

Projektbericht

Titel: **Bau einer Schulküche und eines Kindergartens für die Kariyangwe Mission Primary School, Distrikt Binga, Provinz Matabeleland Nord, Simbabwe**

Verfasser: **PFAU - Promise Foundation Austria,**
Verein zur Förderung von Schulkindern in Simbabwe

Datum: **Dezember 2016**

PROMISE FOUNDATION AUSTRIA
Verein zur Förderung von Schulkindern in Simbabwe

Obmann Claus Putz, Schwaighof 66, A-8240 Friedberg
info@pfau-verein.org, www.pfau-verein.org, www.facebook.com/pfau.verein.org
ZVR-Zahl: 543607878

SPENDENKONTO
Volksbank Süd-Oststeiermark
IBAN: AT36 4815 0403 2470 0000, BIC: VHARAT21XXX

Inhaltsverzeichnis

Ausgangssituation.....	3
Projektziel und Planungsphase.....	3
Umsetzung.....	4
Begründete Abweichungen zum Projektantrag.....	8
Kosten und Finanzierung.....	10
Erfahrungen, Lerneffekte und Besonderheiten.....	11
Aktuelle Fotos.....	13
Anlage: Solares Konzept – Diplomarbeit.pdf.....	15

Ausgangssituation

Infolge von immer öfter auftretenden und intensiveren Dürreperioden während der letzten Jahre kommt es immer wieder zu Hungersnöten im nordwestlichen Simbabwe, worunter vor allem auch die Schüler und Schülerinnen der Kariyangwe Mission Primary School leiden. Promise Foundation Austria (PFAU) konnte bei der Dürre im Jahr 2014 den Ankauf von Nahrungsmitteln für die Schulkinder organisieren und damit die Ernteausfälle kompensieren. Diese Nahrungsmittel wurden in großen, von Lagerfeuern erhitzten Töpfen zubereitet. Jedoch sind diese Lagerfeuer eine ineffiziente Methode, um die Mahlzeiten zuzubereiten, und verschwenden große Mengen an Feuerholz, welches einen seltenen Rohstoff in dem trockenen Gebiet darstellt.

Darüber hinaus existiert auf dem Schulgelände ein Kindergarten, der von Termiten befallen und somit einsturzgefährdet ist. Um den Kindergartenkindern sichere Räumlichkeiten zu bieten und um der wachsenden Schülerzahl in der Schule gerecht zu werden, ist der Bau neuer Klassenzimmer notwendig.

Projektziel und Planungsphase

Ziel des Projekts war aufgrund der geschilderten Umstände die Errichtung einer möglichst energieeffizienten Schulküche und eines Kindergartens. Auf Initiative von Promise Foundation Austria wurde die Projektidee für den Bau einer solarbetriebenen Schulküche und eines neuen Schulkindergartens im März 2015 an der HTLuVA Pinkafeld vorgestellt und die Ausarbeitung und Durchführung im Rahmen einer Diplomarbeit angeboten. Die Schüler Daniel Stögerer und Andreas Stagl meldeten sich freiwillig für das Projekt, und kurz darauf wurden gemeinsam mit dem Projektbetreuer Wolfgang Leeb erste Entwürfe erarbeitet. Im Lauf des darauffolgenden Jahres wurden die beiden Gebäude geplant, deren Kosten- und Materialaufwand berechnet und ein solares Konzept, welches die Nachhaltigkeit der Solarküche sicherstellte, erstellt. In den folgenden zwei Abbildungen befinden sich Darstellungen der Schulküche bzw. des Kindergartens auf Basis der Planungsergebnisse.



Bild 1: Visualisierung der Schulküche



Bild 2: Visualisierung des Kindergartens

Umsetzung

Im Juni 2016 kam die erste Zementlieferung in Kariyangwe an, die Betonziegelproduktion wurde vor Ort gestartet und man begann, das Baufeld freizumachen. Während des darauffolgenden Monats begaben sich die drei Projektbeteiligten zusammen mit den zwei weiteren freiwilligen Helfern Alexander Seifried und Christian Strudler nach Simbabwe. Am Donnerstag, 7. Juli, kam die Gruppe in Kariyangwe an, und die Bauarbeiten starteten.

Während der ersten Woche wurde am Aushub für die beiden Gebäude gearbeitet. Nach einer Messung stellte sich heraus, dass das Geländeniveau am Bauplatz des Kindergartens, welches ursprünglich als flach angegeben wurde, um ungefähr 1m variierte, beim Küchenuntergrund betrug der Höhenunterschied ca. 20cm. Um die händischen Grabarbeiten zu beschleunigen, wurde die feste Erde mit einem Traktor inklusive Scheibenegge aufgerissen und der lockere Boden mit Schaufeln und Schiebetrühen entfernt. Am Samstag, 9. Juli, wurden die Erd- und Kanalarbeiten an der Küche fertiggestellt und die Einlegung des Baustahls begonnen, welche am Morgen des darauffolgenden Montags abgeschlossen wurde. An der Planierung des Kindergartengeländes arbeitete man derweil weiter.

Die Streifenfundamente wie auch die Bodenplatte der Küche wurden am Montag, 11. Juli, und am darauffolgenden Tag betoniert.

Am Mittwoch, 13. Juli, starteten die Mauerarbeiten an der Küche. Parallel dazu band man Baustahl und verlegte ihn zur Verstärkung rahmenartig in den Mauersteinen. Die Küchenmauern wurden am Freitag, 15. Juli, fertiggestellt.



Bild 3: Einebnung des Bodens



Bild 4: Mauerarbeiten an der Küche

Die anschließend geplanten Arbeiten am Dachstuhl konnten jedoch nicht gestartet werden, da in der an diesem Tag angekommenen Lieferung von Bauholz die Sparren unerwartet und nicht vorhersehbar in der Hälfte abgeschnitten und somit nicht verbaubar waren. Des Weiteren wurde nur ein Teil der eigentlichen Bestellung geliefert und einige Materialien fehlten. Letztendlich teilte sich die ursprüngliche Bestellung in vier Lieferungen auf, welche allesamt verspätet ankamen.

Um die verlorene Zeit an der Küche zu überbrücken, wurden indessen Fensterstücke montiert und das Mauerwerk verputzt. Der Verputz wurde am Mittwoch, 20. Juli, fertiggestellt.



Bild 5: Mauerwerk der Schulküche



Bild 6: Arbeiten am Kindergarten

In der Zwischenzeit konnten die Erd- und Kanalarbeiten, welche stets parallel zu den Arbeiten an der Küche stattfanden, an der unteren Hälfte des Kindergartens

fertiggestellt werden. Am Dienstag, 19. Juli, begannen die Arbeiter mit dem Betonieren der Fundamente. Während die untere Hälfte der Fundamente betoniert wurde, konnten die Erd- und Stahleinlegearbeiten an der oberen Hälfte abgeschlossen werden. Das Betonieren des Fundaments dauerte eine Woche. Am Samstag, 23. Juli, begannen die Arbeiten am Dachstuhl, und parallel dazu wurden die Solarkollektoren am Boden vormontiert. Das gesamte Küchendach – wie auch die gesamte Bodenplatte des Kindergartens – wurde am Dienstag, 26. Juli, fertiggestellt. Nachfolgend begannen die Mauerarbeiten für den Kindergarten.

