte-Sperre ist eine von den drei Scheiben noch mit Metall verdampft. Von außen kommt also wenig Wärme durch die Scheiben. Aber wenn die Sonne strahlt, dann erwärmt die Strahlungswärme das Haus. Genauso wie bei meinem Solarofen wird hier der Treibhauseffekt genutzt. Der Solararchitekt Rolf Disch hat die Fenster bis zum Boden verglast, damit möglichst viele Strahlen in das Haus kommen können.

3. 9. 3. Isolierung

Das Haus besitzt eine ausgeklügelte Gebäudedämmung. Es ist besonders gut isoliert, da es Wände in mehrschichtenbauweise besitzt.

Die Wände bestehen aus einer Dämmschicht, die aus Holz, Gipsplatten und Mineralgranulat zusammengesetzt sind.

Diese Wände sind 40 cm dick. Die gesamte Wärme, die im Haus erzeugt wird, kann durch diese großzügige Isolierung fast nicht mehr entweichen.

3. 9. 4. Belüftungssystem mit Wärmerückgewinnung

Herr Schnürer lüftet nicht auf konventionelle Weise, in dem er das Fenster öffnet. Das Haus verfügt über Belüftungssysteme mit Wärmerückgewinnung. In jedem Zimmer des Hauses befindet sich eine Lüftungsanlage mit integriertem Wärmetauscher, der die Luft 90 Sekunden lang hinaus pumpt und 90 Sekunden lang frische Luft hinein pumpt. Dadurch wird sein Haus 24 Stunden pro Tag durchlüftet. Durch die Wärmetauscher kommt ungefähr 70% der Wärme wieder zurück, was also keinen großen Wärmeverlust bedeutet. Durch diese Technologie hat Herr Schnürer andauernd frische Luft in seinem Haus. Die Fenster sollten im Winter permanent geschlossen sein, da sonst die Wärme aus seinem Haus entweicht. Dank der Belüftungsanlage stellt dies allerdings kein Ärgernis für Herrn Schnürer und seine Frau dar. Dies bedeutet für die beiden keine Einschränkung des Wohnstils. Das ist dasselbe Prinzip wie bei meinem Solarofen; das Öffnen des Deckels würde ein großer Wärmeverlust bedeuten.

Die Wärmetauscher haben eine sehr lange Lebensdauer. Sie müssen einmal im Jahr gewartet werden. Durch dieses System ist es in seiner Wohnung so warm, dass er so gut wie nie heizen muss. Durch diese Anlage ist es im Winter bis zu 25° C warm. Wenn es allerdings mehrere Tage bewölkt ist, muss Herr Schnürer die Warmwasserheizung in Betrieb nehmen.

Herr Schnürer ist überzeugt, dass die Bautechnik in seinem Haus die Bautechnik der Zukunft ist. Seiner Meinung nach ist die Solarenergie die einzige Energieform, die uns noch lange Zeit bleiben wird. Er ist der Nutzung von atomarer Energie gegenüber negativ eingestellt.

Verbrauchte Photovoltaikanlagen sind nicht radioaktiv verseucht, wie der Atommüll. Die Kohle, das Erdöl und das Gas werden irgendwann verbraucht sein und produzieren das schädliche CO₂ - Gas. Die Umwelt zu schützen ist Herrn Schnürers Motivation in diesem Haus zu leben.

Meiner Meinung nach, ist das Wohnen in einem „Plusenergiehaus“ eine gute Sache. Ich persönlich könnte mir gut vorstellen, später auch einmal in einem solchen Haus zu wohnen.

4. Schlusswort

Ursprünglich bin ich davon ausgegangen, dass ich den Solarofen im August fertig gestellt haben werde. Die Fertigstellung des Produktes ist jedoch erst im Oktober erfolgt, da es eine sehr zeitaufwändige Arbeit gewesen ist. Gewisse Arbeitsschritte, die ich in meiner Arbeit in einem Satz beschrieben habe, haben in der Praxis mehrere Stunden Arbeit in Anspruch genommen. Die Beschaffung aller Materialien ist auch eine sehr aufwändige Angelegenheit gewesen.

Bei der Arbeit habe ich viele Sachen gelernt, zum Beispiel wie man eine Nietzange bedient, wie man Aluminiumblech bearbeitet oder wie man Gehrungsschnitte ausführt. Ich habe Übung bekommen, in der Handhabung einer Bohrmaschine, einer Stichsäge usw.

Zusammenfassend kann ich sagen, dass mir die Umsetzung der Arbeit in allen Facetten gefallen hat. Die Mischung aus Handwerk und Theorie ist abwechslungsreich und hat mich persönlich sehr angesprochen. Außerdem ist der Einblick in die Anwendung der Solarenergie in der Haustechnik für mich äußerst interessant gewesen.

Schlussendlich bin ich von der Arbeit positiv überrascht, denn ich habe nicht damit gerechnet, dass der Solarofen auch so gut funktionieren wird.

Da ich den Solarofen erst im Oktober fertiggestellt habe, habe ich befürchtet, dass die Inbetriebnahme wegen der zunehmend kalten Jahreszeit nicht mehr möglich wäre. Es ist mir jedoch gelungen, den Ofen mehrere Male erfolgreich einzusetzen.

Ich bin noch immer fasziniert, dass man kostenlos mit einem simplen Prinzip die Sonnenstrahlen effizient zum Kochen nutzen kann.

Ich freue mich darauf, den Solarofen auch in Zukunft, bei noch günstigeren Voraussetzungen, zu verwenden.

Ferner bin ich überzeugt davon, dass die Nutzung von Solarenergie in Zukunft immer wichtiger für Mensch und Umwelt sein wird.

5. Literatur- und Quellenverzeichnis

5. 1. Literatur

Bremm-Gerhards, Ursula: Chancen solarer Kochkisten als angepasste Technologie in Entwicklungsländern. Sozialwissenschaftliche Studien zu internationalen Problemen. Saarbrücken, Deutschland 1991.

Müller, Bernhard S.: Das Solarkocher-Handbuch. Berlin, Deutschland 2013.

Oehler, Ulrich: Solar-Kocher/Backofen ULOG für nichttropische Gebiete. Selbstbau-Anleitung. Basel, Schweiz ¹1986.

Wetzel, Adrian: Formelsammlung Physik. Schweiz ³2012.

5. 2. Internetquellen

Riesen, Marc und Wegmann, Oliver:
https://www.ti.bfh.ch/fileadmin/_migrated/content_uploads/bfh04-05_M_Riesen-Wegmann_03.pdf (10.7.2015)

<http://www.flumroc.ch/steinwolle/eigenschaften/> (13.9.2015)

<https://de.wikipedia.org/wiki/Globalstrahlung> (5.11.2015)

5. 3. Bildquellen und Tabellen

Titelbild: <https://www.umweltbundesamt.de/tags/sonne> (22.11.15)

Abb. 1 – Abb. 61 : Schaub (2015)

Abb. 62 : Solare Kochkiste (Oehler 1986, S. 1)

Abb. 63 : <http://www.vauban-im-bild.de/strassen/rosa-luxemburg/25.php> (23.11.15)

Abb. 64 : <http://www.plusenergiehaus.de/index.php?p=home&pid=8&L=0&host=1>
(23.11.15)

Tab. 1: Thermische Daten für Feststoffe, gemäss Wetzel (2012, S. 34)

Tab. 2: Müller, (2013, S. 112)

Tab. 3: <https://mcr.unibas.ch/dolueg/> (9.11.15)

