



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
Hamburg University of Applied Sciences

# Energetische und Wirtschaftliche Betrachtung von thermischen Solaranlagen in verschiedenen Regionen Deutschlands

**Diplomarbeit**

**Ibtissam Madih**

Matr.-Nr.: 183 23 96



1. Betreuer:  
2. Betreuer:  
Abgabedatum:

Prof. Dr.-Ing. Franz Vinnemeier  
Prof. Dr.-Ing. Bernd Sankol  
21.02.2012

# Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung .....	- 6 -
1.1.	Aufgabenstellung .....	- 8 -
2.	Solare Strahlung .....	- 9 -
2.1.	Solarstrahlung auf der Erdoberfläche .....	- 9 -
2.1.1.	Direkte Strahlung .....	- 12 -
2.1.2.	Diffuse Strahlung .....	- 12 -
2.2.	Sonnenscheindauer .....	- 13 -
2.3.	Sonnenstand .....	- 13 -
2.4.	Messung von Sonnenstrahlen .....	- 18 -
2.4.1.	Pyranometer .....	- 18 -
2.4.2.	Pyrheliometer .....	- 18 -
2.4.3.	Sonnenscheinautographen .....	- 19 -
3.	Aufbau einer Solarthermie-Anlage .....	- 20 -
3.1.	Kollektoren .....	- 21 -
3.1.1.	Prinzip des Solarkollektors .....	- 21 -
3.1.2.	Eigenschaften des Absorbers .....	- 26 -
3.1.3.	Speicherkollektoren .....	- 27 -
3.1.4.	Flachkollektoren .....	- 28 -
3.1.5.	Vakuurröhrenkollektoren .....	- 29 -
3.1.6.	Vakuurröhrenkollektor CPC .....	- 30 -
3.1.7.	Vergleich Kollektorwirkungsgrad .....	- 31 -
3.2.	Wärmeträgermedien .....	- 32 -
3.3.	Wärmespeicher und Wärmetauscher .....	- 33 -
3.3.1.	Brauchwasser Druckspeicher .....	- 34 -
3.3.2.	Drucklose Speicher .....	- 35 -
3.3.3.	Kies- Wasserwärmespeicher .....	- 35 -
3.4.	Pumpen .....	- 35 -
3.5.	Leitungssysteme .....	- 36 -
3.6.	Regeleinheit .....	- 36 -
4.	Simulationsprogramme .....	- 38 -
4.1.	CASAnova 3.3 .....	- 38 -
4.2.	T*SOL .....	- 39 -
5.	Grundlagen der Simulation .....	- 40 -
5.1.	Das Musterhaus .....	- 40 -
5.1.1.	Gebäude .....	- 40 -
5.1.2.	Fenster .....	- 41 -

5.2.	Basis Daten .....	- 42 -
5.2.1.	Grundlagen des Heizungssystem .....	- 42 -
5.2.2.	Heizenergiebedarf nach Regionen .....	- 44 -
5.2.3.	Energiebedarf für Warmwasser .....	- 49 -
5.3.	Vorgehensweise bei der Simulation.....	- 50 -
6.	Ergebnisse der Simulation.....	- 51 -
6.1.	Simulation Hamburg .....	- 52 -
6.1.1.	Flachkollektoren.....	- 52 -
6.1.2.	Simulation Hamburg Vakuumröhrenkollektor.....	- 55 -
6.1.3.	Auswertung für Flachkollektoren und Vakuumröhren in Hamburg ....	- 58 -
6.2.	Simulation Freiburg.....	- 58 -
6.2.1.	Flachkollektoren.....	- 58 -
6.2.2.	Vakuumröhrenkollektor .....	- 61 -
6.2.3.	Auswertung für Flachkollektoren in Freiburg .....	- 64 -
6.3.	Simulation Sevilla Flachkollektor .....	- 65 -
6.3.1.	Flachkollektoren.....	- 65 -
6.3.2.	Vakuumröhrenkollektor .....	- 68 -
6.3.3.	Auswertung für Flachkollektoren in Sevilla.....	- 70 -
6.4.	Ergebnisse in Prozent zum maximalem Ertrag.....	- 71 -
6.5.	Vergleich der Jahresenergiemenge von Flachkollektoren zu Vakuumröhren	- 72 -
	-	
6.6.	Auswertung der simulierten Ergebnisse .....	- 74 -
7.	Wirtschaftliche Betrachtung .....	- 75 -
7.1.	Preise für Solarthermie-Anlagen zur Heizungsunterstützung.....	- 75 -
7.2.	Einsparung der Kosten durch Brennstoff pro Jahr im Vergleich aller Standorte und Speichergrößen.....	- 77 -
7.2.1.	Hamburg.....	- 78 -
7.2.2.	Freiburg .....	- 79 -
7.2.3.	Sevilla .....	- 80 -
7.3.	Berechnung der Wirtschaftlichkeit .....	- 81 -
7.3.1.	Hamburg Amortisation.....	- 81 -
7.3.2.	Freiburg Amortisation .....	- 82 -
7.3.3.	Sevilla Amortisation .....	- 83 -
8.	Einsparung von CO <sub>2</sub> -Emissionen .....	- 84 -
9.	Fazit.....	- 86 -
	Internetverzeichnis .....	- 88 -
	Literatur.....	- 89 -
	Abbildungsnachweis .....	- 90 -

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Sonnenstrahlung auf Erdoberfläche .....	- 10 -
Abbildung 2 - Sonnenstand am Mittag im Laufe eines Jahres in Berlin .....	- 11 -
Abbildung 3 - Die Globalstrahlung und ihre Komponenten.....	- 11 -
Abbildung 4 - Verteilung direkte- und diffuse Strahlung <a href="http://www.sun-area.net...">http://www.sun-area.net...</a>	- 12 -
Abbildung 5 - Strahlungsverteilung in Deutschland, <a href="http://gerber.tv">http://gerber.tv</a> .....	- 14 -
Abbildung 6 - Berechnung des Sonnenwinkels .....	- 16 -
Abbildung 7 - Zusammenhang zwischen täglicher globaler Strahlung und täglicher diffuser Strahlung auf horizontale Flächen.....	- 17 -
Abbildung 8 - Pyranometer, <a href="http://pkd.eijkelpkamp.com">http://pkd.eijkelpkamp.com</a> .....	- 18 -
Abbildung 9 - Pyrliometer, <a href="http://eko-usa.com">http://eko-usa.com</a> .....	- 18 -
Abbildung 10 - Sonnenscheinautograph, <a href="http://specula.at">http://specula.at</a> .....	- 19 -
Abbildung 11 - Solarthermisches System mit Heizungsunterstützung <a href="http://www.bonn.de">http://www.bonn.de</a> .....	- 20 -
Abbildung 12 - Darstellung von Absorber und Leitungssystem .....	- 21 -
Abbildung 13 - Darstellung von Wärmeabstrahlungen und Konvektion .....	- 22 -
Abbildung 14 - Darstellung der Abdeckung in vereinfachter Form .....	- 23 -
Abbildung 15 - Darstellung der Auswirkungen durch die Abdeckung .....	- 24 -
Abbildung 16 - Auswirkung auf den Wirkungsgrad durch Temperatur Änderungen <a href="http://www.iundm.de/lars/4_1_Solarthermie.htm">http://www.iundm.de/lars/4_1_Solarthermie.htm</a> .....	- 25 -
Abbildung 17 - Speicherkollektor von Calpak vacuum, <a href="http://eco-casa.de">http://eco-casa.de</a> .....	- 27 -
Abbildung 18 - Flachkollektor verschiedenen Bereiche, Sonnenenergie pdf ..	- 28 -
Abbildung 19 - Vakuumröhrenkollektor, <a href="http://startec.at">http://startec.at</a> .....	- 29 -
Abbildung 20 - Funktion eines CPC-Kollektors .....	- 30 -
Abbildung 21 - Vergleich von Kollektorarten <a href="http://www.xn--ing-bro-junge-0ob.de/assets/images/Wirkungsgrad-Kolltyp.gif">http://www.xn--ing-bro-junge-0ob.de/assets/images/Wirkungsgrad-Kolltyp.gif</a> .....	- 31 -
Abbildung 22 - Frostschutzmittel Arbeitsbereiche, Firma TYFO.....	- 33 -
Abbildung 23 - Druckspeicher, Firma Buderus .....	- 34 -
Abbildung 24 - Schema solarthermische Anlage aus T*SOL.....	- 43 -

## Diagrammverzeichnis

Diagramm 1 - Heizwärmebedarf Standort Hamburg .....	- 45 -
Diagramm 2 - Heizwärmebedarf Standort Freiburg .....	- 47 -
Diagramm 3 - Heizwärmebedarf Standort Sevilla .....	- 48 -
Diagramm 4 - Simulation Hamburg 500 Liter.....	- 52 -
Diagramm 5 - Simulation Hamburg 1000 Liter .....	- 53 -
Diagramm 6 - Simulation Hamburg 2000 Liter .....	- 54 -
Diagramm 7 - Hamburg 500 Liter Röhre .....	- 55 -
Diagramm 8 - Hamburg 1000 Liter Röhre .....	- 56 -
Diagramm 9 - Hamburg 2000 Liter Röhre .....	- 57 -
Diagramm 10 - Simulation Freiburg 500 Liter Flach .....	- 59 -
Diagramm 11 - Simulation Freiburg 1000 Liter Flach.....	- 60 -
Diagramm 12 - Simulation Freiburg 2000 Liter Flach.....	- 61 -
Diagramm 13 - Simulation Freiburg 500 Liter Röhre.....	- 62 -
Diagramm 14 - Simulation Freiburg 1000 Liter Röhre.....	- 62 -
Diagramm 15 - Simulation Freiburg 2000 Liter Röhre.....	- 63 -
Diagramm 16 - Simulation Sevilla 500 Liter Flach .....	- 65 -
Diagramm 17 - Simulation Sevilla 1000 Liter Flach .....	- 66 -
Diagramm 18 - Simulation Sevilla 2000 Liter Flach .....	- 67 -
Diagramm 19 - Simulation Sevilla 500 Liter Röhre .....	- 68 -
Diagramm 20 - Simulation Sevilla 1000 Liter Röhre.....	- 69 -
Diagramm 21 - Simulation Sevilla 2000 Liter Röhre.....	- 69 -
Diagramm 22 - Vergleich Flach- und Röhrenkollektor Hamburg .....	- 72 -
Diagramm 23 - Vergleich Flach- und Röhrenkollektor Freiburg.....	- 73 -
Diagramm 24 - Vergleich Flach- und Röhrenkollektor Sevilla.....	- 73 -

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 - Wärmebedarf im Musterhaus nach Standorten.....	- 49 -
Tabelle 2 - Simulation Hamburg 500 Liter.....	- 52 -
Tabelle 3 - Simulation Hamburg 1000 Liter.....	- 53 -
Tabelle 4 - Simulation Hamburg 2000 Liter.....	- 54 -
Tabelle 5 - Simulation Hamburg 500 Liter Röhre.....	- 55 -
Tabelle 6 - Simulation Hamburg 1000 Liter Röhre.....	- 56 -
Tabelle 7 - Simulation Hamburg 2000 Liter Röhre.....	- 57 -
Tabelle 8 - Zusammenfassung Simulation Hamburg.....	- 58 -
Tabelle 9 - Simulation Freiburg 500 Liter Flach.....	- 58 -
Tabelle 10 - Simulation Freiburg 1000 Liter Flach.....	- 59 -
Tabelle 11 - Simulation Freiburg 2000 Liter Flach.....	- 60 -
Tabelle 12 - Simulation Freiburg 500 Liter Röhre.....	- 61 -
Tabelle 13 - Simulation Freiburg 1000 Liter Röhre.....	- 62 -
Tabelle 14 - Simulation Freiburg 2000 Liter Röhre.....	- 63 -
Tabelle 15 - Zusammenfassung Simulation Freiburg.....	- 64 -
Tabelle 16 - Simulation Sevilla 500 Liter Flach.....	- 65 -
Tabelle 17 - Simulation Sevilla 1000 Liter Flach.....	- 66 -
Tabelle 18 - Simulation Sevilla 2000 Liter Flach.....	- 67 -
Tabelle 19 - Simulation Sevilla 500 Liter Röhre.....	- 68 -
Tabelle 20 - Simulation Sevilla 1000 Liter Röhre.....	- 68 -
Tabelle 21 - Simulation Sevilla 2000 Liter Röhre.....	- 69 -
Tabelle 22 - Zusammenfassung Simulation Sevilla.....	- 70 -
Tabelle 23 - Preiskalkulation für thermische Solaranlagen.....	- 76 -
Tabelle 24 - Kosten für thermische Solaranlagen nach Standorten.....	- 77 -
Tabelle 25 – Einsparungsmöglichkeiten Hamburg.....	- 78 -
Tabelle 26 - Einsparungsmöglichkeiten Freiburg.....	- 79 -
Tabelle 27 - Einsparungsmöglichkeiten Sevilla.....	- 80 -
Tabelle 28 - Heiz- und Emissionswerte.....	- 84 -

## 1. Einleitung

Zu Beginn des 21. Jahrhunderts ist die rasante Entwicklung der Globalisierung in Form von weltweiter Vernetzung und von Ressourcen, Menschen und Kapital zu beobachten. Die Barrieren zwischen den einzelnen Staaten werden nach und nach abgebaut. Jedes Land steht in Abhängigkeit zu anderen, innerhalb von Exporten und Importen. Durch den Abbau der Grenzen und Strukturen vor der Globalisierung, entstehen neue Probleme die heutzutage stärker wahrgenommen werden. Diese Probleme beschränken sich auf die Ausnutzung der Natur und auf die Zerstörung des Ökosystems-Erde. Dieser Weltweite Trend der Zerstörung ist erst durch die Globalisierung in Erscheinung getreten.

Um in Zukunft diese Zerstörung und Ausbeutung der Ressourcen zu mindern, ist es wichtig neue Energien zu erforschen und zu nutzen. Auch der weltweite Verbrauch und die Nachfrage von Erdöl, besonders durch China und Indien, wird die Nutzung von erneuerbaren Energien vorantreiben. Durch die Nachfrage steigt der Öl-Preis, aus wirtschaftlicher Sicht sind Investitionen in den erneuerbaren Sektor sinnvoll. Dabei stehen nicht nur Investitionen großer Unternehmen im Fokus, sondern auch Investitionen von Privatleuten. Jeder einzelne kann für diese Entwicklung seinen Teil beitragen.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Klimaerwärmung die durch die Einsparung fossiler Energieträger vermindert wird. Dadurch entsteht zudem weniger CO<sub>2</sub> welches in die Atmosphäre gelangt. In wieweit sich der Klimawandel noch verhindern lässt und welche Auswirkung es geben wird, muss hierbei an anderer Stelle betrachtet werden. Doch die Meteorologen warnen vor den Gefahren steigender Meeresspiegel, schmelzenden Gletschern und vor den Auswirkungen auf unser Globales leben. Um einen möglichen Beitrag zu leisten, der vielleicht eine geringere Auswirkung zur Folge hat, sollte jeder Mensch sich ein Ziel definieren. Ein Beispiel dazu wäre die Private Installation einer Solarthermie-Anlage, die nicht nur das Klima schützt sondern möglicherweise auch bares Geld einspart.

In dieser Diplomarbeit wird auf die energetischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten von Solarthermischen-Anlagen in Privathäusern eingegangen. Diese Art der Energienutzung ist eine von mehreren Optionen, Energie regenerativ zu erzeugen.

Um einen Überblick zu diesen thermischen Solaranlagen zu bekommen, kann die Anzahl an installierten Gigawatt in Deutschland genommen werden. Im Jahr 2008 waren ca. 6,4 Gigawatt Leistung thermischer Solaranlagen installiert. Diese Anlagen produzierten eine gesamt Energie von 4400 Gigawattstunden, mit dieser Energie wurde gerade einmal 0,3 Prozent des Deutschen Wärmebedarfs gedeckt. Diese Zahlen verdeutlichen das mögliche Potential, dass in dieser Art von Wärmeerzeugung möglicherweise liegt.

Vor diesem Hintergrund, sollte über die über die zukünftige Entwicklung des Energiemarktes auch an die Entwicklung der Privaten Energieversorgung gedacht werden. Um in Zukunft den Verbrauch von fossilen Brennstoffen zu minder. Es muss eine Verantwortung geben, die in Zukunft das Leben auf unserem Planeten für zukünftige Generationen möglich macht.

Mit dieser Diplomarbeit wird ein Schritt zur Einsparung von fossilen Ressourcen dargestellt. Ein kleiner „Schritt“, die Entwicklung der globalisierten Welt zu einer sauberen und zukunftsorientierten zu ermöglichen.

## 1.1. Aufgabenstellung

In dieser Diplomarbeit, sollen die unterschiedlichen energetischen und wirtschaftlichen Betrachtungen von Thermischen-Solaranlagen in verschiedenen Regionen Europas untersucht werden. Als Orte werden Hamburg, Freiburg und Sevilla (Spanien) betrachtet.

Mit dem Simulationsprogramm (T-Sol) sollen Varianten simuliert werden, als Grundlage wird dazu dient der Energiebedarf eines Musterhauses. Dieser Energiebedarf wird nach DIN V 18599 ermittelt.

Dabei sollen verschiedene Varianten simuliert werden.

- Nur Warmwasser
- Warmwasser mit Heizungsunterstützung
- Größe der Kollektorfläche
- Art der Kollektoren (Flach- und Vakuumröhrenkollektor)
- Art und Größe des Pufferspeichers

Die ermittelten Ergebnisse sollen nach energetischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten analysiert werden. Dabei steht die wirtschaftliche Umsetzung in den verschiedenen Regionen im Vordergrund.

## **2. Solare Strahlung**

Die Sonne ist die wichtigste Energiequelle auf der Erde. Durch die Sonne hat sich im Laufe der Zeit, die Lebewesen die wir heute kennen entwickelt. Seit Millionen von Jahren ist die Sonne daher der wichtigste Energielieferant der Erde. Die Entfernung der Sonne zur Erde beträgt 150 Millionen km, in jeder Sekunde produziert die Sonne mehr Energie als die Menschheit seit der Existenz benötigt hat. Die Sonne verliert pro Sekunde etwa  $4 \cdot 10^6$  t Masse. Die Energie wird durch die Verschmelzung von vier Wasserstoffkernen (Protonen) zu einem Heliumkern produziert. Das Ergebnis dieser Verschmelzung hat etwa 0,7% geringere Masse als vier Wasserstoffkerne. Die entstandene Energie wird von der Sonne an die Umgebung abgegeben.

Auf dem Weg zur Erde verändert sich die Intensität der Strahlung. Bevor die Strahlung auf die Atmosphäre trifft, gibt es kaum Veränderungen. Somit liegt die Solarkonstante außerhalb der Atmosphäre konstant bei etwa  $E_0 = 1367 \text{ W/m}^2$ .

Dieser Wert unterliegt einigen Schwankungen, bedingt durch die Sonnenaktivität und der Entfernung zwischen Erde und Sonne.

Der Wert für die Intensität der Sonneneinstrahlung über das Jahr verteilt, schwankt daher leicht zwischen 1300-1400 Watt pro Quadratmeter.

### **2.1. Solarstrahlung auf der Erdoberfläche**

Durch die Atmosphäre wird die Intensität der Strahlung gemindert.

Diese Werte ändern sich mit dem Standort auf der Erde, der Jahres- und Tageszeit.

In der Atmosphäre wird die Strahlung teilweise absorbiert, dadurch wird die Luft erwärmt. Durch die Wolken wird die Strahlung teilweise reflektiert und auch die Erdoberfläche reflektiert die Sonnenstrahlung. Durch diese

Absorption und Reflektion wird in Deutschland der Wert für ca. 1000 Watt pro Quadratmeter gemessen.