Vor der Abreise des österreichischen Projektteams konnten noch die Solaranlage am Dach installiert, Fensterläden montiert und einige Rohlinge für die selbst zu fertigenden Öfen aus Ölfässern ausgeschnitten werden. Am Donnerstag, 28. Juli, wurden die lokalen Vorarbeiter noch über die weitere Vorgehensweise instruiert. Nach der Abreise von Daniel Stögerer, Andreas Stagl, Christian Strudler, Alexander Seifried und Wolfgang Leeb wurde die Projektleitung den lokalen Kräften überlassen. Die Bauleitung übernahm bis auf Weiteres Johannes Mudimba.

Während die Mauerarbeiten am Kindergarten gleichmäßig voranschritten, arbeitete man an den Inneninstallationen der Küche weiter. Am Montag, 1. August, wurden Neonröhren, Steckdosen und Lichtschalter installiert. Nach einem Test stellte sich heraus, dass das Solarsystem zwar funktionierte, jedoch ein Leck am Anschluss der Vakuumröhren hatte. Das Problem konnte durch erneutes Abdichten der Verbindungen behoben werden. Des Weiteren baute man an den Kaminen und Öfen weiter.



Bild 7: Baufortschritt Kindergarten



Bild 8: Schulküche inkl. Solarsystem

Da die Mauerarbeiten aufgrund des Materialmangels nicht fortgesetzt werden konnten und die den Lieferverzögerungen geschuldete Verspätung bei der Ziegelproduktion aufgeholt werden musste, wurde die Baustelle vom Mittwoch, 10. August, bis Mittwoch, 17. August, eingestellt. Nach dieser Pause wurde am Kindergarten weitergemauert und wie in der Küche ein Baustahlrahmen in die Wände eingelegt. Am Montag, 22. August, waren alle Mauern fertiggestellt und man begann parallel mit deren Verputz und mit der Errichtung des Dachstuhls. In den bereits verputzten Räumen wurden erste Elektroinstallationen angebracht.

Das vorhandene Holz reichte jedoch nicht für den vollständigen Dachstuhl aus; während der Wartezeit auf die nächste Bauholzlieferung wurde der fertige Teil mit Trapezblech eingedeckt. Darüber hinaus führte ein defektes Überdruckventil die Beschädigung von mehreren Vakuumröhren eines Solarkollektors herbei. Ersatz wurde nachgefordert, geliefert und wird nach Fertigstellung der anderen Arbeiten montiert.

Die fehlenden Baumaterialien verursachten eine mehrwöchige Baupause. Am 26. September kam die ausstehende Zementlieferung in Kariyangwe an, und die Arbeiten am Putz des Kindergartens konnten fortgesetzt werden. Die für die Fertigstellung des Dachs benötigte Holzlieferung erreichte die Baustelle am 3. Oktober, woraufhin in diesem Bereich ebenfalls weitergearbeitet wurde. Gemeinsam mit dem Innenputz wurde der Estrich im Kindergartengebäude gefertigt. Beides konnte am 13. Oktober fertiggestellt werden. Parallel dazu wurden die Anschlüsse für die Dachrinnen aufbereitet.

Die Dachkonstruktion konnte am 17. Oktober abgeschlossen werden, und zeitgleich begann das Verputzen der Außenfassade des Gebäudes, welche am 23. Oktober fertig wurde. Mit der Montage der Regenrinnen wurde ebenfalls begonnen. Vier Tage darauf (27. Oktober) wurde ein Sickerschacht zur Regenwasserabführung und -wiederverwendung gegraben. Am 3. November konnten die Malarbeiten an der Kindergartenfassade begonnen werden.

Die Projekte sind bis auf die Isolierung der Öfen in der Schulküche, die aufgrund von Lieferschwierigkeiten derzeit nicht erhältlich ist, fertiggestellt. Zuletzt konnten die restlichen Arbeiten – u.a. Installation der Rohre für den Heißwassertransport in der Schulküche oder die Blechbearbeitung für die Öfen – zwar infolge von Versorgungsengpässen verspätet, aber doch fertiggestellt werden. Allerdings ist aus derzeitiger Sicht eine Inbetriebnahme bis Ende des Jahres 2016 möglich.



Bild 9: Schulküche Anfang Nov. 2016



Bild 10: Kindergarten Anfang Nov. 2016

Begründete Abweichungen zum Projektantrag

Änderung des Solarsystems

Ursprünglich war die Energieversorgung der Küche durch die Kombination von flachen Solarkollektoren zur Wassererwärmung und einem Parabolspiegel zur Bereitstellung von Heiß- bzw. Kochwasser vorgesehen. Während der Planungsphase konnten jedoch folgende Erkenntnisse bzgl. der Vor- und Nachteile des Solarkonzepts erreicht werden.

Parabolspiegel können wesentlich höhere Energiemengen als flache Solarkollektoren produzieren, weshalb sie ursprünglich ins Solarkonzept miteinbezogen wurden. Allerdings stellte sich heraus, dass diese Systeme für einwandfreie Funktionalität äußerst präzise hergestellt werden müssen. Da wir nur die Möglichkeit einer händischen Anfertigung der Spiegel besaßen, erwies sich das Risiko, aufgrund von Fertigungsmängeln erhebliche Leistungseinbußen zu erhalten, als sehr groß. Darüber hinaus können Parabolspiegel nur bei direkter Lichteinstrahlung Leistung erbringen, d.h. bei bewölktem Wetter geht der solare Beitrag zur Energieversorgung gegen Null. Flachkollektoren hingegen können auch bei indirekter Sonneneinstrahlung, wenn auch nur eingeschränkt, arbeiten. Schließt man Parabolspiegel aus den infrage kommenden Systemen aus, bleiben Flachkollektoren zur Auswahl.

Jedoch obliegen diese einigen Einschränkungen: Je größer die Differenz zwischen Absorberflüssigkeit (Wasser) und der Außentemperatur, desto geringer die Effizienz des Kollektors. Daraus folgt, dass das System bei der Herstellung von Warm-

wasser zwar relativ effizient arbeitet, die Herstellung von kochendem Wasser jedoch nahezu unmöglich scheint, da die Effizienz des Kollektors bei derart hohen Temperaturunterschieden rapide abfällt. Die Möglichkeit des Parabolspiegels wurde letztendlich aufgrund der überwiegenden Nachteile verworfen.

Mit Flachkollektoren alleine konnte die Küche allerdings nicht betrieben werden, und deshalb wurde beschlossen, das Wasser mit den Kollektoren auf ca. 80°C zu erhitzen und die restliche benötigte Hitzezufuhr mit Holz zu bewerkstelligen. Dementsprechend basiert die Energieversorgung der Küche nicht rein auf solarer Basis, jedoch kann der Holzverbrauch im Vergleich zum gegenwärtigen Bedarf auf weniger als ein Achtel reduziert werden (2.737kg/Jahr im Vergleich zu 22.174kg/Jahr).

Erhöhung der Gebäudemauerdicke von 11 cm auf 23,5 cm

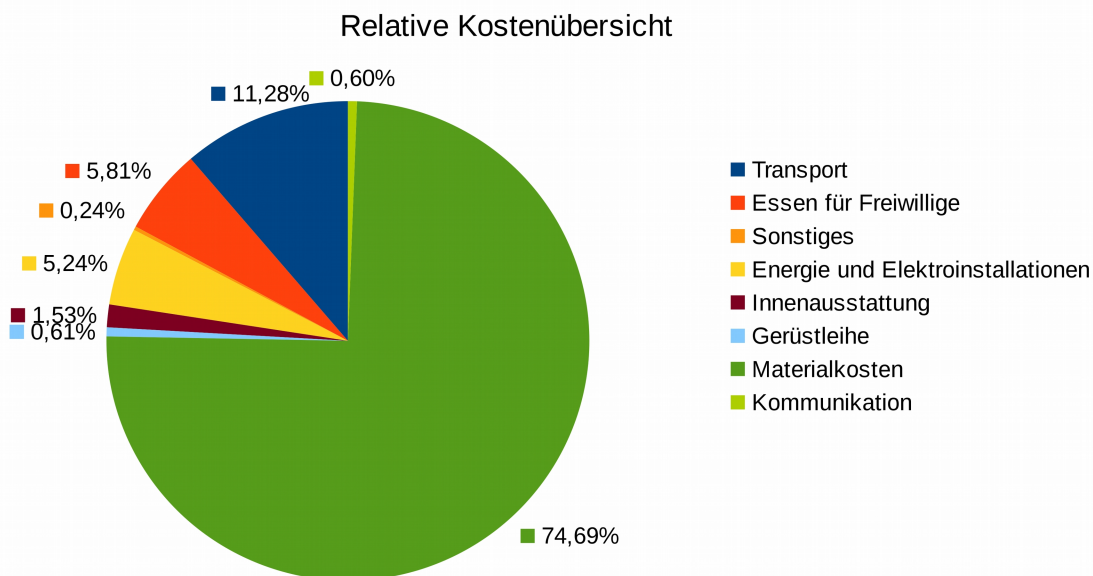
Ursprünglich waren 11 cm dicke Wände geplant, da die bekannte Ziegeldimension 11cm stark war. Da das Planungsteam um die Stabilität des Gebäudes fürchtete, wurden – wie aus der Visualisierung des Plans sichtbar – Lisenen zur Aussteifung mit eingeplant. Allerdings wurde später bekannt, dass die Mindestwandstärke laut Gesetz 23,5 cm beträgt. Anstatt der üblichen Bauweise mit zwei Reihen Ziegel nebeneinander wurde das Gebäude umgeplant und eigens stärkere Ziegel angefertigt, um die Mauerarbeiten zu vereinfachen.

Kosten und Finanzierung

Insgesamt belief sich der Finanzierungsbedarf für das gesamte Projekt auf USD 65.854,54. Die Kosten gliederten sich folgendermaßen auf:

Position	Betrag
Transport	7.425,40 USD
Essen für Freiwillige	3.828,44 USD
Sonstiges	161,00 USD
Energie und Elektroinstallationen	3.448,86 USD
Innenausstattung	1.007,80 USD
Gerüstleihe	400,00 USD
Materialkosten	49.186,24 USD
Kommunikation	396,80 USD
Gesamtkosten	65.854,54 USD

Den mit Abstand größten Anteil an den Baukosten machten die Materialien aus, wie aus der folgenden Grafik ersichtlich ist.



Insgesamt wurden € 49.724,20 von PFAU zweckgewidmet für den Bau an die Kariyangwe Mission Primary School, direkt an Lieferanten bzw. zur Ausgabenrückerstattung an das österreichische Projektteam übermittelt, was einem Netto-Gegenwert nach Abzug von Gebühren von USD 63.106,40 entspricht. Die Finanzierung

des ausständigen Restbetrags von USD 2.748,14 wurde von der Schule übernommen.

Das Projekt wurde über verschiedene Sponsoren und Aktivitäten finanziert. RED CHAIRity unterstützte das Projekt mit € 18.700, und Herr Stefan Baschny stellte uns dankenswerterweise € 12.000 zur Verfügung. Zusätzlich konnte PFAU bei einem Wettbewerb des Unternehmens BASF € 5.000 zweckgewidmet für das Projekt gewinnen. Auch Books4Life Graz entschloss sich, das PFAU-Projekt als Jahresprojekt auszuwählen und € 5.056 als Spendenbeitrag zu leisten. Darüber hinaus ermöglichte es uns der Entwicklungshilfeklub, ein Durchläuferprojekt mit Bezug auf den Bau der Schulküche und des Kindergartens zu starten. Die restliche Summe wurde durch Einnahmen aus diversen PFAU-Veranstaltungen und privaten Spenden bzw. der Eigenfinanzierung durch Kariyangwe Mission Primary School zur Verfügung gestellt.

Rechnungen zu den einzelnen Positionen können natürlich auf Anfrage eingesehen werden.

Zweckgewidmete Überweisungen		
Datum	Begünstigter	Nettobetrag (USD)
24.05.16	PPC Zimbabwe	7.231,20 USD
08.06.16	Diocese Hwange	22.489,00 USD
08.07.16	Diocese Hwange	16.044,00 USD
01.09.16	Diocese Hwange	5.782,00 USD
06.09.16	W. Leeb (Erstattung von Auslagen)	8.560,20 USD
01.11.16	Kariyangwe Mission Primary School	3.000,00 USD
		63.106,40 USD

Erfahrungen, Lerneffekte und Besonderheiten

Eine besondere Herausforderung war die wirtschaftliche Situation in Simbabwe: Lieferengpässe, die einerseits durch Güterknappheit in Simbabwe, andererseits durch fehlende Liefertreue von Lieferanten verursacht wurden, hatten großen Einfluss auf den Baufortschritt. Trotz dieser Schwierigkeiten kann der angepeilte Projektabschluss mit Ende 2016 eingehalten werden.

Voluntarismus wird zwar zunehmend wichtiger in Simbabwe und dem südlichen Afrika, ist allerdings noch nicht weit verbreitet. Trotzdem war die Bevölkerung von Kariyangwe davon überzeugt, dieses Projekt für die Gemeinschaft und damit zum Wohl aller durchzuführen. Auch ein bautechnischer Wissenstransfer fand statt: Bisher wurden Bauflächen nicht eingeebnet, sondern Unebenheiten mit Baumaterial aufgefüllt. Da sich im Lauf der Zeit Gebäude immer wieder senken, waren oft zentimeterdicke Risse in den Gebäuden die Folge. Der größere Aufwand der Ein-ebnung fand – nach anfänglichen Überzeugungsschwierigkeiten aufgrund der Mehrarbeit – viele Anhänger. Darüber hinaus wurden die freiwilligen Helfer und Helferinnen mit Essen versorgt, was positiv sowohl auf Anwesenheit der Helfer wie auch auf die Arbeitsleistung auswirkte.