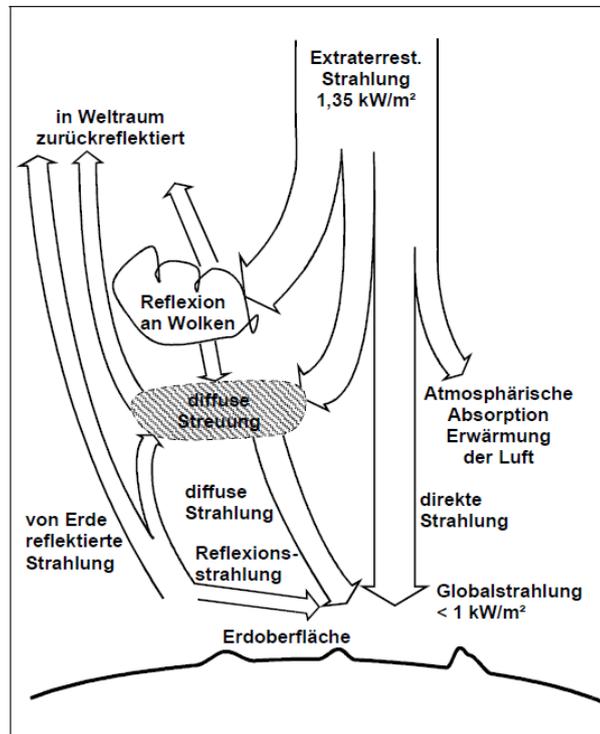


Abbildung 1 - Sonnenstrahlung auf Erdoberfläche

Wenn die Sonne senkrecht über der Erde steht nimmt das Sonnenlicht den kürzesten Weg durch die Atmosphäre, wenn sie in einem flachen Winkel steht wird der Weg durch die Atmosphäre länger. Bedingt dadurch findet eine stärkere Absorption und Streuung der Solarstrahlung statt und dadurch entsteht eine geringere Strahlungsintensität (Bestrahlungsstärke) Das Verhältnis der Weglänge der Solarstrahlung durch die Atmosphäre zum kürzesten Weg (Atmosphärendicke) wird in AirMass (AM) genannt. Die Solarstrahlung ohne Einfluss der Erdatmosphäre wird mit  $AM = 0$  bezeichnet. Bei senkrechtem Sonnenstand ( $\gamma_s = 90^\circ$ ) ist  $AM = 1$ . In der Abbildung sind die jeweiligen höchsten Sonnenstände an einigen Tagen in Berlin dargestellt. Der maximale Sonnenhöchststand im Juni wird mit  $\gamma_s = 60,8^\circ$  angegeben, was einem  $AM$  von 1,15 entspricht. Der Höchststand im Dezember hat  $\gamma_s = 14,1^\circ$  und einen  $AM$ -Wert von 4.

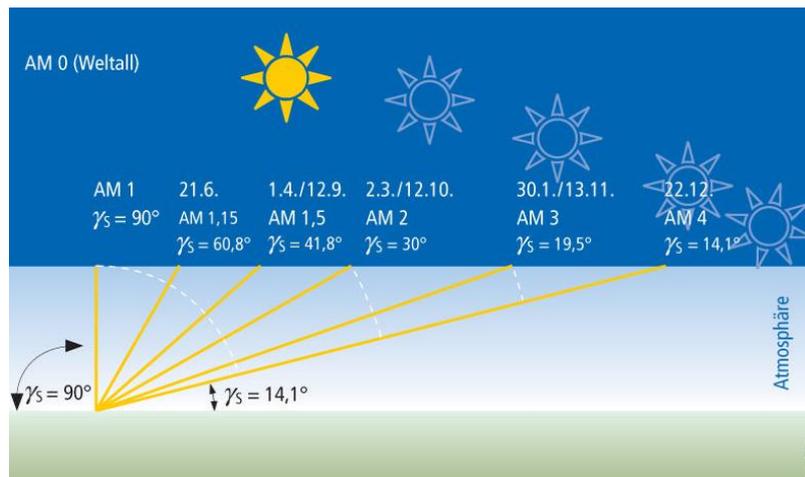


Abbildung 2 - Sonnenstand am Mittag im Laufe eines Jahres in Berlin

Nicht nur die Bestrahlungsstärke wird beim Eintritt in die Atmosphäre reduziert sondern auch die spektrale Zusammensetzung verändert sich. Diese Veränderungen entstehen durch Reflexionen an der Atmosphäre, Absorption durch Moleküle und Streuung.

Die Sonnenstrahlung kann in die direkte und die diffuse Strahlung eingeteilt werden, zusammen bezeichnet man das dann als die Globalstrahlung.

- Direkte Strahlung  $E_{\text{direkt}}$
- Diffuse Strahlung  $E_{\text{diffus}}$

$$E_{\text{global}} = E_{\text{direkt}} + E_{\text{diffus}}$$

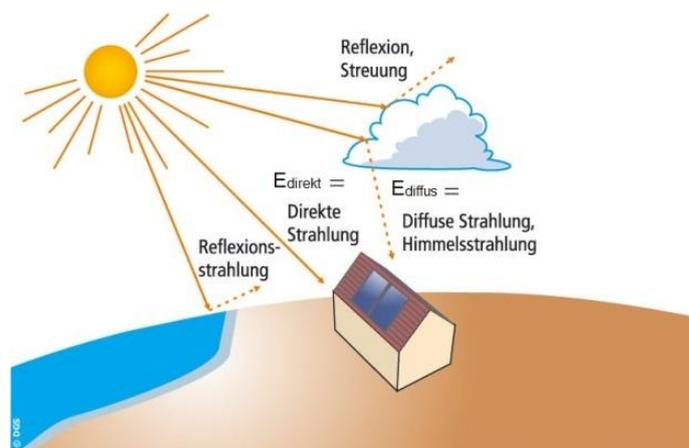


Abbildung 3 - Die Globalstrahlung und ihre Komponenten

### 2.1.1. Direkte Strahlung

Die direkte Strahlung, ist die Strahlung, die direkt ohne Ablenkung auf die Erdoberfläche trifft. Die direkte Strahlung ist von dem Winkel der Erdoberfläche zur Sonne abhängig. Damit ist bei der direkten Strahlung und der Intensität der Standort auf der Erde wichtig. Alle Strahlen laufen parallel. Je weiter man sich von Norden oder Süden dem Äquator nähert, desto größer wird die direkte Strahlung.

### 2.1.2. Diffuse Strahlung

Die Diffuse Strahlung auch Himmelsstrahlung entsteht durch Streuung und kann nicht gebündelt werden. Die Streuung entsteht durch den Einfluss der Atmosphäre auf die Strahlung. Wasserdampf (Wolken), die Ozonschicht und Staub sind für diese Streuung verantwortlich. Außerdem streuen kleinste Teilchen in der Atmosphäre die Strahlen, diese Streuung nennt man Rayleigh- und Aerosolstreuung. Teilweise wird die Strahlung absorbiert, teilweise reflektiert. Die Strahlung, die die Erdoberfläche erreicht, kommt aus allen Richtungen aber hauptsächlich aus der Sonnenrichtung. Durch die Hindernisse können bei der diffusen Strahlung keine Schatten entstehen. Die diffuse Strahlung trifft nicht gleichmäßig auf die Erdoberfläche auf. Über das Jahr verteilt ist die Diffuse Strahlung von der Menge her größer als die Direkte Strahlung die auf die Erde trifft.

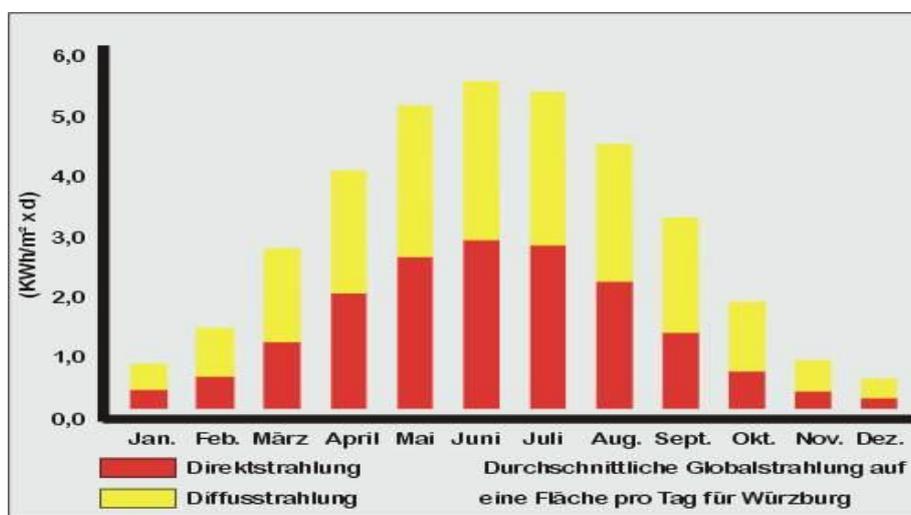


Abbildung 4 - Verteilung direkte- und diffuse Strahlung <http://www.sun-area.net>

Auf dem Diagramm ist der Unterschied zwischen der direkten Strahlung und der diffusen Strahlung beschrieben. Diese Werte basieren auf dem Standort Würzburg pro Tag. Um die Sonnenenergie optimal zu nutzen müssen je nach Standort die verschiedenen Strahlungsarten ermittelt werden.

Durch den Winkel der Erdachse und den Winkel zur Sonne, variiert die Einstrahlung. Im Sommer wird wesentlich mehr Strahlung gemessen als im Winter.

Im Weiteren werden die Grundlagen zur Energienutzung von Sonnenenergie beschrieben.

## **2.2. Sonnenscheindauer**

Häufig wird neben der Globalstrahlung auch die Sonnenscheindauer angegeben. Diese gibt an, wie viele Stunden im Jahr die Sonne scheint. In Deutschland scheint die Sonne zwischen 1300 und 1900 Stunden pro Jahr, wobei in Nord- und Süddeutschland gleich hohe Werte vorkommen.

## **2.3. Sonnenstand**

Auf der folgenden Karte ist die Verteilung der gemessenen Strahlung für Deutschland dargestellt. Die Einstrahlung der Energie ist nicht konstant, daher kann nur ein Durchschnittswert erhoben werden.

Die Sonnenenergie kann nicht als konstante Energiequelle angesehen werden.

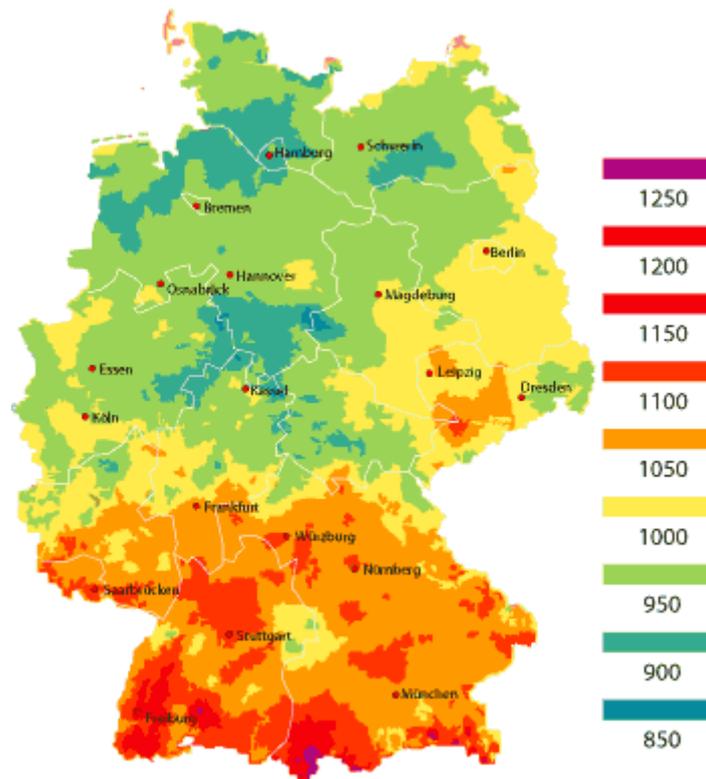


Abbildung 5 - Strahlungsverteilung in Deutschland, <http://gerber.tv>

Auf der Karte sind die unterschiedlichen Strahlungsmessungen zu sehen. Im Norden liegt der Wert bei ca. 900 W/m<sup>2</sup> im Süden bei über 1000W/m<sup>2</sup>.

Um dieser Unterschiede und die Strahlung auf alle Flächen von beliebigen Standorten zu berechnen, muss die Position zur Sonnen ermittelt werden. Dazu wird die lokale Zeit in die „Sonnenzeit“ umgerechnet.

$$\text{Sonnenzeit} = \text{Standartzeit} + 4 ( \varphi_{\text{lokal}} - \varphi_{\text{St}} ) + E$$

$\varphi_{\text{lokal}}$  = geografischer Längengrad des Standortes

$\varphi_{\text{St}}$  = geografischer Längengrad des Standartmeridian  
der lokalen Zeitzone

Beispiel Hamburg:  $\varphi_{\text{lokal}} = 10^\circ$ ;  $\varphi_{\text{St}} = 15^\circ$

E = Zeitgleichung, Berücksichtigung der Schwankungen  
In der Erdrotation (min)

Die Strahlungsintensität wird über verschiedene Winkel zwischen der Sonne und der Erde berechnet. Diese Berechnung wird in den folgenden Abschnitt weiter erklärt und beschrieben.

Der Höhenwinkel der Sonne auch als Attitude  $\beta$  bezeichnet wird mit folgender Gleichung berechnet:

$$\sin \beta = \cos \phi * \cos \delta * \cos \omega + \sin \phi * \sin \delta$$

Der Azimutwinkel  $\Psi_s$

$$\sin \Psi_s = \cos \delta * \sin \omega / \cos \beta$$

In der folgenden Abbildung wird die Berechnung grafisch dargestellt.

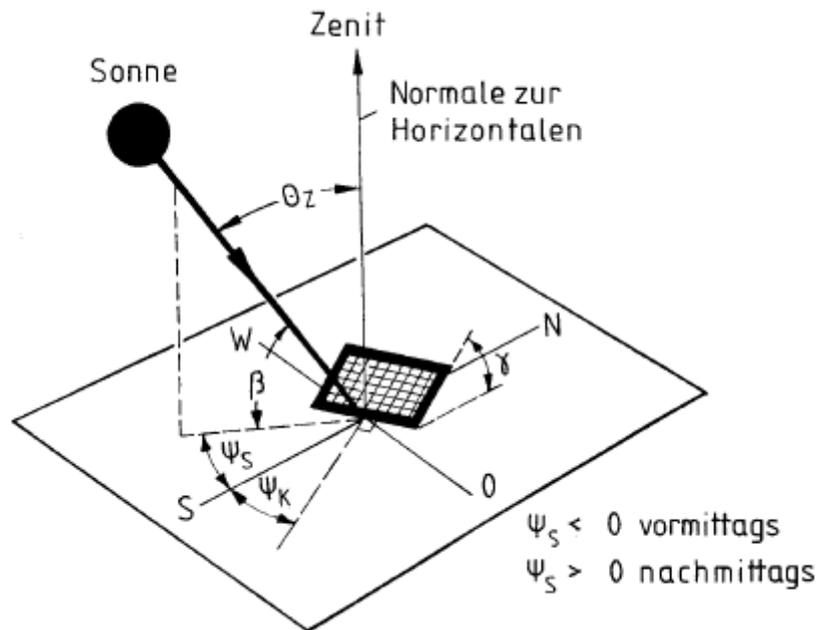


Abbildung 6 - Berechnung des Sonnenwinkels

Die Position der Sonne ist von drei Größen abhängig:

$\phi$  = geografischer Breitengrad des Standortes

$\delta$  = Deklination

$$\delta = 23,45 \sin [ 284 + n ) * 0,9863 ]$$

$n$  = Tag des Jahres

$\omega$  = Stundenwinkel

$$= 0,25 (\text{Sonnenzeit in Minuten} - 720 )$$

Um heute schnelle Ergebnisse zu bekommen, gibt es genaue Tabellen und Diagramme die diese Werte angeben. Mit diesen Ergebnissen können alle Standorte bestimmt werden.

Zur Abschätzung der diffusen Strahlung haben Liu und Jordan 1960 eine Methode entwickelt. Dabei wird die tägliche globale Strahlung berechnet.

$$H_0 = \frac{24}{\pi} * E_0^* * (\omega_s * \sin \delta * \sin \phi + \cos \delta * \cos \phi * \sin \omega_s)$$

$\omega_s$  = Stundenwinkel für Sonnenaufgang

$E_0$ : Die Solarkonstante unter Berücksichtigung des jahreszeitlich nicht konstanten Abstandes der Sonne zur Erde

$$E_0^* = E_0 (1 + 0,033 * \cos (2\pi n / 365))$$

$E_0 = 1,367 \text{ kW/m}^2$  Globalstrahlung

$H_0$  ist vom Breitengrad  $\phi$  und vom Tag  $n$  abhängig.

$H_0$  bewegt sich in dem Bereich von 0 bewölkter Tag bis 1 wolkenloser Tag. In der Grafik kann der Wert für die diffuse Strahlung abgelesen werden. Die diffuse Strahlung ist geringer desto wolkenloser der Himmel ist, damit nimmt die direkte Strahlung an der Globalstrahlung zu.

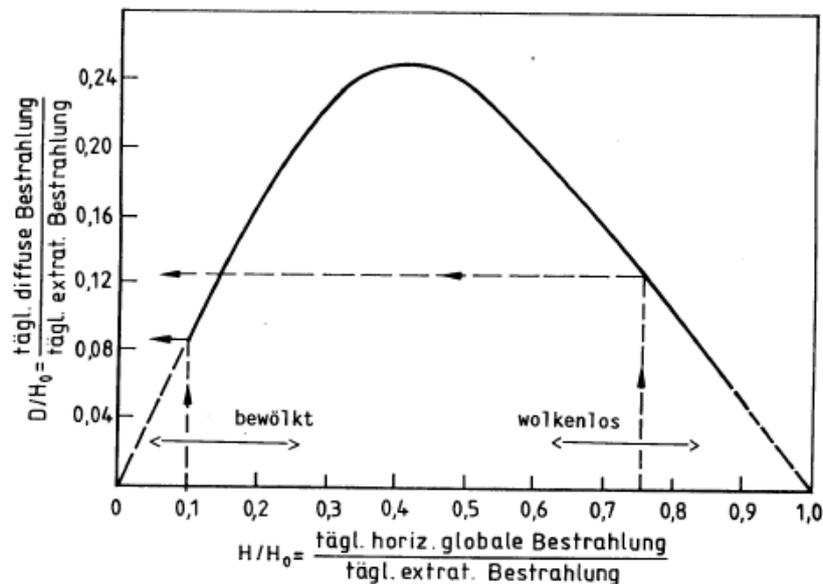


Abbildung 7 - Zusammenhang zwischen täglicher globaler Strahlung und täglicher diffuser Strahlung auf horizontale Flächen

## 2.4. Messung von Sonnenstrahlen

### 2.4.1. Pyranometer

Die Strahlung kann über mehrere Systeme ermittelt werden. Eine Möglichkeit ist das Pyranometer, zur Messung der eintreffenden Sonnenstrahlung. Pyranometer werden in der Meteorologie, in der Klimaforschung und im Bau eingesetzt. Das Gerät misst die Globalstrahlung, sowohl die direkte als auch die diffuse Strahlung. Dabei wird der gesamte Winkel von  $180^\circ$  oberhalb der Ebene erfasst.



Abbildung 8 - Pyranometer, <http://pkd.eijkelkamp.com>

### 2.4.2. Pyrhelimeter

Zur Messung der direkten Strahlung wird ein Pyrhelimeter verwendet. Die einfallende Strahlung erwärmt das Gerät, daraus kann der Strahlungsfluss berechnet werden.