Sämtliche Freiwillige, die entsprechend am Projekt mitgearbeitet haben, erhalten bei einem großen Schulfest im Dezember 2016 ein offizielles, von der Kariyangwe Mission Primary School ausgestelltes Zertifikat, das die Mitarbeit, Kenntnisse und die geleisteten Tätigkeiten nachweist.

Aktuelle Fotos



Bild 11: Außenfassade Kindergarten am 28.11.2016



Bild 12: Schulküche am 28.11.2016



Bild 13: Fertiggestellte Verglasung (28.11.2016)



Bilder 14 und 15: Letzte Arbeiten an der Fassade des Kindergartens (28.11.2016)

Anlage: Solares Konzept - Diplomarbeit.pdf

In diesem Dokument finden sich Details zum Solarkonzept der Schulküche, unter anderem mit einem Überblick über die betrachteten Technologien, Berechnungen zur notwendigen Energiezufuhr zur Zubereitung der Schulmahlzeiten mit unterschiedlichen Schulküchenkonzepten und einer Betrachtung und Abwägung der Vor- und Nachteile der jeweiligen Technologien.

1.1 Technological Research

A typical oven in the region runs by firewood, just as the current cooking bowls at the Mission. Due to the reason that the environment of Kariyangwe is quite infertile, there are not many trees and firewood is a scarce good. Therefore, a main requirement for the construction of a kitchen was that it has to be powered by a sustainable system. The concept of solar cooking has steadily developed in recent history and has already come to use in developing countries. It also fits for our project because it makes it possible to reduce the firewood consumption due to cooking.

The basic principles of all solar cookers are concentrating sunlight on a small area, converting the sunlight into heat and trapping the heat in a medium like air, water or oil. (Yadhunath 2013)

There are several ways to heat food with solar energy. The most relevant of them are listed below:

- Solar box cooker
- Photovoltaic collectors
- Flat solar collectors
- Spherical reflectors
- Parabolic reflectors
 - Parabolic mirror systems on small scale
 - Scheffler Reflector
 - Parabolic trough

In the following part, first the required amount of energy to serve a warm meal for the 800 pupils of the Primary School will be calculated followed by a calculation of the wood consumption of a kitchen run on firewood. Then there will be a rough comparison where all kinds of solar cooking concepts are shown and their suitability for the school kitchen will be determined. Then, the final concept will be defined by evaluating the possible concepts in detail.

1.1.1 Energy needed for the daily meal

There are about 800 pupils attending the primary school. The solar system will be scaled a bit bigger than needed to cover a possible increase of students. Therefore, the energy consumption is evaluated by using 1 000 students as assessment basis.

Each child gets 150 grams of rice or maize meal a day and 60 grams of beans in addition. 10 grams of cooking oil are added for food preparation. The sum of those ingredients makes 220 grams of food per child. (PFAU 2015) During preparation 2 parts of water in relation to 1 part of food are added in the cooking pot. Therefore, we assumed about 500 grams of water used to prepare a meal for a child.

The sum of those materials now has to be heated up to at least 100°C. If we assume a base temperature of 20°C, there is a difference of 80°C. This difference, together with the mass of food, has to be multiplied by the *heat storage capacity* of water (~4,19kJ/kgK which is 4,19/3600 kWh/kgK) to get the energy needed to heat the water and the food up to 100°C. We assume that the heat storage capacity of the food is the same as that of water. It is probably a bit lower but we are on the safe side with this assumption.

(1kJ=1kWs → 1kWs/3600 = 1kWh)

We also assume that about 5% of the water will evaporate during the cooking process. The energy needed to evaporate water amounts to 2453 kJ/kg (which is 2453/3600 kWh. This value has to be multiplied by 5% of the cooking materials and added to the existing energy demand to get the final energy demand for food preparation.

If the single components are combined, the required energy can be calculated by using the following formula:

$$1000 \times (0,22kg + 0,55kg) \times \frac{80^{\circ}C \times 4,18kJ/kgK + 0,05 \times 2453kJ/kg}{3600} = 90,77kWh$$

The energy amount to prepare food for 1.000 children therefore amounts to 90,77kWh per day.

1.1.2 Firewood consumption

To determine the required amount of wood to prepare the food, the required energy amount has to be divided by the heat value of wood. The heat value of wood is related to its moisture. Wood which is stored for about two years has a moisture of about 15%. The local wood may reach this value even faster because of the dry climate. However, the *heat value* of wood amounts from 4 to 4,5 kWh/kg depending on the type of wood. (Herrman and Weber 2011) For our calculation, we assume a heat value of 4,2 kWh/kg.

In addition, the efficiency of the used oven has to be considered. European ovens reach efficiencies of 80 to 90%. However, the ovens used in the kitchen will probably be handmade and will therefore have a lower efficiency which we assume at about 50%. The bonfires which fire the pots that are currently used have an even lower efficiency which we assume at about 20%. Below, you can see the formula for the firewood consumption per day:

$$m = \frac{Q}{H \times i}$$

m: required amount of wood per day H: heat value of the used wood
 Q: required energy per day I: efficiency in %

To determine the firewood consumption throughout the year, the daily consumption has to be multiplied with the yearly school days. With information about the school times that we got from PFAU, we were able to calculate 204 school days per year.

In the following table, the wood consumption per day and year is calculated with 3 efficiencies. 85% for a sophisticated oven, 50% for an isolated oven of lower quality and 20% for the approximate wood consumption of the current bonfires.

	Required energy per day [kWh]	Heat value [kWh/kg]	Efficiency [%]	Firewood consumption per day [kg]	Firewood consumption per year [kg]
Sophisticated oven	90,77	4,2	85	25,42	5.185,68
Low quality oven			50	43,23	8.818,92
Bonfire			20	108,70	22.174,80

Fig. 1: Calculation of the firewood consumption

Although the consumption is assessed for 1.000 pupils, the amount of firewood that is currently needed by the bonfire is still a massive value, especially for a dry region where wood is scarce. The consumption could be reduced drastically by using efficient ovens. However, by using solar power, the required fuel of the kitchen could be reduced even more.

1.1.3 Rough evaluation of solar cooking systems

Solar box cooker

One of the oldest solar cooking concepts is the *Solar Box Cooker* invented by the Swiss naturalist Horace de Saussure in 1767. (Yadhunath 2013, 73)

It basically consists of a square or rectangular box which has a typical size of about 50cm/50cm/12cm. The box is insulated at the bottom and the sides and covered by glass on the top. Solar radiation enters through the glass plate and heats up the interior of the box where a cooking pot could be placed. A reflector is attached to the top of the box and its inclination can be varied to concentrate additional sunlight in the box. There are also box cookers with reflectors attached to all 4 sides of it. To use the heat in an efficient way, the cooking pot should be of dark color and the interior walls reflective.

According to its dimensions and the used materials, the interior of a box cooker can reach from 100° to 150°C¹ without the use of an inclined reflector. IF a reflector is used, the cooking temperature can rise from about 15° to 20°C. The temperature may also vary from this range, if high quality materials or additional technology are used to build the cooker. (Sukhatme 2008, 65-66)

Box-type solar cookers are easy to handle. A pot with food is placed within the box and the box is placed in the sun until the food is ready to eat. Due to this simple operation the concept is wide spread in sunny regions like India.

A disadvantage of the system is the fact that it can only cook at low temperatures (100°C) so that food which has to be heated with higher temperatures cannot be served when the box cooker is used. (Sukhatme 2008, 66)



Fig. 2: Example for a box type solar cooker (Wikipedia)



Fig. 3: HotPot solar panel cooker (Wikipedia)

¹ According to Yadhunath (2013, 73) the cooker reaches a temperature of 150°C, on the other hand states Sukhatme (2008, 65) that it can reach a temperature of about 100°C. In conclusion the performance depends on many aspects like the dimension etc.

Similar to the box-design are the *Solar Panel Cookers*. A reflective material such as aluminum foil is pasted on a flat material (e.g. cardboard) which is cut and folded in a way that lets the reflectors concentrate the sunlight on a cooking pot inside the cooker. This design is very inexpensive and works quite similar to the box cooker.

In conclusion, the solar box cooker is a useful concept for individuals that do not want to waste fuel when cooking for their own because it is easy to use and simple to construct. However, the system is not ready to provide great numbers of people because it only exists in small scale format and its performance is limited to a certain temperature. Therefore the system does not qualify for our school-kitchen.

Photovoltaic collectors

By using photovoltaic collectors, the energy of the sun could be transformed to electricity, which would be used to propel electrical cookers or ovens. However, photovoltaic systems have a low efficiency of about 20% (Wesselak and Voswinckel 2012) while e.g. solar panels that heat water can reach higher efficiencies of about 50%. In addition, photovoltaic collectors need additional installations for electricity as well as possibilities to store an excess of power (e.g. batteries).

These circumstances would cause additional need of area covered by solar panels as well as additional costs due to additional electrical equipment. Therefore, photovoltaic collectors would be an inefficient way to power the kitchen in our case.

Flat solar collectors

With flat solar collectors, water, which would be used to prepare the meals, could be heated directly by the sun. The efficiency of such systems varies from 80% to 0% according to the temperature difference between the outer temperature and the temperature of the absorber. (Müller 1985) Due to the variation of the outer temperature throughout the year and other factors, we assume an efficiency of about 50%.

The system is easy to install and capable of using both direct and diffuse solar irradiation, while spherical and parabolic systems are only able to use direct irradiation due to the fact that they have to focus the sunbeams. The flat solar collector fits to our concept and will be evaluated in detail later.

Spherical reflectors

A special solar cooking concept is the *spherical reflector* which is used in industrial kitchens like Auroville, India where it serves 2.000 people daily with food. The system uses a stationary spherical reflector to focus light along a line perpendicular to the surface of the sphere. A computer-controlled system moves a receiver along this line of concentration in which steam at temperatures up to 150°C is produced. (Yadhunath 2013, 75-76)



Fig. 4: The Solar Bowl in Auroville is one of the most famous spherical reflectors (Wikimedia)

The thing about the spherical reflector that differs mainly from the parabolic reflectors later in the text is the fact that the reflector is stationary while the receiver moves along the line of focus while the parabolic systems have a movable reflector and a stationary point of focus.

While the concept has the potential to feed great amounts of people, it still is not usable for our project. The highly sophisticated technology which is needed to make the receiver tracking the line of focus is much more expensive than other solar cooking concepts, much more difficult to construct and needs a steady supply of electricity which also costs money. If the system encounters any errors in the badly developed region around Kariyangwe, professionals, who are usually far away in towns, would be needed to fix the problem. Therefore it does not fit into the rural area around the Mission.

Parabolic mirrors

While all solar cooking concepts use reflective materials to concentrate light and dark materials to obtain the radiation, the shape of the parabola (2-dimensional shape) or paraboloid (3-dimensional shape) does this in the most efficient way.

Parallel rays of light are reflected by the parabola to a point of focus which could be the downside of a cooking pot or just an energy obtaining medium like water in a tube.

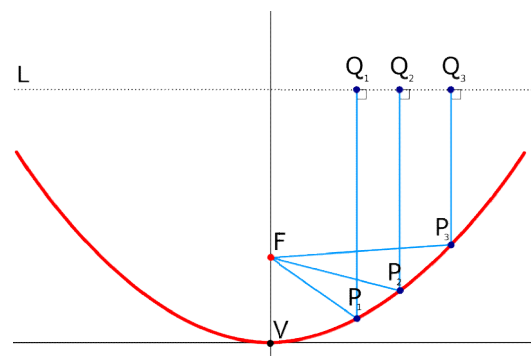


Fig. 5: The parabola reflects parallel incoming radiation to one focal point. (Wikimedia)

With this strong concentration of solar radiation parabolic cookers are able to cook quickly and at high temperatures in relation to other solar cooking systems. However, to focus

enough sunlight the parabolic mirror has to be adjusted to the inclination of the sun throughout the day.

If the mirror is shaped in a way that its center of mass is coincident with its point of focus, it could be mounted in a way that the mirror can easily be adjusted while the point of focus always stays the same, so that the receiver of radiation does not have to be moved. (Yadhunath 2013, 75)

Parabolic mirror systems on small scale

There is a wide range of small scale solar cooking systems that benefit from the parabola-concept. Most of them are small, handy paraboloids made of sheet iron. They often consist of segments so you can dismantle the mirror and transport it easily. In the center of the mirror, at the location of the focal point there is usually a mounting where you can place your cooking pot. There are many variations of the system like the solar tea kettle for example.

These concepts are (like the box-cooker) designed for individuals who want to save fuel while cooking and need small cookers so they can be taken along while travelling. To heat large amounts of food in a short time, bigger reflectors with greater efficiency are needed.

Scheffler Reflector

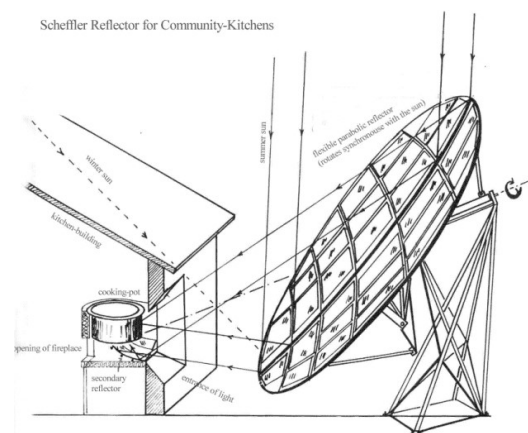


Fig. 6: Depiction of a Scheffler Reflector together with its cooking place (Solare Brücke 2016)

The *Scheffler Reflector* is a solar cooking concept developed by Wolfgang Scheffler in Kenya especially for developing countries. (Solare Brücke 2016)

The reflector has the shape of a small lateral section of a much larger paraboloid, that gets oriented by an automatic mechanism according to the situation of the sun throughout the day. The parabolic shape is flexible and its bulge alters to compensate the change of the sun's inclination throughout the year. In addition, the inclination of the reflector is also adjusted every 2-3 days. Due

to this special construction of the mirror, its focal point is stationary and in a distance to the object. The cooking place is usually situated at the location of the focal point and can be integrated into a building. (Yadhunath 2013, 76-77)

Although the construction of a Scheffler Reflector is quite complicated, the system has no need for any wiring or water pipes because the sunbeams are focused directly on the cooking place. Due to this and the fact that there are several construction guides on the internet, the system is simple enough to be applied for our kitchen and will be considered in the detailed evaluation.