Da nur die direkte Strahlung gemessen wird, wird diese Technik selten in der Solartechnik verwendet.



Abbildung 9 - Pyrhelimeter, <http://eko-usa.com>

### 2.4.3. Sonnenscheinautographen

Zur Sonnenscheindauer werden Sonnenscheinautographen eingesetzt. Dieser besteht aus einer Glaskugel, innerhalb der Glaskugel befindet sich ein Papierstreifen. Durch Markierungen auf dem Papier kann die exakte Sonnenscheindauer an bestimmten Standorten ermittelt werden.



Abbildung 10 - Sonnenscheinautograph, <http://specula.at>

### 3. Aufbau einer Solarthermie-Anlage

Eine Solarthermie-Anlage besteht aus mehreren Komponenten die untereinander nötig sind um ein Ergebnis zu erhalten. Ziel einer Solarthermie-Anlage ist die Temperaturerhöhung von Brauchwasser, Heizungswasser oder Schwimmbadwasser.

Um einen Überblick zu bekommen werden die einzelnen Komponenten vorgestellt. In diesem Kapitel werden alle einzelnen Komponenten vorgestellt die zur thermischen Aufbereitung von Wasser benötigt werden.

Das System bestehen aus:

- Sonnenkollektor
- Wärmeträgermedien
- Wärmespeicher und Wärmetauscher
- Pumpen
- Leitungssysteme
- Regeleinheit

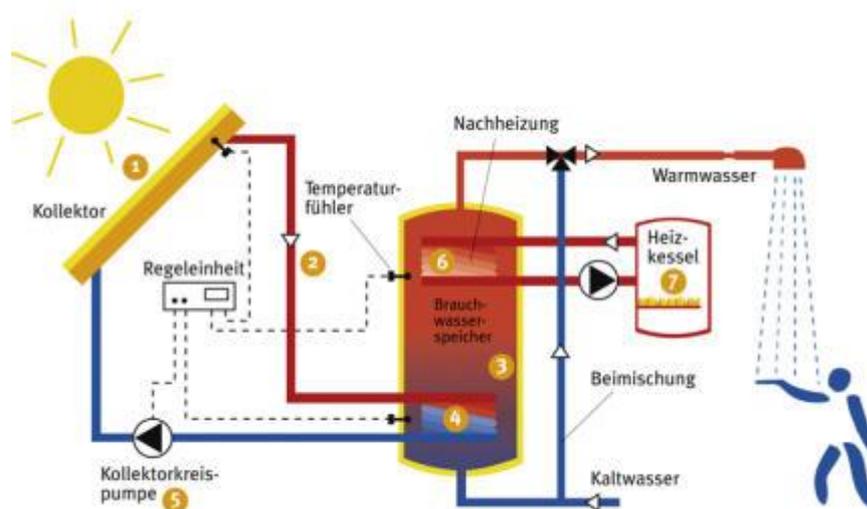


Abbildung 11 - Solarthermisches System mit Heizungsunterstützung  
<http://www.bonn.de>

Die Abbildung stellt das System in vereinfachter Form dar. Die Sonne strahlt auf die Kollektorfläche, dort werden die Strahlen absorbiert und die Temperatur des Wärmeträgers wird erhöht.

Der Wärmeträger wird in den Brauchwasserspeicher gepumpt und dort wird durch Wärmetauscher das Brauchwasser erwärmt. Die Zusatzheizung kann das System bei geringer Sonnenstrahlung und in der Nacht unterstützen. Das Brauchwasser mit einer hohen Temperatur steigt im Speicher nach Oben dort kann es anschließend entnommen werden.

Es folgen nun die Beschreibungen der einzelnen Systemkomponenten.

### 3.1. Kollektoren

#### 3.1.1. Prinzip des Solarkollektors

Um die Energie nutzen zu können werden Systeme benötigt, die die Energie der Sonne aufnehmen können. In der Solarthermie wird die Strahlungsenergie der Sonne genutzt. Die wichtigste Komponente einer Solaranlage ist der Kollektor. Der Kollektor besitzt die Aufgabe das Sonnenlicht aufzufangen und nutzbar zu machen. Dabei ist es wichtig die Strahlungsenergie der Sonne zu nutzen. Der Absorber hat die Aufgabe diese Strahlungsenergie in Wärme umzuwandeln. Durch den Absorber der an den Flüssigkeitsführenden Rohren befestigt ist, wird die Strahlungsenergie nutzbar gemacht.

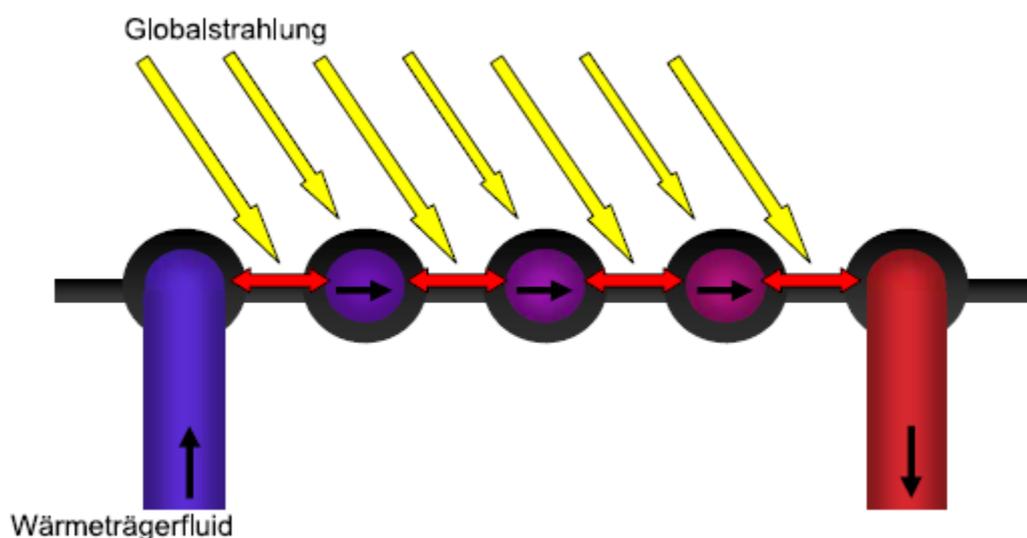


Abbildung 12 - Darstellung von Absorber und Leitungssystem

Diese Abbildung stellt den Kollektor in vereinfachter Form dar. Die Sonnenstrahlung trifft auf den Absorber im Bild schwarz dargestellt. Dadurch wird an der Oberfläche Wärme erzeugt, die auf die mit Flüssigkeit, ein Wärmeträger, führende Leitung übertragen wird. Durch eine Pumpe die den flüssigen Wärmeträger durch das Rohrsystem leitet, wird diese Flüssigkeit erwärmt. Die blaue Seite stellt den Vorlauf mit einer geringen Temperatur dar. Verlässt das Wärmeträgerfluid das Kollektorsystem, hat sich die Temperatur erhöht. Der Rücklauf ist rot dargestellt. Je weiter sich der Wärmeträger im System bewegt, desto wärmer wird dieser. Dargestellt wird dieser Vorgang durch die Veränderung der Farbe, von Blau über Lila bis Rot.

Je hochwertiger das Absorber-Material ist, desto besser ist die Wärmeübertragung an den Wärmeträger in den Rohrleitungen. Es wird der größte Teil der Strahlung absorbiert. Die Wärmeverluste sind trotzdem relativ groß da nicht alle Energie an die Rohre abgegeben wird. Es treten Verluste durch Wärmeabstrahlung auf, da jeder Körper mit höherer Temperatur als die Umgebungstemperatur Wärme emittiert. Durch Konvektion wird ein weiterer Teil der Wärme nicht genutzt. Durch Wind wird diese Wärme von der der Anlage abgetragen. Weitere Verluste treten durch die Wärmeleitung des Absorbers nach außen auf. Zudem wird bei jedem Wärmeübergang, nicht die Vollständige Energie weitergegeben sondern es treten Verluste auf.

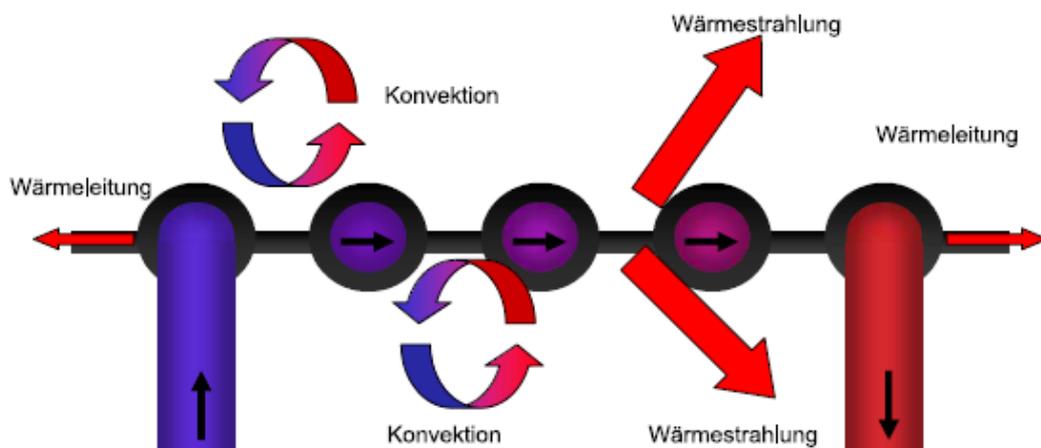


Abbildung 13 - Darstellung von Wärmeabstrahlungen und Konvektion

Um die gesamten Verluste des Absorbers gering zu halten wird um das Rohrsystem eine Isolierung installiert. Dadurch wird weniger Energie an die Umwelt abgegeben. Eine transparente Abdeckung ist an der Oberfläche installiert, diese kann die kurzwellige Strahlung der Sonne durchlassen. Die langwelligeren Strahlungen des Absorbers werden aber gestoppt. Die Abdeckung minimiert zudem die Strahlungs- und die Konvektionsverluste und verhindert die Abstrahlung in die Umgebung die vom Absorber ausgehen. Zwischen Absorber und Abdeckung entsteht somit eine Wärmezirkulation, die dem Treibhauseffekt nachempfunden ist.

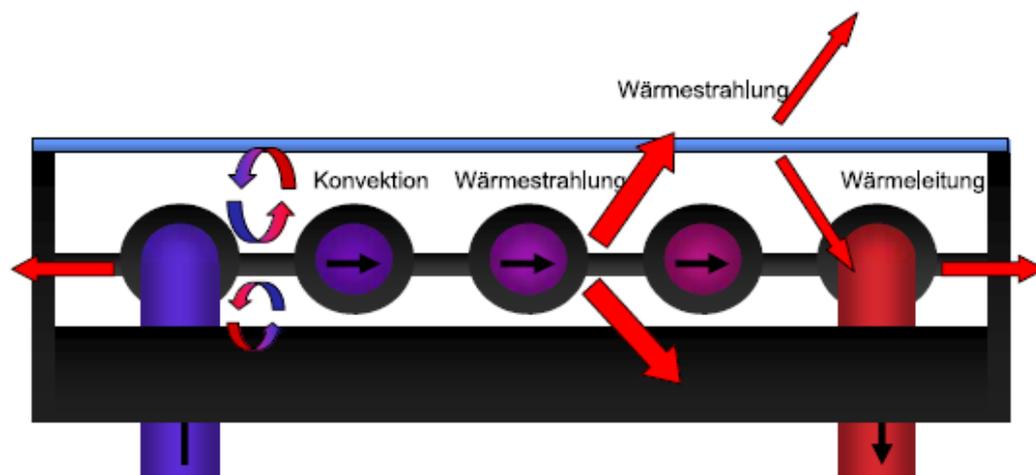


Abbildung 14 - Darstellung der Abdeckung in vereinfachter Form

Durch die Abdeckung entstehen optische Verluste. Die abhängig von der Qualität der Abdeckung sind, diese nennt man Transmissionsgrad. Innerhalb des Systems können Mehrfachreflexionen auftreten. Diese Reflexionen müssen nicht nach außen abgegeben werden, sondern können mehrfach genutzt werden. In der Abbildung die kleinen gelben Pfeile zwischen Absorber und Abdeckung.

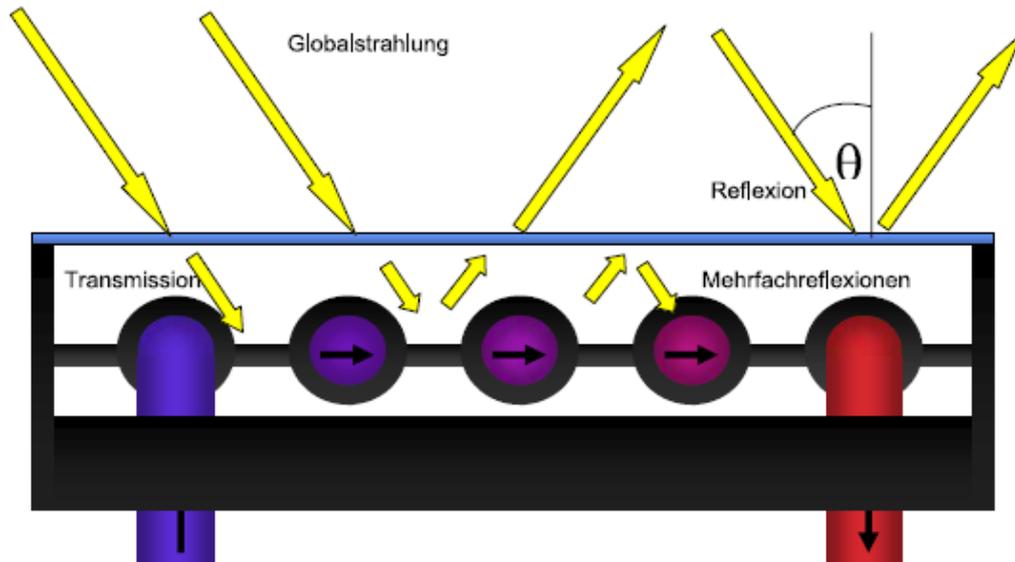


Abbildung 15 - Darstellung der Auswirkungen durch die Abdeckung

Die Abdeckung muss folgende Eigenschaften besitzen:

- Hohe Lichtdurchlässigkeit die nach mehreren Betriebsjahren garantiert werden muss
- Geringe Reflexion
- Schutz vor Auskühlung durch Wind
- Schutz vor Feuchtigkeit
- Stabilität bei mechanischer Beanspruchung durch Regen, Hagel und Schnee

Um den Kollektor zu Vergleichen und den Wirkungsgrad zu bestimmen benötigt man die Nutzleistung  $Q_n$ , die einfallende Strahlung  $G_n$  und die Kollektorfläche  $A$ .

Für den Kollektorwirkungsgrad ergibt somit:

$$\eta = Q_n / G_n A$$

Aus dem optischen Wirkungsgrad ergibt sich die Nutzleistung. Die Nutzleistung ist der Anteil der durch die Strahlung auf die Bezugsfläche in Wärme umgewandelt werden kann.

$$\eta_0 = Q / G A$$

Die Leistung ist stark abhängig von der Temperaturdifferenz in dem System.

In dem folgenden Diagramm ist die Abhängigkeit beschreiben. Dabei sinkt der Wirkungsgrad je höher die Temperaturdifferenz des Wärmeleitmediums zur Umgebung ist. In der Abbildung ist ein Beispiel für den Kollektorwirkungsgrad eines Flachkollektors und Einfluss verschiedener Temperatur dargestellt. Die Optischen Verluste betragen in der Regel 20%. Je höher die Temperatur im System ansteigt und die Differenz zur Außentemperatur ist, desto höher sind die thermischen Verluste die das System abgibt. Je weiter die Differenz der Temperaturen ansteigt, desto größer werden die Wärmeverluste. Ist der Temperaturverlust gleich dem Energiegewinn befindet man sich im Stagnationspunkt. Bei 800 W/m<sup>2</sup> befindet dieser sich bei einer Temperaturdifferenz von 105°C. Die Einzelnen Wirkungsgrade werden unter Punkt 3.1.7. noch einmal aufgegriffen.

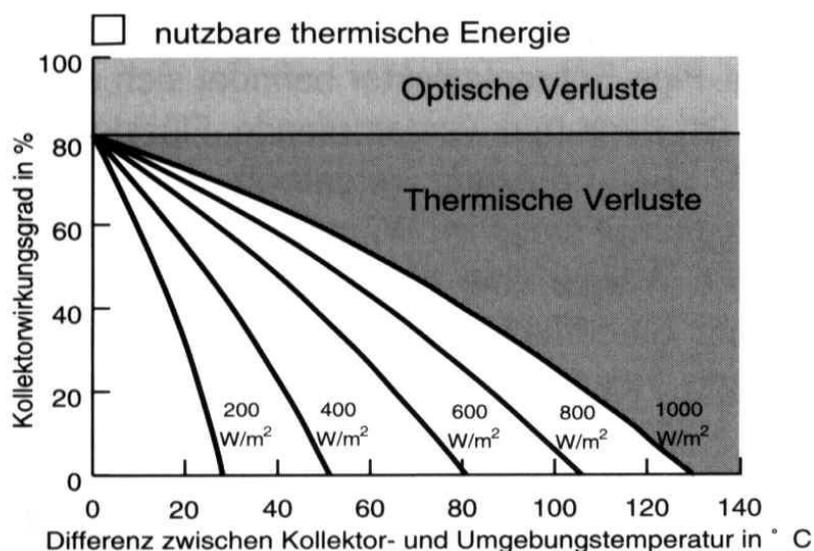


Abbildung 16 - Auswirkung auf den Wirkungsgrad durch Temperatur Änderungen  
[http://www.iundm.de/lars/4\\_1\\_Solarthermie.htm](http://www.iundm.de/lars/4_1_Solarthermie.htm)

### 3.1.2. Eigenschaften des Absorbers

Die Aufgabe des Absorbers ist es, eine möglichst große Menge an Sonnenstrahlung zu absorbieren. Jedoch wenig durch Reflexion abzustrahlen. Der Absorptionsgrad soll möglichst groß sein in einem Wellenlängenbereich  $\alpha = 0,3 - 2,5 \mu\text{m}$ . Der Emissionsgrad soll sehr klein sein  $\varepsilon = 2,5 - 50 \mu\text{m}$ .

Um dieses zu erreichen, werden die Absorber mit selektiven Schichten ausgelegt. In den frühen Jahren der Entwicklung wurden dazu Schwarzchrom und Schwarznickel mit Galvanotechnik genutzt mit diesen Werkstoffen wurden Absorptionswerte von bis zu 96% und Emissionswerte von 10% erreicht.

Mitte der 90er Jahre wurden in Deutschland neue Beschichtungstechniken entwickelt, genannt wird diese Technik Vakuum-Sputter-Verfahren. Hierbei werden auf Kupfer Titanoxinitrid aufgetragen außerdem keramische Beschichtungen. Diese Beschichtungen haben einen Absorptionsgrad von 95% aber der Emissionsgrad ist noch einmal geringer mit 3 – 5%.

Damit wurden bessere Werte erreicht als mit der Galvanotechnik erreicht. Mittlerweile wurde die Galvanotechnik vom deutschen Markt komplett verdrängt. Ein Grund dafür ist die starke Umweltbelastung die durch die Galvanotechnik beim Herstellungsprozess entsteht.

### 3.1.3. Speicherkollektoren

Die erste Form der Kollektoren, ist der Speicherkollektor. Dieser Kollektor wird in den deutschen Breitengraden eher selten eingesetzt. Diese Art von Kollektor wird dort eingesetzt, wo die Temperatur im Jahr nicht unter den Gefrierpunkt sinkt. In Ländern wie Spanien, China und andere zwischen dem nördlichen und südlichen Wendkreis eignen sich für diese Art von Kollektoren.