Parabolic trough

This concept uses a curved, mirrored trough to reflect direct solar irradiation on a tube which is located in the focal point of the parabola. The mirror has a parabolic shape in its cross section which is linearly extended in the orthogonal axis. Therefore, the trough has not a single focal point, but a focal line. A fluid runs through the tube in this focal line and gets heated by the concentrated sunlight. This fluid could finally be used to prepare meals in the kitchen. (Bhatia 2014, 100)

Due to the reason that the focal point is extended to a line, the orientation of the mirror is not as complicated as at the Scheffler Reflector. The trough tilts east to west so that it is oriented towards the sun throughout the day. The seasonal change of the sun's inclination does not have to be considered in the orientation because the sunbeams just arrive elsewhere on the focal line when the inclination alters. (Bhatia 2014, 100)

In our case, we would tilt the mirror from north to south in the daily inclination of the sun. The efficiency would not be as high as if we tracked the sun from east to west throughout the day, but the mirror just has to be tilted once a day and no tracking mechanism is needed in this case.

While the orientation of the system is not as complex as it is with the Scheffler Reflector, a pump will be needed to transport the fluid through the pipes. However, the concept is still simple and efficient enough to be considered in the detailed evaluation.

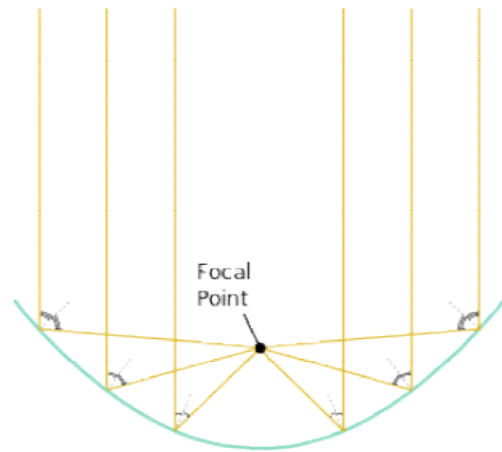
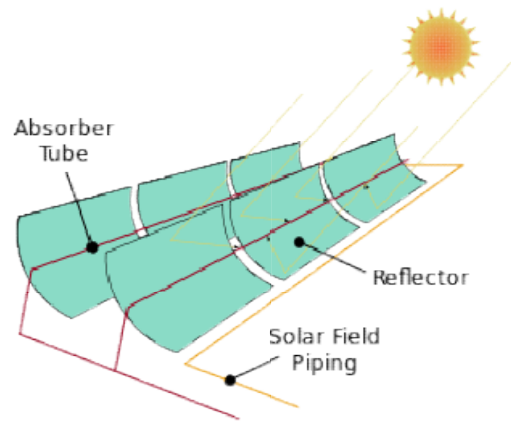


Fig. 7: Depiction of a parabolic trough system (Wikimedia 2008)

1.1.4 Detailed evaluation of the suitable systems

Available solar energy

Before we are able to choose our final solar system, we have to know how much solar energy is available in Kariyangwe throughout the year. All of the important solar data was evaluated with assistance of the software *METEONORM* Version 6.1.0.23.

The following chart shows the local temperature throughout the year. The common temperature-values are located within the thick lines of the boxplot:

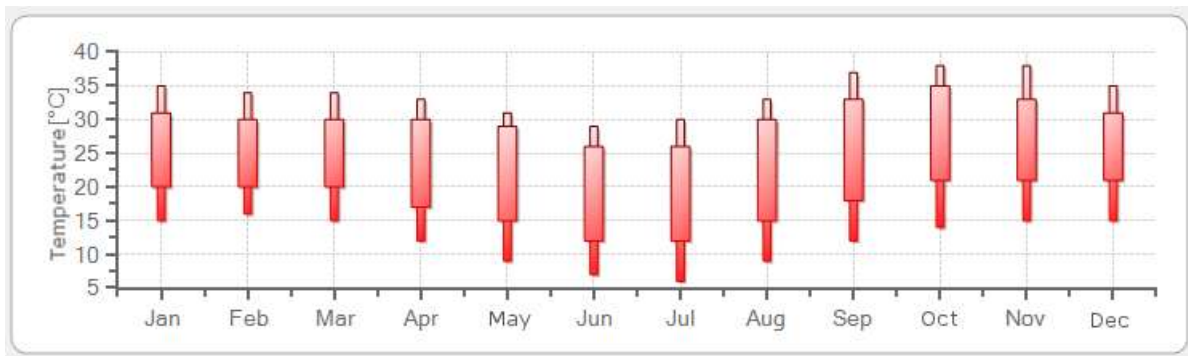


Fig. 8: Temperature in Kariyangwe throughout the year (METEONORM)

This chart shows Kariyangwe's precipitation throughout the year. However, the current precipitation values differ from those in the chart due to the local drought:

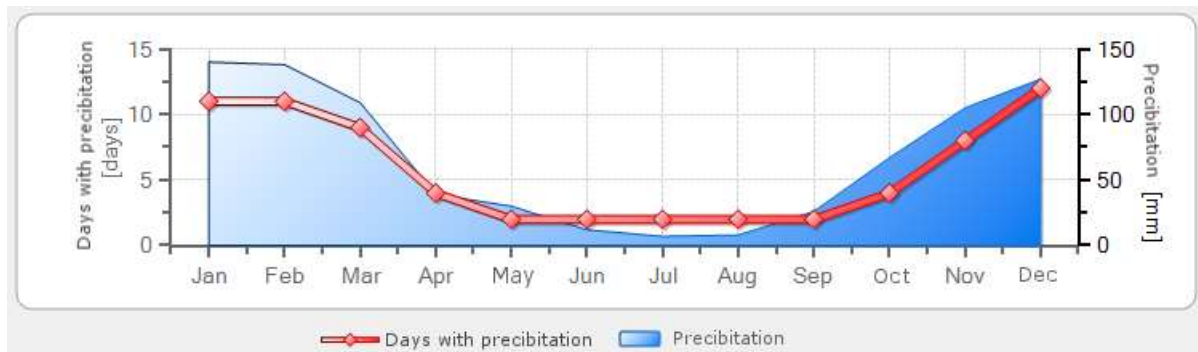


Fig. 9: Precipitation in Kariyangwe (METEONORM)

Daily time of sunshine:

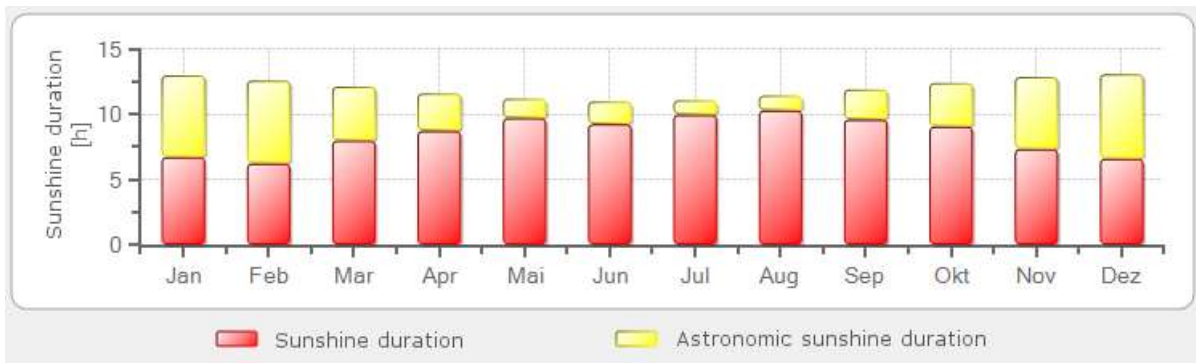


Fig. 10: Sunshine duration in Kariyangwe (METEONORM)

Daily solar irradiation: (The great variations in the irradiation from September to April occur due to the rainy season)

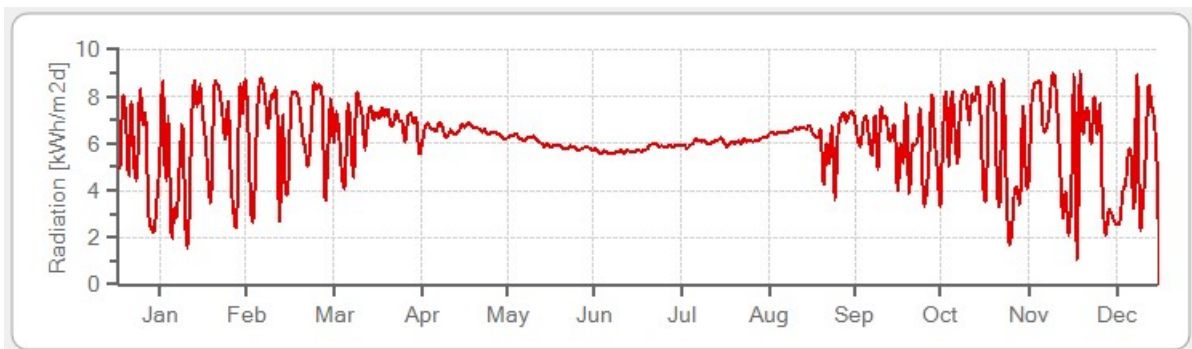


Fig. 11: Solar irradiation in Kariyangwe (METEONORM)

Direct and diffuse solar irradiation per day:

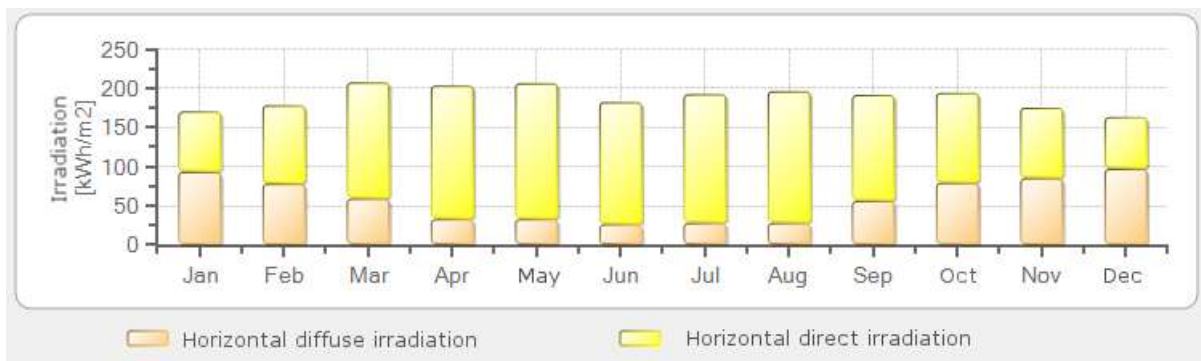


Fig. 12: Direct and diffuse solar irradiation in Kariyangwe (METEONORM)

The solar information that is important for our systems are the global irradiation on the horizontal plane (for the solar collectors), the trackable direct irradiation or the direct irradiation on a surface with ideal inclination throughout the day (for the Scheffler Reflector) and the direct irradiation on a plane which is tilted once a day in an efficient angle (for the parabolic trough). Although our solar collectors are also slightly tilted (the angle of the kitchen roof), we are going to take the irradiation values of the horizontal plane for our calculations, because the difference is not big and we are on the safe side with this assumption.

The following table provides information about these values. The irradiation data differs of course from month to month. To simplify our calculation, we just use the data from the months where each season changes (March, June, September, December), because they give an average overview of how irradiation changes throughout the year. The values refer to a whole month and have to be divided by its days if we want to calculate the daily irradiation.

Month	Global irradiation on the horizontal plane [kWh/m ²]	Direct irradiation on an ideally tilted plane throughout the day [kWh/m ²]	Maximum inclination of the sun on the 21 st of each month (azimuth) [°]	Direct irradiation on a plane tilted by the sun's inclination once a day [kWh/m ²]
Mar	207	210	17,97	147
Jun	183	258	41,23	210
Sept	191	200	17,97	140
Dec	163	106	-5,29	78
Average	186	194	-	144

Fig. 13: Relevant solar data (METEONORM)

As seen in the table, the direct radiation varies heavily. The highest values can be found in June and the lowest in December. This happens because of the rainy season from September to April. We have to consider the fact that there can be days without any direct sunlight during this time. Therefore, systems which are dependent on direct irradiation become very inefficient during this time and additional heating with firewood is essential anyway.

Furthermore, we have to consider the fact that the average direct radiation throughout a month is quite small in the rainy season, because there are many cloudy days. But when

there is a sunny day during this season, the radiation is even higher than during the months of drought as it can be seen in fig. 22.

Due to the reason that systems like the Scheffler Reflector and the parabolic trough will not work on a cloudy day, we should not concentrate on monthly average values in our assessment, but merely take the values of the sunny season.

However, in the assessment of our flat solar collectors we can take the average values because this system also works with diffuse sunlight which is also available on rainy days.

Assessment of the flat solar collectors

Theoretically, if we want to calculate the required area of solar panels, we just have to divide our required daily energy by the available daily energy per m^2 and the efficiency. However, a problem that we encounter when using flat solar collectors is that the efficiency of the system sinks with rising difference between the temperature of the absorber (water in the collector) and the outer temperature. There are special *vacuum-tube collectors* which even have quite a high efficiency at great temperature differences but we cannot be sure that this system will be available in the local area and therefore we are assessing the required area by assuming the use of a normal solar collector.