Der Brauchwasserspeicher ist am oberen Teil der Kollektorfläche installiert. Das Wasser mit der hohen Temperatur sammelt sich im oberen Teil des Speichers. Das kalte Wasser läuft durch den Kollektor und erwärmt sich. Dadurch entsteht ein Kreislauf und das Wasser im Speicher wird komplett erwärmt. Dieser Speicher ist einfach konstruiert, es werden keine Pumpen, Wärmetauscher und Steuerungen benötigt. Daher ist dieses Prinzip sehr kostengünstig. Es gibt aber auch Nachteile, die Temperatur im Speicher sinkt wesentlich schneller als in einem Speicher der im Haus installiert ist. Im Winter besteht die Gefahr dass die Leitungen einfrieren und dadurch die Rohre zerbersten.

Der Speicherkollektor ist in Deutschland nur mit sehr guter Wärmeisolierung zu betreiben.



Abbildung 17 - Speicherkollektor von Calpak vacuum, <http://eco-casa.de>

### 3.1.4. Flachkollektoren



Abbildung 18 - Flachkollektor verschiedenen Bereiche, aus Sonnenenergie pdf

Flachkollektoren werden in Modulbauweise gebaut, die einzelnen Module sind hinter einander schaltbar. Durch die Installation mehrerer Module, ist es möglich große Flächen mit Photovoltaik zu nutzen. Zurzeit sind die Flachkollektoren die am meisten verbreitete Art von Kollektoren. Bei den Flachkollektoren kommt es nicht zu einer Bündelung der Sonnenstrahlen.

Es gibt verschiedene Arten von Flachkollektoren, dachintegrierte-, belüftete- und teilvakuumierte Kollektoren. Einige werden auch mit Edelgasfüllung angeboten. Diese Art von Kollektoren besteht meist aus einer Transparenten Abdeckung, dem Kollektorgehäuse und dem Absorber, der oberhalb der Rohrleitungen liegt. Die Rückseite des Kollektors Richtung Dach ist gedämmt.

Die Modulgrößen schwanken zwischen einer Größe von 1,5 m<sup>2</sup> bis 8 m<sup>2</sup>, bei so großen Modulen ist daher kein gesamt Vakuum möglich. Diese Flächen würden den Unterdruck nicht aushalten.

Wie im allgemeinen Teil vorgestellt, sind die Absorber heutzutage mit Titanoxinitrid beschichtet.

Für die Abdeckung der Kollektoren wird meistens thermisch behandeltes Sicherheitsglas oder Plexiglas verwendet. Die Abdeckung dient als Schutz gegen Schneelast, Hagelschlag und starken Regen.

### 3.1.5. Vakuumröhrenkollektoren

Wie der Name schon sagt bestehen Röhrenkollektoren aus einzelnen Röhren. Eine Gruppe aus mehreren Röhren bildet dabei das Modul. Die Röhren werden aus Glas hergestellt. Das Glas kann der hohen Belastung die durch das Vakuum auftreten, aushalten andere transparente Stoffe besitzen nicht diese Fähigkeit. In den einzelnen Röhren befindet sich jeweils ein Absorberstreifen, der an der Leitung der Wärmeträgerflüssigkeit befestigt ist. Das Vakuum in den Röhrenkollektoren ist wesentlich besser als in Vakuumflachkollektoren, da hier die einzelnen Röhren evakuiert sind und nicht das gesamte Modul. Dabei ist kein absolutes Vakuum vorhanden, sondern nur ein sehr verminderter Druck gegenüber dem atmosphärischen Druckes. Bei diesem geringen Druck entsteht eine Isolierung zur Umgebung, welches dem Prinzip der Thermoskanne ähnelt.

Ein Modul besteht aus mehreren Röhren die im Kopf miteinander verbunden sind. An dem Kopfende wird die erzeugte Wärme der einzelnen Röhren gesammelt und zum Wärmetauscher transportiert. Die Glasröhren werden ab Werk dauerhaft abgedichtet. Die Vakuumröhren sind sehr anfällig bei Transport und Montage und es kommt vor das Röhren ihre Dichtigkeit verlieren. Die Stabilität bei mechanischer Belastung ist geringer als bei Flachkollektoren. Da die Fläche der Röhren wesentlich geringer ist als bei den Flachkollektoren, ist diese Anfälligkeit nach der Montage nicht mehr viel größer als bei den Flachkollektoren. Die Anfälligkeit besteht nur bei sehr starkem Hagelschlag, bei der die einzelnen Röhren implodieren können.



Abbildung 19 - Vakuumröhrenkollektor, <http://startec.at>

### 3.1.6. Vakuumröhrenkollektor CPC

Diese Art von Kollektor ist eine Steigerung der Technik der einfachen Vakuumröhrenkollektoren. CPC steht für Compound Parabolic Concentrator. Dieser Kollektor besteht aus zwei Glasröhren, wobei die eine innerhalb der zweiten liegt. Auf der inneren Röhre ist der Absorber aufgedampft. Ein Halber Parabolspiegel an der unteren Seite der äußeren Röhre reflektiert das einfallende Licht zusätzlich auf die innere Röhre und damit auf den Absorber. Wird der CPC-Reflektor auf der äußeren Seite der Röhren angebracht, muss der Reflektor regelmäßig gereinigt werden. Durch den Spiegel können Lichteinstrahlungen die zwischen die Rohre eintreffen ebenfalls genutzt werden.

Der Röhrenkollektor hat gegenüber dem allgemeinen Flachkollektor einige Vorteile. Durch Vakuum und Spiegel kann die Sonnenenergie deutlich besser genutzt werden und es werden höhere Betriebstemperaturen erreicht. Die Verluste die bei höheren Temperaturen im Flachkollektor auftreten, fallen hier geringer aus. Der Energieertrag ist bei gleicher Absorberfläche im Vergleich höher.

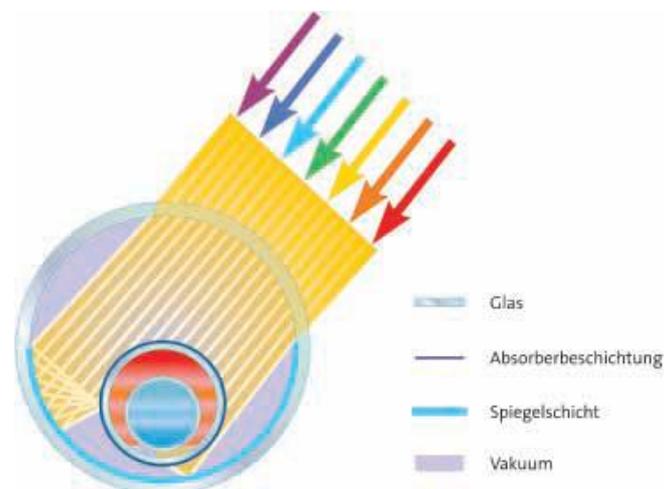


Abbildung 20 - Funktion eines CPC-Kollektors

### 3.1.7. Vergleich Kollektorwirkungsgrad

Der Kollektorwirkungsgrad für Flachkollektoren wurde schon beschrieben. Hier soll nun der Unterschied zwischen den Flachkollektoren und den Vakuumröhrenkollektoren gezeigt werden. Dieser Durchschnittswert veranschaulicht die Unterschiede beider Systeme und ihre Temperaturen. Die Strahlungsstärke beträgt  $800 \text{ W/m}^2$ , im Vergleich der Kollektoren ist die hohe Temperaturdifferenz zu sehen. Der Stagnationspunkt des Flachkollektors liegt bei etwa  $140^\circ\text{C}$ , der vom Vakuumröhrenkollektor bei ca.  $250^\circ\text{C}$ . Bei gleicher Strahlungsstärke hat das Vakuumsystem mehr Energieertrag als das herkömmliche Flachkollektorsystem. Um die einzelnen Vor- und Nachteile zu vergleichen muss auch der Preis der Kollektoren herangezogen werden. In der Wirtschaftlichkeitsberechnung nach der Simulation, werden die einzelnen Systeme miteinander verglichen.

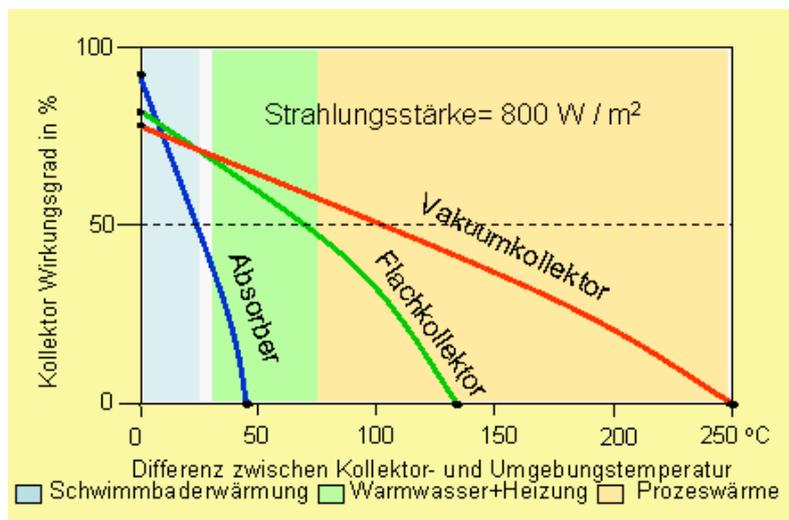


Abbildung 21 - Vergleich von Kollektorarten <http://www.xn--ing-bro-junge-0ob.de/assets/images/Wirkungsgrad-Kolltyp.gif>

### **3.2. Wärmeträgermedien**

Um die Wärme die durch den Absorber aufgenommen wurde in einen Speicher zu führen, wird ein Wärmeträgermedium benötigt. Durch den Absorber wird dieses auf eine höhere Temperatur gebracht, dieses Medium mit hoher Temperatur wird in Wärmetauscher im Speicher gepumpt und gibt dort die Temperatur an das Brauchwasser ab.

Als Wärmeträgermedium eignet sich Wasser sehr gut. Das Problem ist, das in Nord- und Mitteleuropa im Winter die Gefahr von Frost besteht und die Temperaturen unter den Gefrierpunkt von Wasser fallen. Damit die Leitungen auf dem Dach und außerhalb des Hauses nicht einfrieren und zerstört werden, benötigt man Wärmeträgermedien mit einem geringeren Schmelzpunkt. Dazu werden dem Wasser Frostschutzmittel beigemischt. Diese Stoffe müssen sowohl einen geringeren Schmelzpunkt als Wasser haben, gleichzeitig müssen diese Stoffe im Sommer hohen Temperaturen standhalten. Diese Stoffe benötigen also zu dem einen sehr hohen Siedepunkt.

In den heutigen Anlagen werden Propylenglykol-Gemische eingesetzt. Diese Stoffe sind Biologisch abbaubar, nicht giftig, ätzend und reizend. Je höher der Anteil der Glykol-Lösung, desto besser kann die Anlagen extremen Temperaturen standhalten. Gleichzeitig wird das Glykol sich negativ auf die positiven Eigenschaften des Wassers als Wärmeüberträger aus. Daher muss ein optimales Verhältnis des Gemisches geschaffen werden. Die Konzentration von Frostschutzmitteln kann mit einem Handrefraktometer bestimmt werden.

Es gibt viele Anbieter die diese Glykol-Gemische vertreiben, unter anderem die Firma Tyforop Chemie GmbH, Wittig Umweltchemie GmbH Für das Produkt TYFOCOR L ist in dem Diagramm das Verhalten bei bestimmten Temperaturen und Mischungen beschrieben.

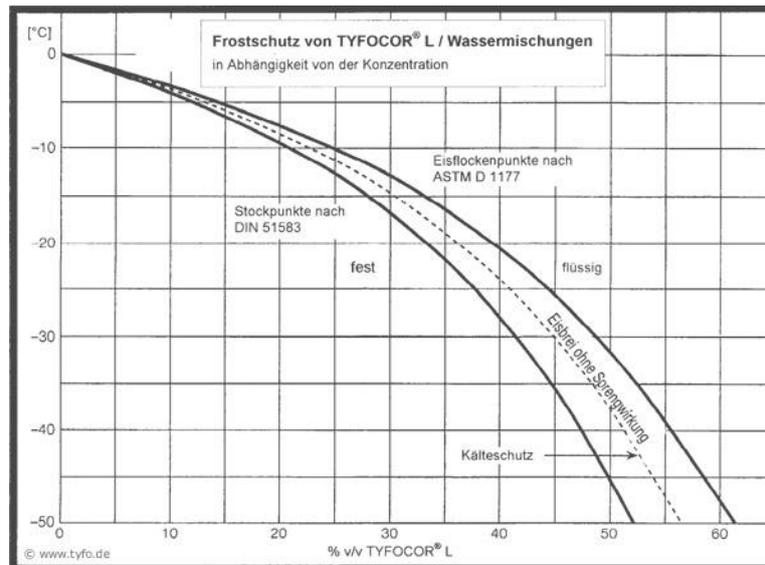


Abbildung 22 - Frostschutzmittel Arbeitsbereiche, Firma TYFO

Bei einer Temperaturen und Konzentration die Oberhalb der oberen schwarzen Linie liegen ist das Wärmeträgermedium flüssig. Bei Temperaturen unterhalb der unteren Linie gefriert das Medium. Befindet sich die Temperatur in Abhängigkeit der Konzentration innerhalb beider Linien, dann kommt es zu Verklumpungen und ein Eisbrei entsteht. Dieser Eisbrei hat keine Sprengwirkung, dehnt sich nicht aus. Das Diagramm zeigt damit wie viel der Glykol-Konzentration bei welchen Temperaturen nötig ist.

### 3.3. Wärmespeicher und Wärmetauscher

Der Wärmespeicher dient als Vorratsbehälter und als Puffer für das Wasser, das solar erwärmt wurde. Dieser Speicher sollte dieses Wasser wenn möglich mindestens über Nacht speichern, da in der Nacht keine Sonnenenergie zu Verfügung steht.

Meistens werden diese Speicher größer dimensioniert, damit eine Warmwasserversorgung über mehrere Tage gewährleistet ist.

In den Wärmespeichern sind Wärmetauscher installiert, die die Wärme von dem Wärmeträgermedium an das Brauchwasser übertragen. Zudem wird eine Heizung an den Wärmespeicher angeschlossen um die hohe Temperatur auch bei mehreren Tagen ohne Sonnenschein zu erhalten.

Wärmespeicher müssen korrosionsbeständig sein und gut zur Umgebung isoliert werden. Die Wärmeverluste können dadurch gering gehalten werden.

Der Speicher ist ein sehr wichtiges Bauteil bei einer Solarthermie-Anlage. Ohne Speicher kann die Wärme nur direkt genutzt werden.

Dabei gibt es verschiedene Arten von Speichern.

### 3.3.1. Brauchwasser Druckspeicher

Bei gewöhnlichen Solarthermie-Anlagen werden Druckspeicher installiert. In den von der Industrie gefertigten Speichern befinden sich die Wärmetauscher vorinstalliert. Am häufigsten werden Bivalente Systeme verwendet, die zwei Anschlüsse werden für die Solaranlage und das Nachheizsystem verwendet. Bei den Druckspeichern ist es wichtig ausreichend Schutz gegen Korrosion zu garantieren. Daher wird die Stahlhülle der Speicher mit Emaille überzogen oder mit einem Kunststoff beschichtet. Es gibt auch die teurere Variante den Speicher aus Edelstahl zu fertigen, dabei wird Korrosionsbeständiges Material, wie Cr-Ni-Stahl, verwendet.

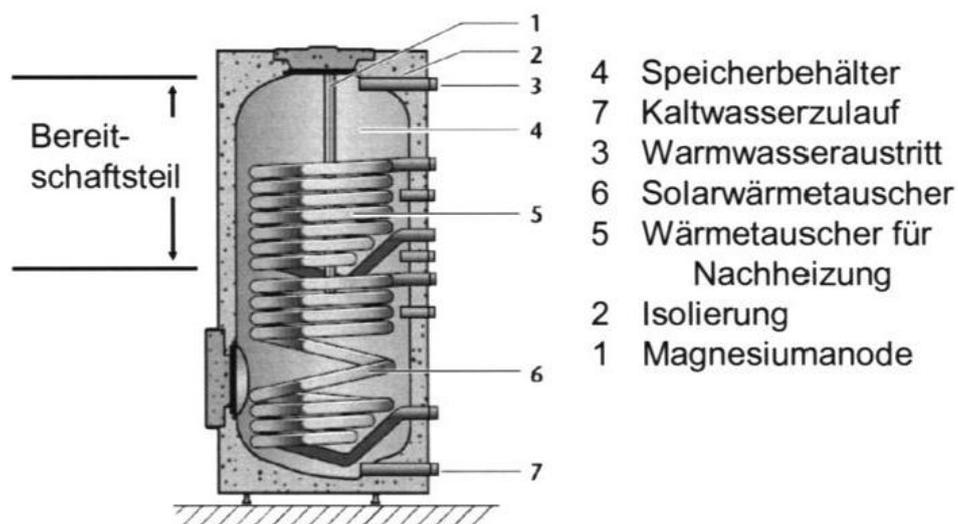


Abbildung 23 - Druckspeicher, Firma Buderus

### **3.3.2. Drucklose Speicher**

Die drucklosen Speicher werden verwendet, wenn das Speichervolumen sehr groß ist ab ca. 2m<sup>3</sup>. Die Herstellung von Druckspeichern ist in diesem Fall ein großer Kostenfaktor. Der Aufbau von drucklosen Speichern ist einfacher und diese sind kostengünstiger. Für diese Art von Speicher ist es möglich Kunststoff einzusetzen. Dabei sollte eine Temperatur von 80°C nicht überschritten werden.

Der Nachteil ist, dass Maßnahmen ergriffen werden müssen um die üblichen Druckverhältnisse herzustellen.

### **3.3.3. Kies- Wasserwärmespeicher**

Diese Art von Speichern wird meistens in die Erde eingelassen, da die Speicher wesentlich größer sind als Druckspeicher. Die Speicher haben eine Isolierung, um die Wärme nicht nach außen abzugeben. Der Speicher ist mit einem Kies- Wassergemisch gefüllt und ist mit Rohren durchzogen. In diesen Rohren wird das Wasser transportiert, das vom Wärmeerzeuger, der Solaranlage kommt. Außerdem wird das Warmwasser oder in der Heizung an weitere Rohre angeschlossen. Da die Wärmespeicherfähigkeit von Kies gegenüber dem Wasser gering ist, werden diese Speicher erst ab einer Größe von 1000- 10.000 m<sup>3</sup> installiert.

## **3.4. Pumpen**

Die Pumpen in dem Solarsystem werden benötigt um das Wärmeträgermedium durch die Kollektoren zu pumpen und das Medium mit hoher Temperatur in den Speicher zu transportieren. Hierbei ist ein niedriger Volumenstrom erforderlich, Low-Flow: ca. 0,1-0,25 l/min \* m<sup>2</sup> oder High-Flow: ca. 0,5-2,1 l/min\*m<sup>2</sup>. Zum Vergleich wird in einer Heizungsanlage Pumpen mit einer Förderleistung von 50 l/min eingesetzt.

Das Medium in den Leitungen der Solarsysteme hat zudem einen relativ geringen Druck.

Die Pumpen müssen hohen Temperaturen standhalten bis zu 300°C und Korrosionsbeständig sein. Das Glykol-Gemisch darf die Chemische Struktur der Pumpen nicht angreifen und verändern. Diese Pumpen müssen in der Lage sein große Förderhöhen zu erreichen trotz geringem Volumenstrom. Beispielsweise ein Haus mit 5 Etagen und dem Wärmespeicher im Keller. Außerdem muss der Volumenstrom regelbar sein, da je nach Sonneneinstrahlung die Durchflussmenge verändert werden muss.

### **3.5. Leitungssysteme**

Die Rohrleitungssysteme müssen wie die Pumpen den hohen Temperaturen des Wärmeträgermediums standhalten und ebenfalls korrosionsbeständig sein. Wenn die Rohre auf dem Dach liegen und keine Isolierung haben, muss das Material auch UV-beständig sein. Da in vielen Fällen eine Solaranlage auch in Altbauten eingebaut wird, muss es möglich sein Rohrleitung leicht und einfach zu verlegen.

Nach der EnEV – Energiesparverordnung, müssen Rohrleitungen mit einem Innendurchmesser von bis zu 22mm eine Isolierung von 20mm haben. Rohrleitungen mit 22mm-35mm benötigen eine Isolierung von mindestens 30mm.

### **3.6. Regeleinheit**

Die Regelung wird benötigt um die Optimale Nutzung der Sonnenenergie zu erlangen. Bei extrem kalten und Sonnenarmen Tage muss die Solaranlage selbständig die Pumpen abstellen. Bei nicht Abschalten werden durch den Kreislauf nicht der Speicher erwärmt sondern der Kollektor und damit die Umwelt. Durch Temperaturfühler in den Rohrsystemen und den Kollektoren kann die Regelung auf die Differenzen

der Temperaturen reagieren. Die Einstellungen werden je nach Anlagentyp optimal eingestellt. Ist die Differenz zwischen Kollektortemperatur und Speicher Temperatur zu gering wird der Volumenstrom unterbrochen. Bei großer Differenz sollte im Idealfall die Größtmögliche Energie Zufuhr in den Speicher ermöglicht werden. Diese Aufgaben werden durch die Regelung übernommen.

Die Regelung sorgt außerdem dafür, dass die Speichertemperatur begrenzt wird und nicht zu groß wird. Die Regelung bestimmt die Drehzahl und damit den Volumenstrom der Pumpe.

## **4. Simulationsprogramme**

Wie in der Aufgabenbeschreibung vorgestellt, sollen in dieser Diplomarbeit mehrere Anlagen an verschiedenen Standorten beschrieben werden und mit einander verglichen werden. Für diesen Vergleich werden zwei Simulationsprogramme benötigt. Mit dem Programm CASAnova 3.3 der Universität Siegen wird der Wärmebedarf berechnet. Die Simulation der verschiedenen Anlagen, Standorte und Systemen wird mit dem Programm T-Sol durchgeführt. Im Folgenden werden beide Programme einzeln vorgestellt.

### **4.1. CASAnova 3.3**

CASAnova 3.3 ist ein „Lernprogramm zum Heizwärme- und Kühlbedarf sowie dem Temperaturverhalten in Gebäuden“. Das Programm wird in dem Fachgebiet Bauphysik und Solarenergie der Universität Siegen bereitgestellt. Mit dem Programm können die geometrischen Daten eines Musterhauses festgelegt werden. Außerdem kann die Isolierung und die Verglasung in der Berechnung des Wärmebedarfs berücksichtigt werden. CASAnova ist ein Programm, mit dem in einfachen Schritten die unterschiedlichen Ergebnisse durch Veränderungen der Gebäudeparameter dargestellt werden können. Die EN 832 wird als Grundlage der Wärmebedarfsrechnung genommen.

In dieser Simulation wird CASAnova benötigt um den Wärmebedarf eines festgelegten Musterhaus zu berechnen. Die Berechnung des Wärmebedarfs ist im Gegensatz zu T-Sol detaillierter und genauer.

Alle weiteren Berechnungen werden diese Daten zur Grundlage genommen. Mit T-SOL werden auf dieser Basis die unterschiedliche Wärmebereitstellung der Standorte Hamburg, Freiburg und Sevilla berechnet.

## 4.2. T\*SOL

Das Simulationsprogramm mit dem die Werte der Einzelnen Komponenten wie Kollektoren, Wasserspeicher und Zusatzheizung berechnet werden, ist T-SOL. Dieses Programm in der vierten Version wird für die Auslegung und Simulation thermischer Solaranlagen genutzt.

Mit T-SOL, können Planer das unterschiedliche Betriebsverhalten einer Anlage bei Veränderungen der Bestandteile berechnen.

Die Ergebnisse werden in Tabellenform und in Diagrammen grafisch dargestellt.

Im Weiteren kann mit T\*SOL die Wirtschaftlichkeit der Anlage berechnet werden. In einem weiteren Bericht werden der Kapitalwert, Annuität und der Wärmepreis angegeben.

In der Berechnung können mehrere Kenngrößen aus der Bibliothek Daten für verschiedene Kollektoren, Speichern und Zusatzheizungen ausgewählt werden.

Um mit T\*SOL die Daten vergleichen zu können, müssen Parameter festgesetzt werden. Mit den Berechneten Daten können im Fazit die besten Möglichkeiten je nach Standort gewählt werden. Für die Simulation wurde ein Musterhaus ausgewählt dieses wird im Folgenden vorgestellt.

## 5. Grundlagen der Simulation

### 5.1. Das Musterhaus

Um den Wärmebedarf zu berechnen müssen Werte für ein Musterhaus festgelegt werden. Dieses Gebäude muss an allen Standorten die gleichen Maße, Fensterflächen, Baustoffart, Lage und Ausrichtung haben. Die gleichen Daten vereinfachen das Vergleichen von verschiedenen Standorten. Das Musterhaus hat eine Grundfläche von 100 m<sup>2</sup> und eine Nutzfläche von 160 m<sup>2</sup>. Das Musterhaus ist genau nach Süden ausgerichtet, der Winkel beträgt 180°. Ziel ist es, eine möglichst große Menge der Sonnenenergie zu nutzen. Die ermittelten Daten werden zur Wirtschaftlichkeitsberechnung im nächsten Kapitel verwendet.

#### 5.1.1. Gebäude

Soll-Raumlufttemperatur:	20,0 °C
Erwärmung ab einer Raumlufttemperatur über:	27,0 °C
Freie Lüftung (Infiltration):	0,60 1/h
Mechanische Lüftung:	0,00 1/h
Wärmerückgewinnung (nur mech. Lüftung):	0 %
Interne Gewinne:	25,0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Art der Außenwände:	Mittelschwere Bauweise
Art der Innenwände:	Mittelschwere Bauweise
Grundfläche	100 m <sup>2</sup>
Nutzfläche	160 m <sup>2</sup>

### 5.1.2. Fenster

Nord	Fensterfläche:	2,6 m <sup>2</sup>	
	Fensteranteil der Fassade:	5,0 %	
	Fensterart:	Wärmeschutz-Doppelverglasung (U = 1,4 W/(m <sup>2</sup> K))	
	U-Wert Glas:	1,40 W/(m <sup>2</sup> K)	
	U-Wert Rahmen:	1,50 W/(m <sup>2</sup> K)	
	g-Wert Verglasung:	0,58	
	Rahmenanteil:	20,0 %	
	Verschattung:	20,0 %	
	Süd	Fensterfläche:	20,8 m <sup>2</sup>
		Fensteranteil der Fassade:	40,0 %
Fensterart:		Wärmeschutz-Doppelverglasung (U = 1,4 W/(m <sup>2</sup> K))	
U-Wert Glas:		1,40 W/(m <sup>2</sup> K)	
U-Wert Rahmen:		1,50 W/(m <sup>2</sup> K)	
g-Wert Verglasung:		0,58	
Rahmenanteil:		20,0 %	
Verschattung:		20,0 %	
Ost		Fensterfläche:	2,6 m <sup>2</sup>
		Fensteranteil der Fassade:	5,0 m <sup>2</sup>
	Fensterart:	Wärmeschutz-Doppelverglasung (U = 1,4 W/(m <sup>2</sup> K))	
	U-Wert Glas:	1,40 W/(m <sup>2</sup> K)	
	U-Wert Rahmen:	1,50 W/(m <sup>2</sup> K)	
	g-Wert Verglasung:	0,58	

	Rahmenanteil:	20,0 %
	Verschattung:	20,0 %
West	Fensterfläche:	2,6 m <sup>2</sup>
	Fensteranteil der Fassade:	5,0 %
	Fensterart:	Wärmeschutz-Doppelverglasung (U = 1,4 W/(m <sup>2</sup> K))
	U-Wert Glas:	1,40 W/(m <sup>2</sup> K)
	U-Wert Rahmen:	1,50 W/(m <sup>2</sup> K)
	g-Wert Verglasung:	0,58
	Rahmenanteil:	20,0 %
	Verschattung:	20,0 %

## 5.2. Basis Daten

### 5.2.1. Grundlagen des Heizungssystem

Es wird eine Solaranlage mit Heizungsunterstützung gewählt. Hier sind folgende Parameter festzulegen.

Kollektor Fläche:

Die Kollektorfläche wurde mit 15 m<sup>2</sup> frei gewählt (Hamburg und Freiburg)  
Die Kollektorfläche für Sevilla beträgt 4 m<sup>2</sup>, da die Fläche von 15m<sup>2</sup> den Wärmebedarf überschreitet und die Energie nicht im Haus genutzt werden kann.

In Zusammenarbeit haben wir uns für die Simulationen für Flachkollektoren und Vakuumrohrkollektoren entschieden. Die Vor- und Nachteile der Systeme wurden außer Acht gelassen, da bei der Simulation

in der Hauptsache die Ausrichtung nach Himmelsrichtung und die Größe der Pufferspeicher betrachtet werden.

Die Hydraulik für die Anlage ist als zweirangig zu bewerten. Aus diesem Grund wurde hier ein einfaches System gewählt.

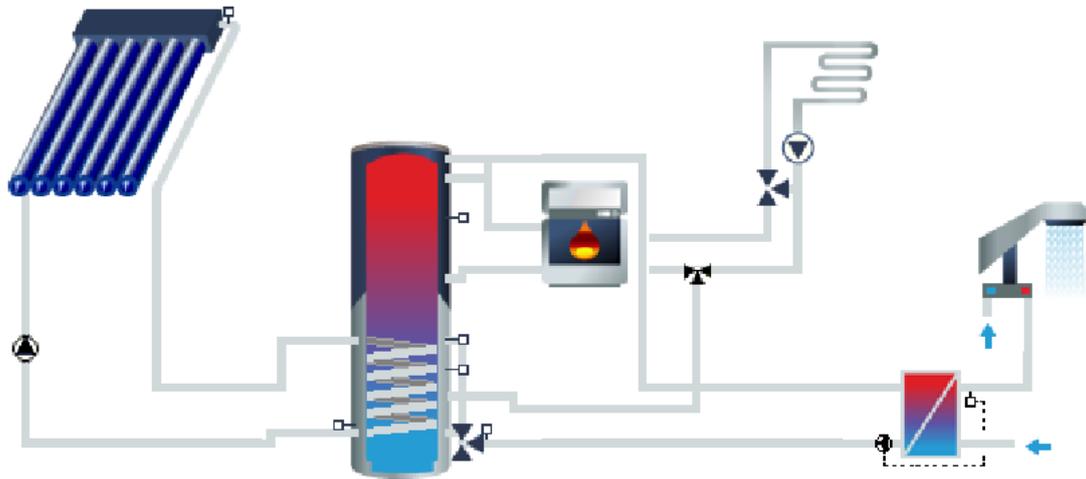


Abbildung 24 - Schema solarthermische Anlage aus T\*SOL

Heizungssystem:	Niedertemperaturkessel, Kessel und Verteilleitungen innerhalb der thermischen Hülle
Wärmeübergabe	/ Heizflächen (Außenwand),
Systemtemperatur:	Thermostatventile, Auslegungsproportionalbereich: 1K, Systemtemperatur: 70/55°C
Energieträger:	Heizöl EL

## 5.2.2. Heizenergiebedarf nach Regionen

Für den Heizbedarf wurden die Tabellen aus CASAnova 3.3 genommen. Die Tabellen beschreiben die Transmissionsverluste und die Lüftungsverluste im Musterhaus. Wichtig für die Betrachtung und Auslegung der thermischen Solaranlage, sind die Internen- und Solare-Gewinne aus denen der Heizwärmebedarf ermittelt wird. Der Heizwärmebedarf wird monatlich für jeden Standort angegeben und in einer Summe zusammen gefasst. Auf Grundlage dieses jährlichen Heizwärmebedarfs kann der Deckungsgrad berechnet werden, den eine Solaranlage erzielt. Für die Standorte Hamburg, Freiburg und Sevilla werden diese Werte in den Tabellen dargestellt.

### 5.2.2.1. Hamburg

Absolut (Gesamtes Gebäude)

	Transmis- sionsverl. in kWh	Lüftungs- verluste in kWh	Interne Gewinne in kWh	Solare Gewinne in kWh	Nutzungs- faktor	Heizw.- bedarf in kWh
Januar	1958	1256	340	259	1,00	2615
Februar	1774	1138	307	433	1,00	2173
März	1617	1037	339	629	1,00	1686
April	1285	824	322	806	0,98	982
Mai	808	518	287	815	0,85	224
Juni	502	322	202	591	0,61	31
Juli	289	186	128	345	0,38	2
August	292	187	131	345	0,39	2
September	612	393	266	602	0,81	136
Oktober	1100	706	335	569	0,99	903
November	1505	965	329	325	1,00	1816
Dezember	1848	1185	340	209	1,00	2485
Jahressumme	13590	8718	3325	5929		13054

Die Jahressumme an Heizwärmebedarf beträgt in Hamburg 13.054 kWh.

In dem folgendem Diagramm werden die Werte für den Standort Hamburg grafisch und nach Monaten sortiert dargestellt. Der größte Anteil an Energie wird in den Wintermonaten von Oktober bis März benötigt. In dieser Zeit werden 90 Prozent der Heizenergie benötigt.

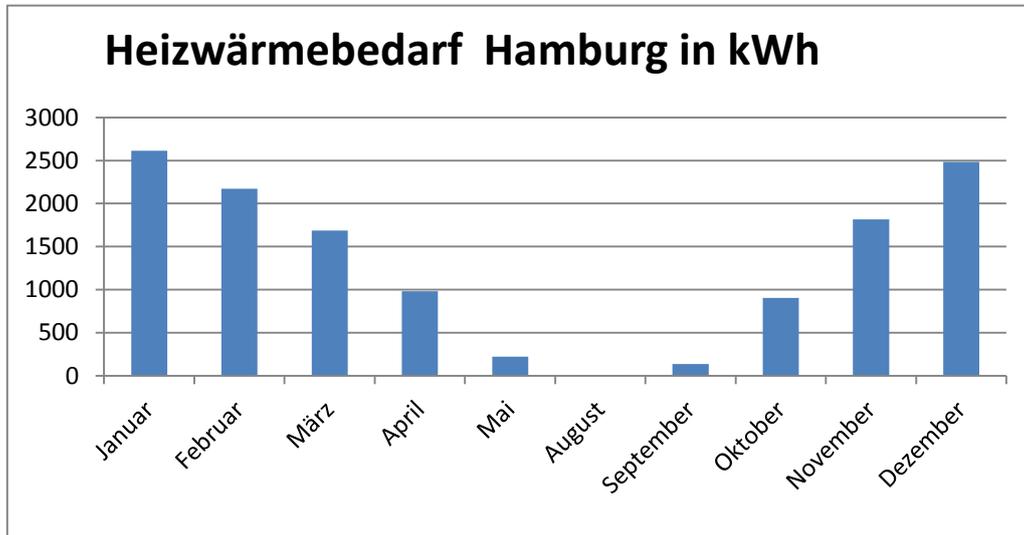


Diagramm 1 - Heizwärmebedarf Standort Hamburg

### 5.2.2.2. Freiburg

Absolut (Gesamtes Gebäude):

	Tramsmis- sionsverl. in kWh	Lüftungs- verluste in kWh	Interne Gewinne in kWh	Solare Gewinne in kWh	Nutzungs- faktor	Heizw- bedarf in kWh
Januar	1940	1245	340	362	1,00	2483
Februar	1620	1039	306	536	1,00	1816
März	1452	931	337	720	0,99	1327
April	1013	650	314	747	0,96	602
Mai	591	379	245	649	0,72	76
Juni	290	186	125	350	0,38	2
Juli	73	47	30	89	0,09	0
August	156	100	66	190	0,19	0
September	482	309	216	536	0,66	40
Oktober	1017	652	329	653	0,97	687
November	1486	954	328	502	1,00	1610
Dezember	1816	1165	340	351	1,00	2290
Jahressumme	11936	7657	2976	5685		10932

Die Jahressumme an benötigter Heizenergie beläuft sich für den Standort Freiburg auf 10.932 kWh.

In der grafischen Darstellung kann der monatliche Verlauf über ein Jahr bewertet werden. In den Wintermonaten werden in Freiburg mehr als 93 Prozent der Jahressumme an Heizenergie benötigt.

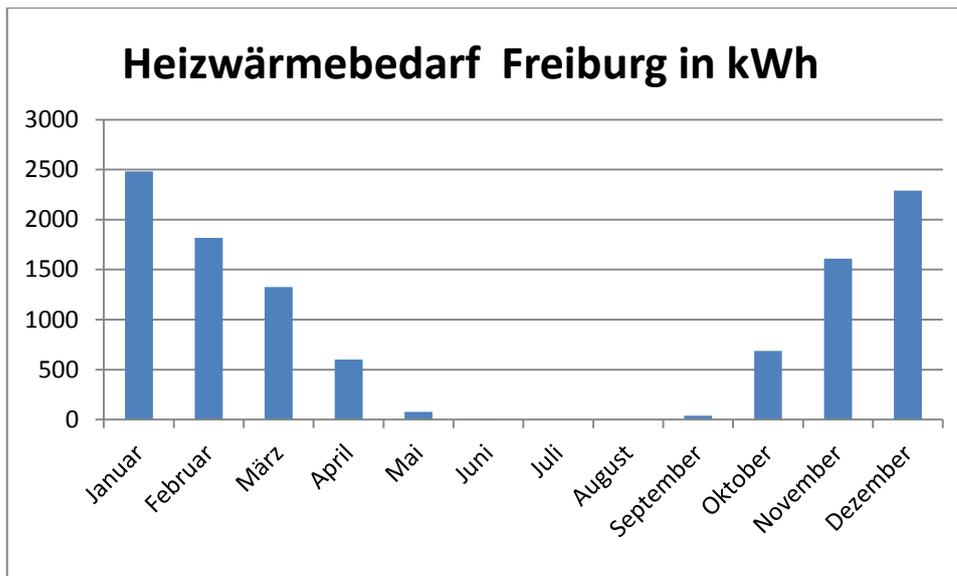


Diagramm 2 - Heizwärmebedarf Standort Freiburg

### 5.2.2.3. Sevilla

Absolut (gesamtes Gebäude):

	Transmissionsverl. in kWh	Lüftungsverluste in kWh	Interne Gewinne in kWh	Solare Gewinne in kWh	Nutzungsfaktor	Heizw.-bedarf in kWh
Januar	924	593	298	908	0,88	311
Februar	730	469	251	778	0,82	170
März	581	373	215	698	0,63	41
April	391	251	164	469	0,50	9
Mai	62	40	27	74	0,08	0
Juni	0	0	0	0	0,00	0
Juli	0	0	0	0	0,00	0
August	0	0	0	0	0,00	0
September	0	0	0	0	0,00	0
Oktober	63	41	24	80	0,07	0
November	501	322	209	579	0,63	36
Dezember	862	553	302	800	0,89	314
Jahressumme	4115	2640	1489	4386		880

Die Heizenergie in der Jahressumme beträgt in Sevilla weitaus weniger als in Hamburg und Freiburg. Das liegt an der Südlichen Lage der Region und den wesentlich größeren Energiemengen die dort auf die Erde treffen. Zudem werden in Sevilla mehr Sonnentage gezählt als in Hamburg. In einem Jahr ist die Summe an Heizwärmeenergie 880 kWh.