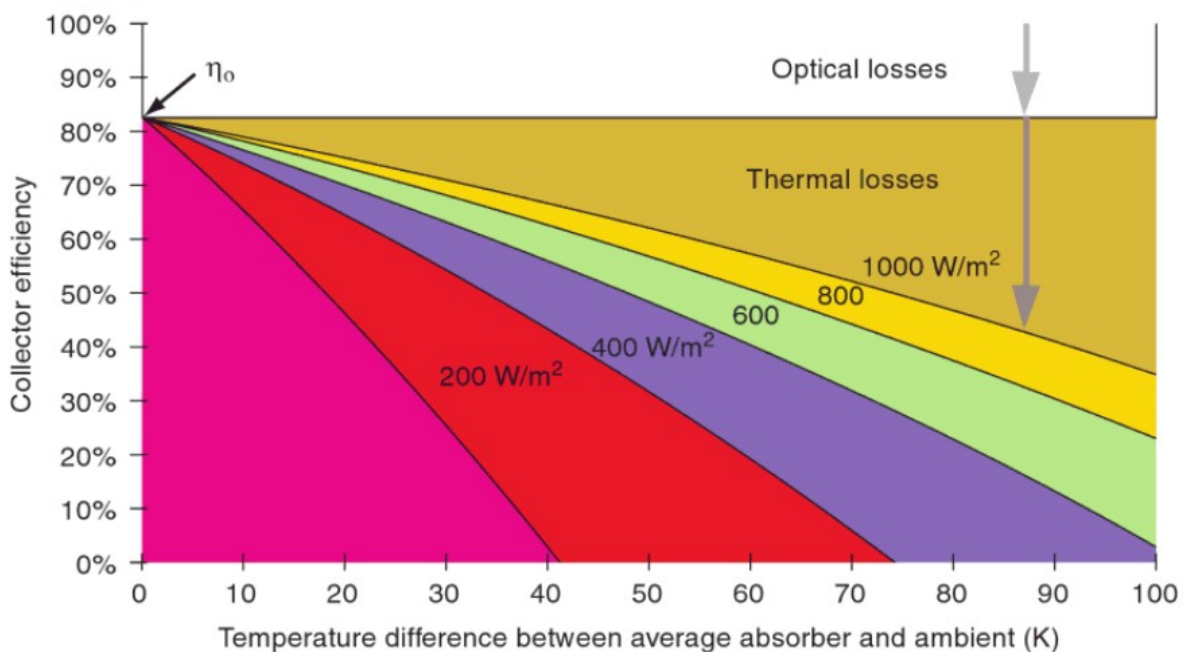


Fig. 14: The efficiency of a solar collector depends on its construction, temperature difference and the irradiance level (W/m^2)

(Picture and description derived from the book "Solar domestic water heating" by Chris Laughton)

If boiling water should be produced just with the solar panels, the system will get quite inefficient due to the high temperature difference. In addition, the evaporation of the water, which costs a great amount of energy, will require a much larger area of solar collectors due to the inefficiency of the system.

Therefore, we would heat the water just up to 90°C (temperature difference = 70°C) so that the solar panels can still work on an acceptable efficiency. The remaining energy needed would then be covered by an insulated oven run on firewood.

We researched the efficiencies of different solar collectors on the *Solar Keymark Database* (<http://www.solarkeymark.dk/>) and were therefore able to assume an efficiency of about 45% at a temperature difference of 70°C.

Before the required collector area can be assessed, the required energy to heat the water up to 90°C has to be calculated:

$$\frac{1000 \times (0,22kg + 0,55kg) \times 70^{\circ}C \times 4,18kJ/kgK}{3600} = 62,58kWh$$

The required daily energy can now be divided by the average daily global solar irradiation per m². The efficiency and the conversion of the monthly solar irradiation to a daily value has to be considered:

$$\frac{62,58kWh \times 31}{186kWh/m^2 \times 0,45} = 23,18m^2$$

The required *aperture area* of the solar panels would therefore be 23,18m². To calculate the remaining required daily amount of wood, the remaining amount of energy that has to be covered, needs to be determined first:

$$90,77kWh - 62,58kWh = 28,19kWh$$

With this value, the required daily amount of firewood can be defined:

$$\frac{28,19kWh}{4,2kWh/kg \times 0,50} = 13,42kg$$

The remaining demand of firewood would be 13,42kg per day or 2.737,68kg per year (13,42 x 204) which is about the tenth part of the current firewood demand.

Assessment of the Scheffler Reflectors

The efficiency of a Scheffler Reflector for cooking depends on the condition of the reflector surface and can reach 57% when water is heated from 25°C to 100°C. (Solare Brücke 2016)

Due to the fact that our base temperature of the water is 20°C and a surface that is always cleaned perfectly cannot be guaranteed, we assume an efficiency of 50% to be on the safe side.

With this information, the required aperture area can be calculated:

$$\frac{90,77kWh \times 30}{258kWh/m^2 \times 0,50} = 21,11m^2$$

The required aperture area for preparing the daily meal is 21,11m². An 8m² Scheffler Reflector has an aperture area of 5,46m² during equinox (Solare Brücke 2016). Therefore, about 4 mirrors would be needed at least.

Assessment of the parabolic trough

The efficiency of a parabolic trough varies with the geometry of its parabola and the condition of its surface. However, due to the fact that the mirror consists of similar materials and works on the same principles as the Scheffler Reflector, an efficiency of 50% will be assumed in this case.

Hereby, the required aperture area can be calculated:

$$\frac{90,77kWh \times 30}{210kWh/m^2 \times 0,50} = 25,93m^2$$

The required aperture area, which is 25,93m², would be the rectangular area that is created by the span width of the parabola. With the calculated information, a parabolic trough with a length of about 9m and a width of about 3m can be assumed.

Conclusion

The aperture area which is needed by each of the three systems is nearly the same. However, there are other factors which influence our decision on the final systems.

The consumption of firewood cannot be reduced to 0 by any of the systems. While the flat collectors always need a small amount of firewood, the other two systems may run without the need of any fuel addition during drought, but they become very inefficient during the rainy season. Due to the fact that the mirrors can only work at a bright sky, they become very unreliable from September to April and much firewood is required during that time. The exact amount cannot be determined because we do not know how many days of rain will occur during the year.

In addition, the two mirror systems are far more complicated in construction. If they are not built well enough, the sunlight will not focus on the absorber and the system becomes inefficient. The local people also have to be guided on how to handle the systems, because they have to be tilted towards the sun nearly every day.

The two mirror systems also require a large space on the ground, while the flat collectors can easily be mounted on the roof of the kitchen. The Scheffler Reflector is a very inefficient solution in this case because the single mirrors have to be erected in a distance from each other so they will not throw shadows on the other reflectors. However, the cooking pots would still have to be located in front of each mirror and the kitchen would therefore have to be a very long building.

Due to all these reasons, we have chosen the flat solar collectors for our kitchen, because they are more reliable than the other systems and they are simple to install and handle.