Aus dem Diagramm ist zu erkennen, dass in den Sommermonaten von Mai bis einschließlich Oktober keinerlei Heizenergie benötigt wird. In den Monaten von November bis April wird insgesamt so viel Energie benötigt wie in Hamburg im ganzen Oktober. Daher wird für den Standort eine viel kleinere Kollektorfläche benötigt mit der auch simuliert wird. Diese Fläche beträgt 4 m<sup>2</sup>.

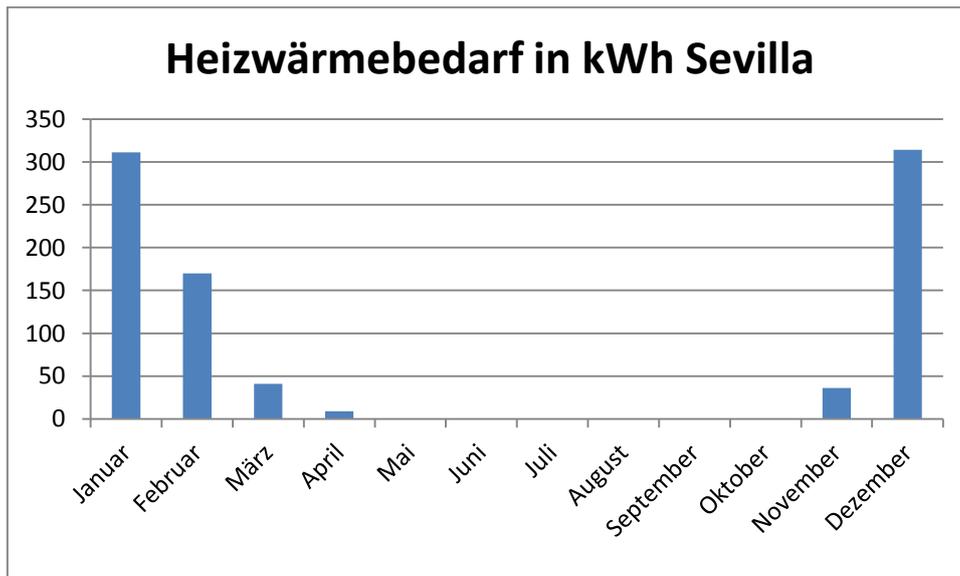


Diagramm 3 - Heizwärmebedarf Standort Sevilla

### 5.2.3. Energiebedarf für Warmwasser

Um die gesamte benötigte Wärmeenergie in einem Jahr zu berechnen, wird zusätzlich der Warmwasserverbrauch hinzugezogen werden. Der Warmwasserbedarf wird direkt in der Simulation mit folgenden Werten ermittelt. In Deutschland ist der Bedarf in etwa gleich, in Spanien liegt der Wert deutlich unter diesen Werten.

Hamburg 2.772 kWh

Freiburg 2.620 kWh

Sevilla 2.178 kWh

Der Energieverbrauch ist eine Konstante, da die Witterung hierauf kaum Einfluss hat.

Bei einer Solltemperatur von 50 °C und einer Eintrittstemperatur von 14 °C im August oder 9 °C im Februar ergibt sich eine Delta T von 36 bis 41 Kelvin.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Bei der Simulation werden diese Temperaturdifferenzen berücksichtigt.

Für die Standorte ergeben sich somit folgende Energieverbrauchswerte. Dafür werden der Warmwasserbedarf und der Heizenergiebedarf addiert, der gesamte Energiebedarf wird in der Tabelle dargestellt.

Tabelle 1 - Wärmebedarf im Musterhaus nach Standorten

Hamburg	2.772 kWh + 13.054 kWh
	15.826 kWh
Freiburg	2620 kWh + 10.932 kWh
	13.552 kWh
Sevilla	2178 kWh + 880 kWh
	3058 kWh

### **5.3. Vorgehensweise bei der Simulation**

Bei der Simulation wurde nach folgendem Muster vorgegangen. Die Ausrichtung wurde wie folgt in gleichmäßigen Schritten geändert. Himmelsrichtungen wurden in 30 ° Schritten um 360° der Aufstellwinkel wurde in 15° schritten von 15° bis 90 ° Geändert. Jede Ausrichtung wurde mit jedem Aufstellwinkel simuliert und die Ergebnisse in einer Tabelle festgehalten. Diese Vorgehensweise wurde mit 3 verschiedenen Pufferspeichern wiederholt. Diese Pufferspeicher Größen sind 500L, 1000L und 2000L. Die Kollektoren variieren zwischen Flachkollektoren und Vakuumröhrenkollektoren.

Aus den Simulationsergebnissen werden nur die besten Werte genommen. Dabei muss beachtet werden welchen Aufstellwinkel und welche Ausrichtung die Kollektoren haben müssen. Da die Werte für ein Bestandshaus berechnet werden, wird davon ausgegangen, dass das Musterhaus den optimalen Ausrichtungen immer entspricht.

## **6. Ergebnisse der Simulation**

Die Ergebnisse der Simulation stellen die Grundlage für die weitere Berechnung dar. In der Wirtschaftlichkeitsberechnung und in der CO<sub>2</sub>-Berechnung werden diese Werte benötigt. Es wurden alle Ergebnisse ermittelt, jede Himmelsrichtung in 30°-Schritten und die Aufstellwinkel von 15° bis 90° in 15°-Schritten. Außerdem ist die Speichergröße berücksichtigt, für jeden Speicher und jeder Kollektorart ergeben sich somit Ergebnisse. Für jeden Standort werden 6 verschiedene Ergebnisse ermittelt.

## 6.1. Simulation Hamburg

### 6.1.1. Flachkollektoren

Tabelle 2 - Simulation Hamburg 500 Liter

Hamburg 500 Liter Speicher Ergebnisse in kWh						
Himmelsrichtung	Aufstellwinkel					
	15°	30°	45°	60°	75°	90°
<b>Nord 360°</b>	1465	965	611	484	430	362
<b>30°</b>	1524	1112	792	625	512	418
<b>60°</b>	1703	1483	1283	1094	902	710
<b>Osten 90°</b>	1940	1907	1846	1700	1466	1166
<b>120°</b>	2176	2331	2372	2275	2018	1593
<b>150°</b>	2351	2631	2751	2699	2403	1900
<b>Süden 180°</b>	2428	2766	2923	2888	2589	2035
<b>210°</b>	2387	2689	2820	2779	2494	1993
<b>240°</b>	2227	2423	2498	2426	2221	1830
<b>Westen 270°</b>	2007	2034	2009	1917	1724	1443
<b>300°</b>	1762	1595	1456	1324	1152	936
<b>330°</b>	1565	1183	930	765	633	506

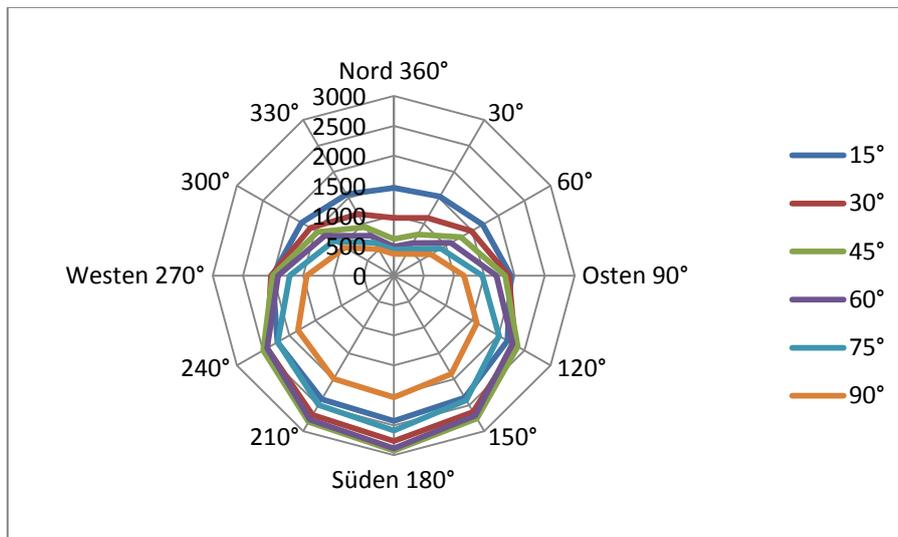


Diagramm 4 - Simulation Hamburg 500 Liter

Für Hamburg ergibt sich der beste Energieausbeute mit 2923 kWh bei einem Aufstellwinkel von 45° und einer Ausrichtung nach Süden und 500 Liter Speicher und Flachkollektoren. Im Diagramm ist die Energieausbeute nach den beiden Winkeln dargestellt. Grafisch ist hier der beste Wert mit den anderen Werten zu vergleichen.

Tabelle 3 - Simulation Hamburg 1000 Liter

Hamburg 1000 Liter Speicher Ergebnisse in kWh						
Himmelsrichtung	Aufstellwinkel					
	15°	30°	45°	60°	75°	90°
<b>Nord 360°</b>	1570	911	466	328	256	190
<b>30°</b>	1644	1082	691	492	353	257
<b>60°</b>	1876	1566	1301	1066	841	602
<b>Osten 90°</b>	2168	2114	2013	1833	1538	1157
<b>120°</b>	2452	2640	2670	2530	2195	1675
<b>150°</b>	2672	3024	3159	3053	2657	2017
<b>Süden 180°</b>	2766	3177	3358	3272	2878	2170
<b>210°</b>	2705	3074	3235	3154	2789	2146
<b>240°</b>	2508	2741	2819	2732	2425	1930
<b>Westen 270°</b>	2228	2270	2214	2082	1826	1474
<b>300°</b>	1927	1708	1500	1334	1119	868
<b>330°</b>	1669	1177	855	643	500	359

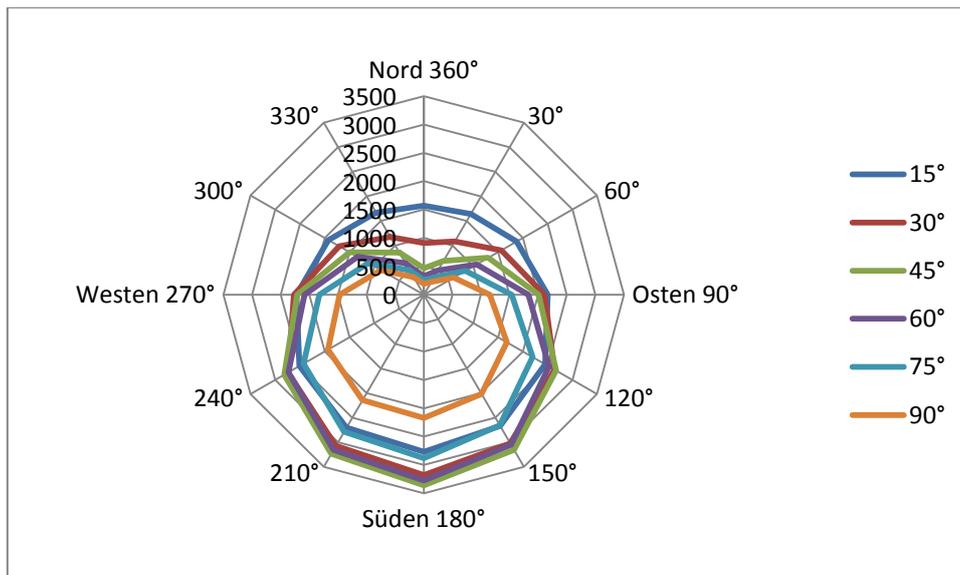


Diagramm 5 - Simulation Hamburg 1000 Liter

Für Hamburg ergibt sich der beste Energieausbeute mit 3358 kWh bei einem Aufstellwinkel von 45° und einer Ausrichtung nach Süden und 1000 Liter Speicher und Flachkollektoren. Im Diagramm ist die Energieausbeute nach den beiden Winkeln dargestellt. Grafisch ist hier der beste Wert mit den anderen Werten zu vergleichen.

Tabelle 4 - Simulation Hamburg 2000 Liter

Hamburg 2000 Liter Speicher Ergebnisse in kWh						
Himmelsrichtung	Aufstellwinkel					
	15°	30°	45°	60°	75°	90°
<b>Nord 360°</b>	1618	841	318	175	119	72
<b>30°</b>	1706	1038	591	371	236	141
<b>60°</b>	1995	1631	1306	1048	790	539
<b>Osten 90°</b>	2357	2282	2156	1928	1576	1139
<b>120°</b>	2693	2893	2932	2752	2319	1720
<b>150°</b>	2947	3332	3479	3329	2840	2078
<b>Süden 180°</b>	3059	3524	3714	3583	3082	2248
<b>210°</b>	2991	3411	3591	3468	2991	2231
<b>240°</b>	2760	2870	3107	2696	2589	2003
<b>Westen 270°</b>	2457	2468	2392	2202	1877	1460
<b>300°</b>	2075	1796	1549	1320	1088	800
<b>330°</b>	1766	1164	760	532	368	237

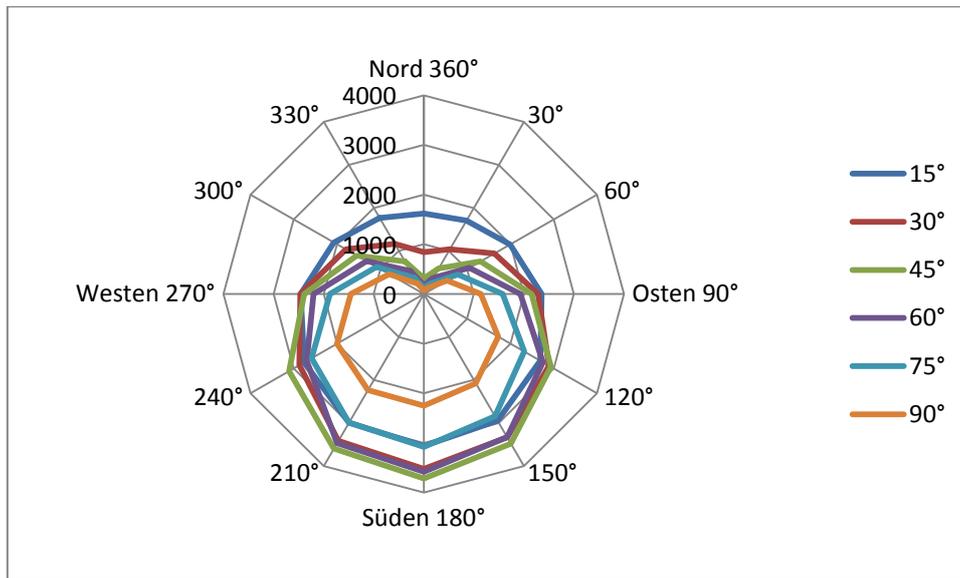


Diagramm 6 - Simulation Hamburg 2000 Liter

Für Hamburg ergibt sich der beste Energieausbeute mit 3714 kWh bei einem Aufstellwinkel von 45° und einer Ausrichtung nach Süden und 2000 Liter Speicher und Flachkollektoren. Im Diagramm ist die Energieausbeute nach den beiden Winkeln dargestellt. Grafisch ist auch hier der beste Wert mit den anderen Werten zu vergleichen.

## 6.1.2. Simulation Hamburg Vakuumröhrenkollektor

Tabelle 5 - Simulation Hamburg 500 Liter Röhre

Hamburg Röhrenkollektor 500 Liter Speicher				
Himmelsrichtung	Aufstellwinkel			
	15°	30°	45°	60°
120°	3670	3813	3831	3710
150°	3815	4117	4239	4205
Süden 180°	3863	4219	4395	4382
210°	3823	4145	4287	4258
240°	3693	3872	3909	3819

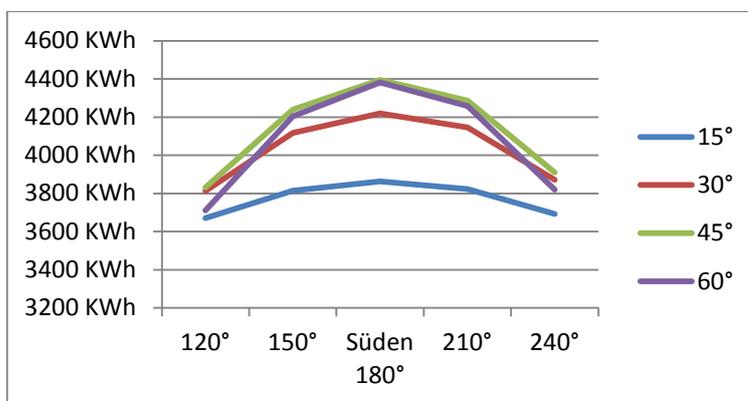


Diagramm 7 - Hamburg 500 Liter Röhre

Für den Vakuumröhrenkollektor wurde nur die Ausrichtung in Südost und Südwest betrachtet, auch die Aufstellwinkel wurden nur zwischen 15° und 60° in die Auswertung genommen. Die Optimale Himmelsrichtung beträgt in Hamburg 45° und Süden, im Jahr wird durchschnittlich 4395 kWh Energie gewonnen. Alle Daten wurden mit einer Speichergröße von 500 Litern ermittelt. Die Grafik verdeutlicht die Simulation und Vergleicht Himmelsrichtung mit Aufstellwinkel.

Tabelle 6 - Simulation Hamburg 1000 Liter Röhre

<b>Hamburg Röhrenkollektor 1000 Liter Speicher</b>				
<b>Himmelsrichtung</b>	<b>Aufstellwinkel</b>			
	15°	30°	45°	60°
<b>120°</b>	4092	4255	4272	4119
<b>150°</b>	4273	4631	4778	4725
<b>Süden 180°</b>	4341	4781	4980	4950
<b>210°</b>	4280	4666	4830	4778
<b>240°</b>	4114	4326	4365	4243

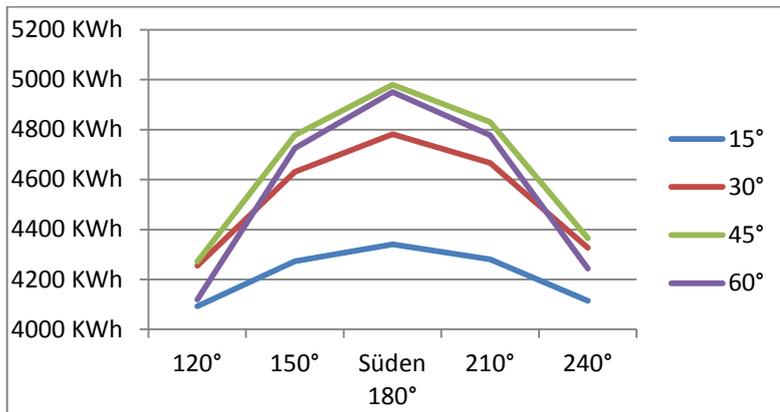


Diagramm 8 - Hamburg 1000 Liter Röhre

Für den Vakuumröhrenkollektor mit einer Speichergröße von 1000 Litern wurde ebenfalls die Himmelsrichtung Süden und ein Aufstellwinkel von 45° simuliert. Der Energiegewinn beträgt 4980 kWh im Jahr. Wie im Diagramm 7, können auch in diesem Diagramm die Daten grafisch verglichen werden.

Tabelle 7 - Simulation Hamburg 2000 Liter Röhre

<b>Hamburg Röhrenkollektor 2000 Liter Speicher</b>				
<b>Himmelsrichtung</b>	<b>Aufstellwinkel</b>			
	15°	30°	45°	60°
<b>120°</b>	4583	4751	4762	4572
<b>150°</b>	4775	5157	5305	5219
<b>Süden 180°</b>	4846	5322	5531	5482
<b>210°</b>	4789	5193	5358	5278
<b>240°</b>	4605	4821	4854	4699

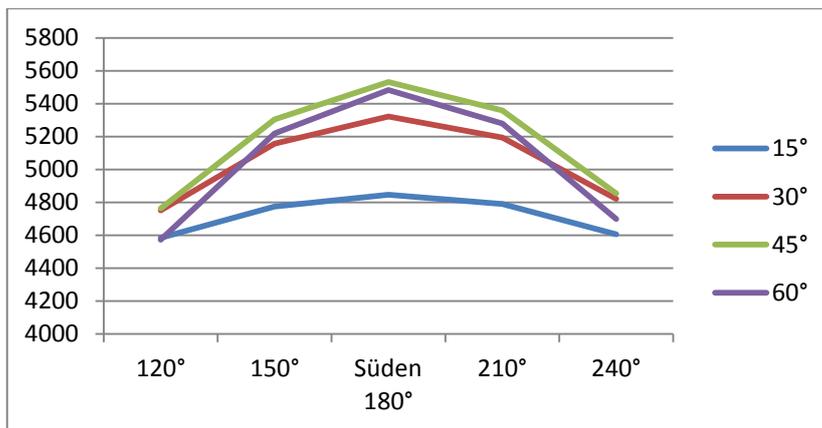


Diagramm 9 - Hamburg 2000 Liter Röhre

Für den 2000 Liter Speicher ergeben sich die gleichen Winkel und die gewonnene Energie beträgt 5531 kWh.

### 6.1.3. Auswertung für Flachkollektoren und Vakuumröhren in Hamburg

Anhand der Ergebnisse kann man sehen, dass die höchsten Energiewerte in der Himmelsrichtung Süden bei 180° und einen Aufstellwinkel von 45° liegen. Die niedrigsten Werte kommen bei der Ausrichtung nach Norden zustande, die sollen aber in dieser Diplomarbeit nicht beachtet werden. In der Tabelle werden die höchsten Energiewerte nach Flachkollektoren und Vakuumröhrenkollektoren aufgestellt.

Höchster Energiegewinn in kWh

Tabelle 8 - Zusammenfassung Simulation Hamburg

	Flachkollektor	Vakuumröhren
Speicher 500 Liter	2923	4395
Speicher 1000 Liter	3358	4781
Speicher 2000 Liter	3714	5531

## 6.2. Simulation Freiburg

### 6.2.1. Flachkollektoren

Tabelle 9 - Simulation Freiburg 500 Liter Flach

Freiburg 500 Liter Speicher Ergebnisse in kWh						
Himmelsrichtung	Aufstellwinkel					
	15°	30°	45°	60°	75°	90°
<b>Nord 360°</b>	1847	1337	835	602	514	442
<b>30°</b>	1909	1476	1073	806	656	514
<b>60°</b>	2103	1828	1604	1368	1129	870
<b>Osten 90°</b>	2377	2327	2229	2059	1779	1417
<b>120°</b>	2633	2779	2812	2685	2382	1901
<b>150°</b>	2820	3095	3212	3124	2793	2164
<b>Süden 180°</b>	2892	3219	3371	3286	2937	2270
<b>210°</b>	2839	3141	3271	3201	2893	2285
<b>240°</b>	2683	2871	2936	2840	2575	2112
<b>Westen 270°</b>	2437	2446	2388	2249	2009	1671
<b>300°</b>	2163	1952	1762	1569	1358	1108
<b>330°</b>	1945	1548	1199	964	773	606

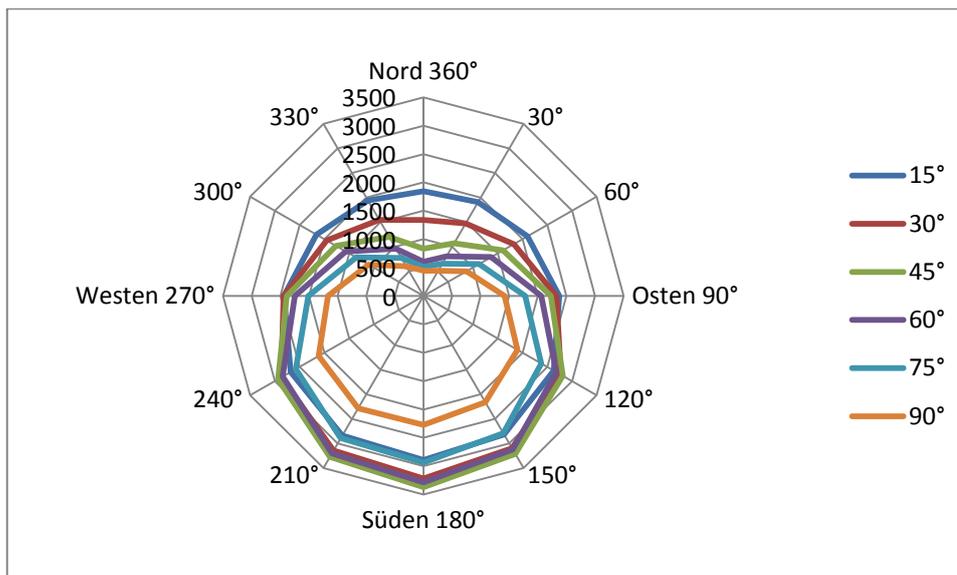


Diagramm 10 - Simulation Freiburg 500 Liter Flach

In Freiburg werden wie in Hamburg die besten Ergebnisse bei südlicher Richtung und einem Aufstellwinkel von 45° erreicht. Bei einem 500 Liter Speicher ist der beste Wert 3371 kWh. Wie bei allen Ergebnissen kann in dem Diagramm die grafische Verteilung verglichen werden.

Tabelle 10 - Simulation Freiburg 1000 Liter Flach

Freiburg 1000 Liter Speicher Ergebnisse in kWh						
Himmelsrichtung	Aufstellwinkel					
	15°	30°	45°	60°	75°	90°
Nord 360°	2047	1371	738	439	354	282
30°	2111	1554	1035	693	493	355
60°	2347	2015	1717	1409	1098	783
Osten 90°	2685	2620	2498	2268	1909	1453
120°	3018	3204	3223	3060	2665	2026
150°	3242	3604	3720	3586	3140	2342
Süden 180°	3350	3764	3925	3806	3327	2448
210°	3294	3664	3805	3684	3264	2490
240°	3082	3322	3371	3230	2875	2288
Westen 270°	2765	2763	2685	2487	2174	1755
300°	2423	2163	1910	1658	1383	1056
330°	2157	1646	1191	877	645	464

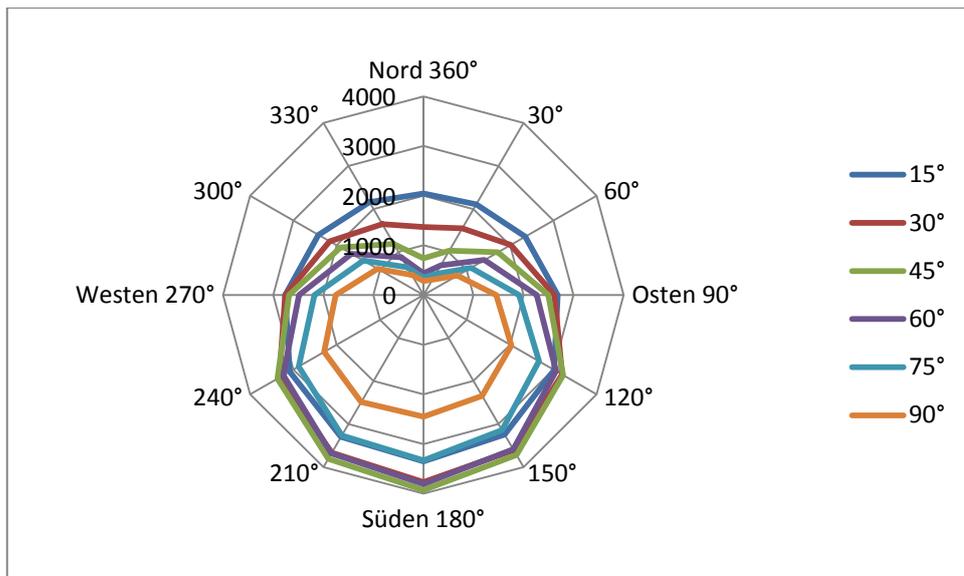


Diagramm 11 - Simulation Freiburg 1000 Liter Flach

Bei 1000 Liter Speicher beträgt die Energieausbeute mit Flachkollektoren 3925 kWh.

Tabelle 11 - Simulation Freiburg 2000 Liter Flach

Freiburg 2000 Speicher Ergebnisse in kWh						
Himmelsrichtung	Aufstellwinkel					
	15°	30°	45°	60°	75°	90°
Nord 360°	2188	1380	615	298	214	142
30°	2289	1594	984	590	368	261
60°	2559	2165	1791	1423	1054	703
Osten 90°	2956	2873	2711	2445	2000	1444
120°	3336	3568	3573	3361	2858	2095
150°	3619	4021	4144	3957	3381	2409
Süden 180°	3730	4215	4403	4225	3590	2550
210°	3669	4105	4250	4094	3536	2601
240°	3421	3687	3753	3573	3105	2377
Westen 270°	3036	3048	2946	2702	2309	1764
300°	2649	2345	2035	1714	1369	990
330°	2338	1713	1157	777	526	328

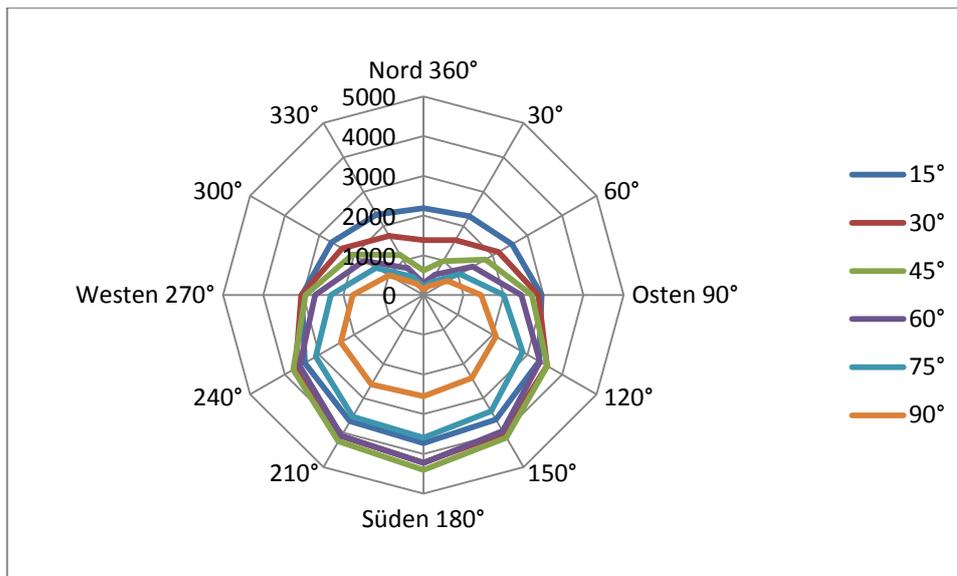


Diagramm 12 - Simulation Freiburg 2000 Liter Flach

Die Energieausbeute mit Flachkollektoren und 2000 Liter Speicher beträgt für Freiburg 4403 kWh.

### 6.2.2. Vakuumröhrenkollektor

Tabelle 12 - Simulation Freiburg 500 Liter Röhre

Freiburg Röhrenkollektor 500 Liter Speicher				
Himmelsrichtung	Aufstellwinkel			
	15°	30°	45°	60°
120°	4109	4238	4256	4126
150°	4222	4503	4601	4570
Süden 180°	4265	4601	4740	4728
210°	4217	4507	4625	4585
240°	4107	4241	4266	4167

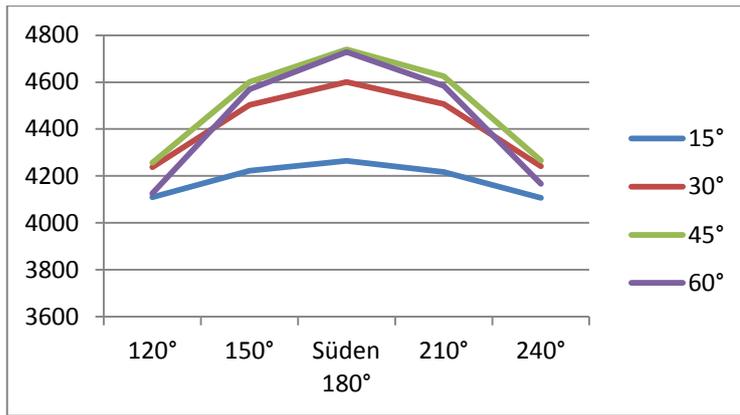


Diagramm 13 - Simulation Freiburg 500 Liter Röhre

Wie schon bei der Simulation für Hamburg zu erkennen, ist die Energieausbeute mit Vakuumröhrenkollektoren höher als mit Flachkollektoren. Auch hier ist die beste Himmelsausrichtung Süden und der Aufstellwinkel 45°. Für einen 500 Liter Speicher ergibt sich ein Energieertrag von 4740 kWh.

Tabelle 13 - Simulation Freiburg 1000 Liter Röhre

Freiburg Röhrenkollektor 1000 Liter Speicher				
Himmelsrichtung	Aufstellwinkel			
	15°	30°	45°	60°
120°	4669	4826	4822	4653
150°	4833	5162	5283	5219
Süden 180°	4888	5285	5458	5423
210°	4830	5162	5301	5236
240°	4670	4843	4849	4704

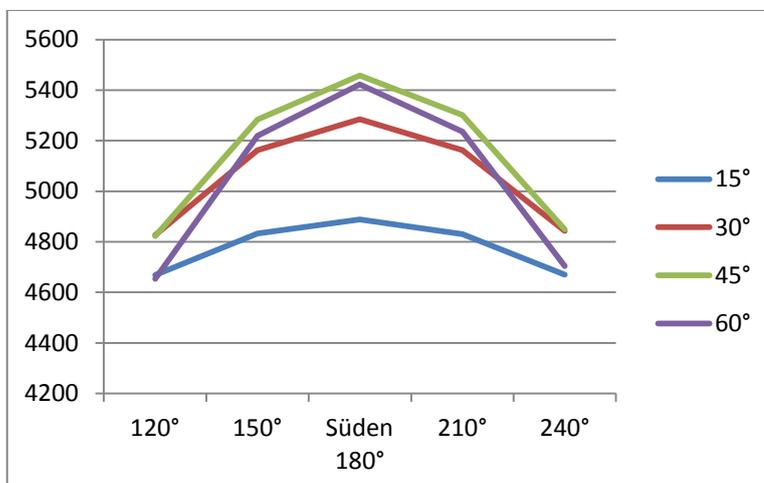


Diagramm 14 - Simulation Freiburg 1000 Liter Röhre

Für den 1000 Liter Speicher wird eine Energieausbeute von 5458 kWh erzielt.

Tabelle 14 - Simulation Freiburg 2000 Liter Röhre

Freiburg Röhrenkollektor 2000 Liter Speicher				
Himmelsrichtung	Aufstellwinkel			
	15°	30°	45°	60°
<b>120°</b>	5265	5444	5433	5220
<b>150°</b>	5468	5859	6002	5883
<b>Süden 180°</b>	5547	6021	6201	6127
<b>210°</b>	5470	5875	6015	5911
<b>240°</b>	5279	5464	5468	5276

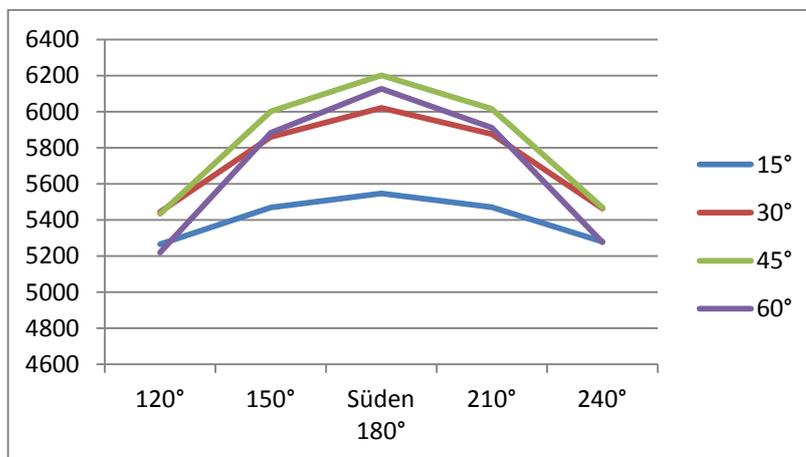


Diagramm 15 - Simulation Freiburg 2000 Liter Röhre

In der letzten Simulation für Freiburg mit 2000 Liter Speicher und Vakuumröhrenkollektor ergibt sich die höchste Energieausbeute mit 6201 kWh.

### 6.2.3. Auswertung für Flachkollektoren in Freiburg

Anhand der Ergebnisse kann man sehen, dass die höchsten Energiewerte ebenfalls wie in Hamburg in der Himmelsrichtung Süden bei 180° und einen Aufstellwinkel von 45° liegen. Die niedrigsten Werte kommen bei der Ausrichtung nach Norden zustande, die sollen aber in dieser Diplomarbeit nicht beachtet werden.

In der Tabelle werden die größten Energiewerte nach Kollektorart und Speicher aufgelistet. In der Auswertung und Wirtschaftlichkeitsberechnung werden diese Werte wieder aufgegriffen.

#### Höchster Energiegewinn in kWh

Tabelle 15 - Zusammenfassung Simulation Freiburg

	Flachkollektor	Vakuumröhrenkollektor
Speicher 500 Liter	3371	4740
Speicher 1000 Liter	3925	5458
Speicher 2000 Liter	4403	6201

### 6.3. Simulation Sevilla Flachkollektor

Bei allen Simulationsmöglichkeiten wird für den Standort Sevilla mit einer Kollektorfläche von 4 m<sup>2</sup> gerechnet. Diese Kollektorfläche reicht aus um den Energiebedarf zu decken. Wenn mit größeren Kollektorflächen gerechnet wird, werden zu große Wärmemengen erzeugt die im Musterhaus nicht verwendet werden.

#### 6.3.1. Flachkollektoren

Tabelle 16 - Simulation Sevilla 500 Liter Flach

Sevilla 500 Liter Speicher Ergebnisse in kWh						
Himmelsrichtung	Aufstellwinkel					
	15°	30°	45°	60°	75°	90°
<b>Nord 360°</b>	1670	1182	722	378	268	242
<b>30°</b>	1732	1290	901	591	410	321
<b>60°</b>	1916	1642	1386	1109	840	608
<b>Osten 90°</b>	2153	2087	1967	1747	1425	1055
<b>120°</b>	2375	2463	2427	2251	1897	1395
<b>150°</b>	2523	2708	2717	2503	2070	1491
<b>Süden 180°</b>	2587	2808	2837	2620	2141	1493
<b>210°</b>	2551	2752	2778	2607	2186	1604
<b>240°</b>	2415	2539	2536	2384	2061	1598
<b>Westen 270°</b>	2212	2190	2096	1917	1637	1288
<b>300°</b>	1972	1747	1560	1286	1035	792
<b>330°</b>	1766	1360	1010	712	529	399

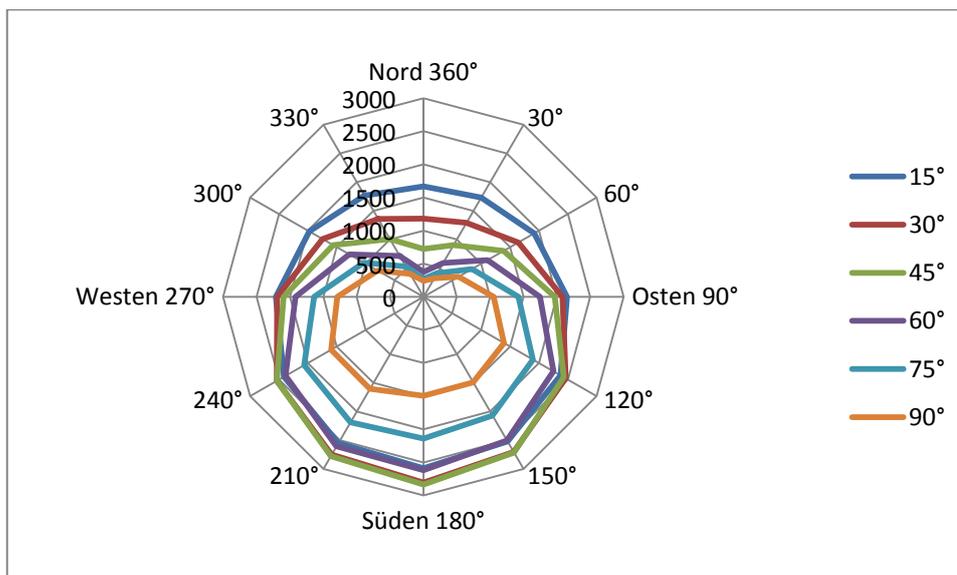


Diagramm 16 - Simulation Sevilla 500 Liter Flach

Für den Flachkollektor und 500 Liter Speicher in Sevilla ergibt sich ein Energiegewinn von 2837 kWh. Der Aufstellwinkel ist 45° und die Himmelsrichtung ist Süden.

Tabelle 17 - Simulation Sevilla 1000 Liter Flach

Sevilla 1000 Liter Speicher Ergebnisse in kWh						
Himmelsrichtung	Aufstellwinkel					
	15°	30°	45°	60°	75°	90°
<b>Nord 360°</b>	1690	1138	617	236	130	113
<b>30°</b>	1750	1255	800	481	289	182
<b>60°</b>	1954	1628	1319	1010	738	501
<b>Osten 90°</b>	2208	2122	1957	1694	1346	970
<b>120°</b>	2449	2539	2473	2227	1803	1298
<b>150°</b>	2618	2812	2797	2517	2003	1363
<b>Süden 180°</b>	2686	2924	2923	2632	2076	1383
<b>210°</b>	2643	2860	2868	2621	2134	1502
<b>240°</b>	2498	2625	2599	2390	2004	1499
<b>Westen 270°</b>	2268	2227	2114	1896	1574	1191
<b>300°</b>	2009	1754	1491	1211	937	680
<b>330°</b>	1790	1335	923	605	402	268

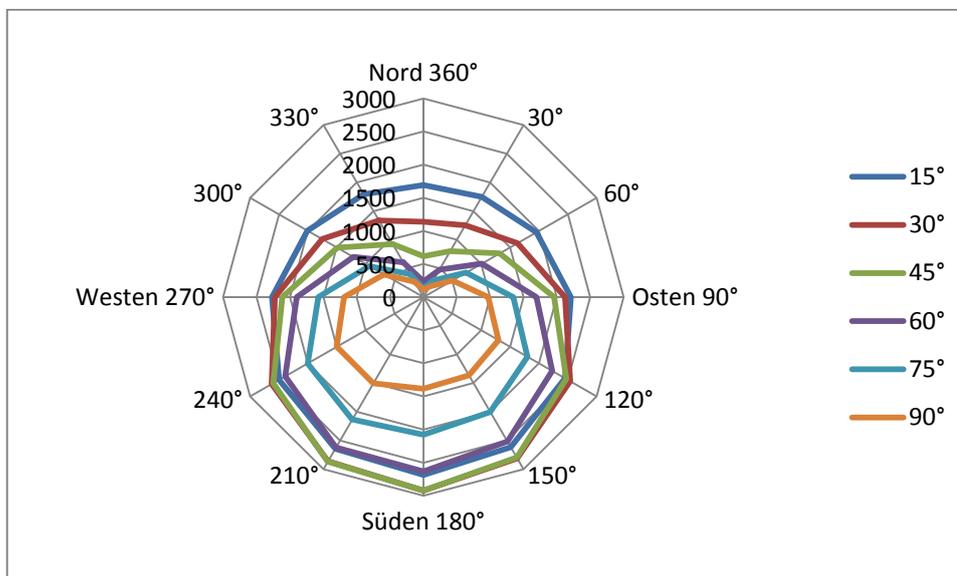


Diagramm 17 - Simulation Sevilla 1000 Liter Flach

Ist der Speicher 1000 Liter wird der Energiegewinn 2924 kWh die Himmelsrichtung ist Süden der Aufstellwinkel beträgt aber nur 30°.

Tabelle 18 - Simulation Sevilla 2000 Liter Flach

Sevilla 2000 Liter Speicher Ergebnisse in kWh						
Himmelsrichtung	Aufstellwinkel					
	15°	30°	45°	60°	75°	90°
<b>Nord 360°</b>	1676	1076	534	140	49	38
<b>30°</b>	1739	1179	727	391	201	105
<b>60°</b>	1947	1592	1246	938	660	415
<b>Osten 90°</b>	2227	2115	1912	1615	1252	866
<b>120°</b>	2486	2571	2465	2161	1717	1175
<b>150°</b>	2666	2867	2798	2457	1899	1225
<b>Süden 180°</b>	2744	2979	2927	2571	1972	1234
<b>210°</b>	2701	2927	2885	2573	2041	1372
<b>240°</b>	2545	2667	2616	2344	1918	1391
<b>Westen 270°</b>	2295	2242	2091	1829	1476	1085
<b>300°</b>	2018	1726	1426	1127	846	584
<b>330°</b>	1777	1284	847	520	313	187

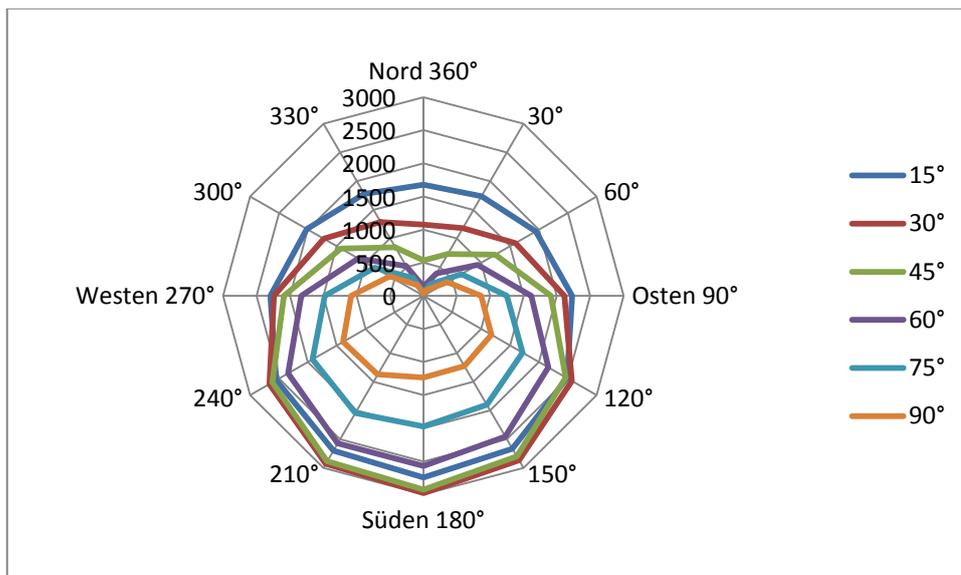


Diagramm 18 - Simulation Sevilla 2000 Liter Flach

Bei einer Speichergröße von 2000 Liter wird durch die Solaranlage 2979 kWh Energie gewonnen. Der Aufstellwinkel ist 30° und nach Süden ausgerichtet.

### 6.3.2. Vakuurröhrenkollektor

Tabelle 19 - Simulation Sevilla 500 Liter Röhre

Sevilla Röhrenkollektor 500 Liter Speicher				
Himmelsrichtung	Aufstellwinkel			
	15°	30°	45°	60°
120°	2972	3052	2979	2750
150°	3115	3311	3324	3110
Süden 180°	3168	3408	3451	3244
210°	3122	3322	3350	3161
240°	2982	3080	3037	2824

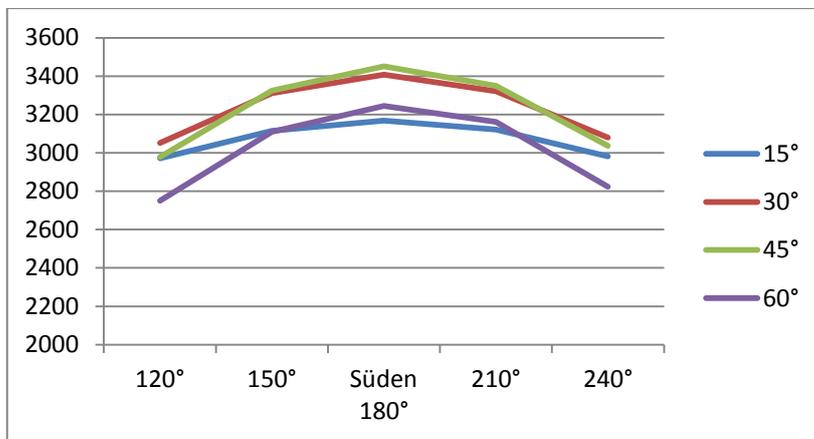


Diagramm 19 - Simulation Sevilla 500 Liter Röhre

Wie bei den anderen Standorten auch, wird der Energiegewinn mit den Vakuurröhrenkollektoren etwas größer. Dieser beträgt bei 45° 3451 kWh für 500 Liter Speicher und 4 m<sup>2</sup> Vakuurröhrenkollektor.

Tabelle 20 - Simulation Sevilla 1000 Liter Röhre

Sevilla Röhrenkollektor 1000 Liter Speicher				
Himmelsrichtung	Aufstellwinkel			
	15°	30°	45°	60°
120°	3142	3202	3085	2810
150°	3334	3511	3465	3189
Süden 180°	3412	3633	3609	3325
210°	3341	3523	3486	3230
240°	3154	3228	3136	2873

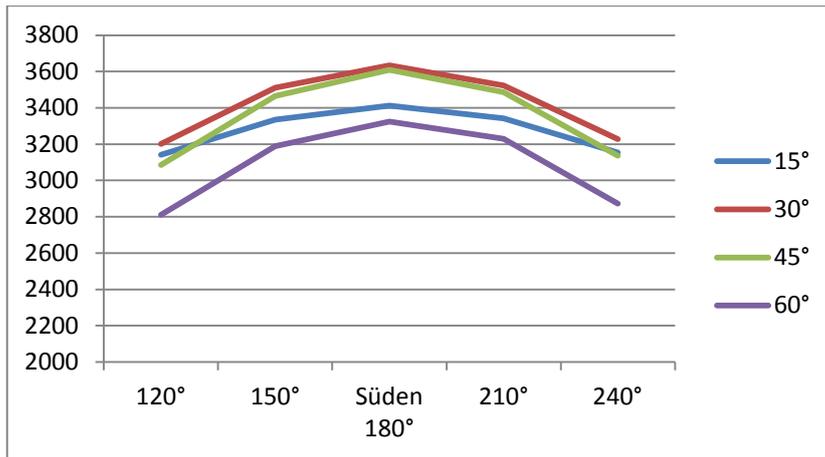


Diagramm 20 - Simulation Sevilla 1000 Liter Röhre

Bei größerem Speicher 1000 Liter ändert sich der Aufstellwinkel auf 30° und der Energieertrag liegt bei 3633 kWh.

Tabelle 21 - Simulation Sevilla 2000 Liter Röhre

Sevilla Röhrenkollektor 2000 Liter Speicher				
Himmelsrichtung	Aufstellwinkel			
	15°	30°	45°	60°
120°	3256	3293	3148	2813
150°	3459	3637	3559	3215
Süden 180°	3554	3773	3719	3355
210°	3468	3648	3582	3253
240°	3256	3322	3200	2882

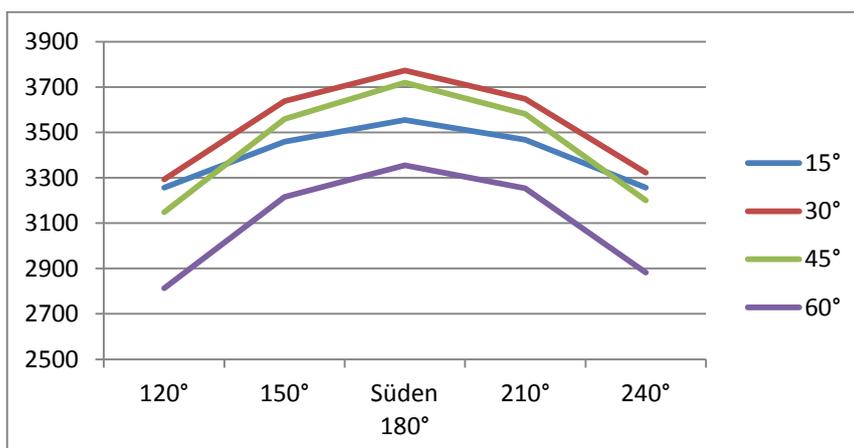


Diagramm 21 - Simulation Sevilla 2000 Liter Röhre

Der Energieertrag bei 2000 Litern beträgt 3773 kWh.

### 6.3.3. Auswertung für Flachkollektoren in Sevilla

Anhand der Ergebnisse kann man sehen, dass die höchsten Energiewerte in der Himmelsrichtung Süden bei 180° und einen Aufstellwinkel von 45° liegen, für den Speicher mit 500 Litern. Für die 1000 Liter und 2000 Liter Speicher bleibt die Himmelsrichtung nach Süden mit 180° gleich, aber der Aufstellwinkel ändert sich auf 30°. Dabei ist es egal welche Kollektorart verwendet wird. Die niedrigsten Werte der simulierten Ergebnisse kommen auch hier nicht in Betrachtung.

Höchster Energiegewinn in kWh

Tabelle 22 - Zusammenfassung Simulation Sevilla

	Flachkollektor	Vakuurröhrenkollektor
Speicher 500 Liter	2837	3451
Speicher 1000 Liter	2924	3633
Speicher 2000 Liter	2979	3773

#### **6.4. Ergebnisse in Prozent zum maximalem Ertrag**

In den Tabellen und Diagramme im Anhang I wurden die Ergebnisse Prozentual ins Verhältnis gesetzt zum Maximal ertrag der jeweiligen Variante. Daraus kann man auf einen Blick, die bestmögliche Ausrichtung der Anlage erkennen. Hierbei wird die beste Möglichkeit genommen um die Wirtschaftlichkeitsberechnung durch zu führen. Für die Ergebnisse, werden die drei Standorte Hamburg, Freiburg und Sevilla mit den jeweils drei Speichergrößen vorgestellt. Für die Veranschaulichung der Tabellen wurde ein Diagramm mit der Verteilung des Energieertrages erstellt. Anhand der Tabellen kann man Prozentuale schlechteste Aufstellmöglichkeiten der Kollektoren im Vergleich zu den Bestmöglichen Aufstellwinkeln vergleichen. Im Weiteren werden nur die besten Erträge zusammen gefasst und in den Berechnungen benötigt.

## 6.5. Vergleich der Jahresenergiemenge von Flachkollektoren zu Vakuumröhren

Um einen besseren Überblick zu bekommen, wurden die Daten von Flachkollektoren und Vakuumröhrenkollektoren in drei Diagrammen dargestellt. Die blauen Balken stellen die Flachkollektoren dar, die roten Balken die Vakuumröhrenkollektoren.

Für Hamburg macht der Unterschied zwischen den Kollektorarten mindestens 30 Prozent aus.

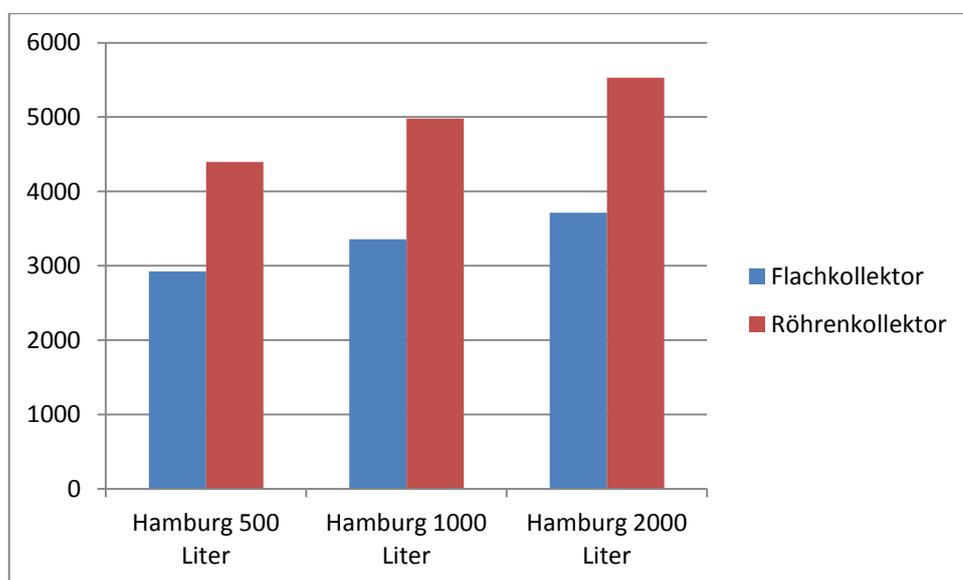


Diagramm 22 - Vergleich Flach- und Röhrenkollektor Hamburg

Der Vergleich für die Kollektorarten, Flachkollektor in blau dargestellt und Vakuumröhre in rot, macht etwas weniger als 30 Prozent aus, dabei ist die Speichergröße uninteressant.

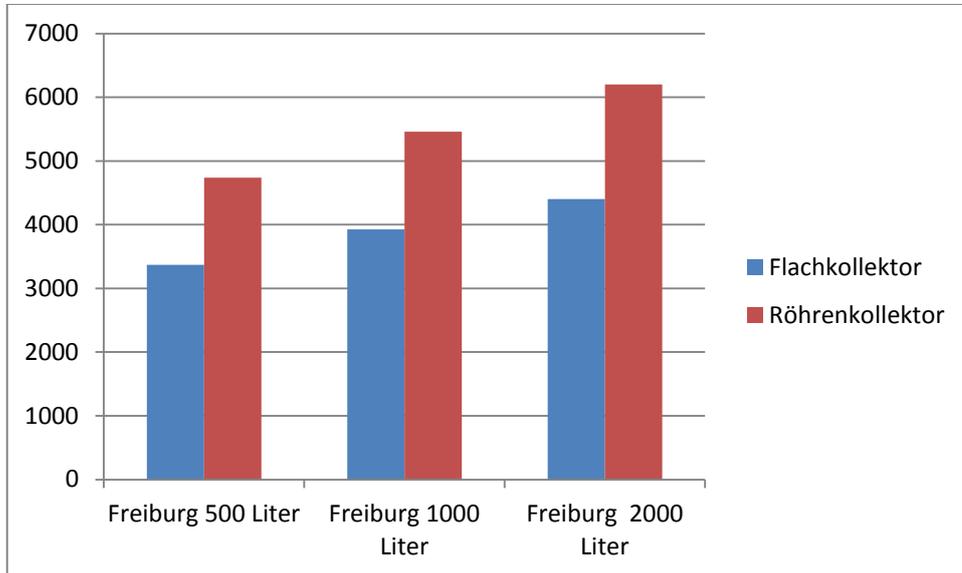


Diagramm 23 - Vergleich Flach- und Röhrenkollektor Freiburg

Der Vergleich für Sevilla zeigt, dass der Unterschied des Energiegewinns zwischen den Kollektorarten nicht ganz so groß ist wie in Hamburg und Freiburg. Der Unterschied bei allen Speichergrößen macht etwa 20 Prozent aus.

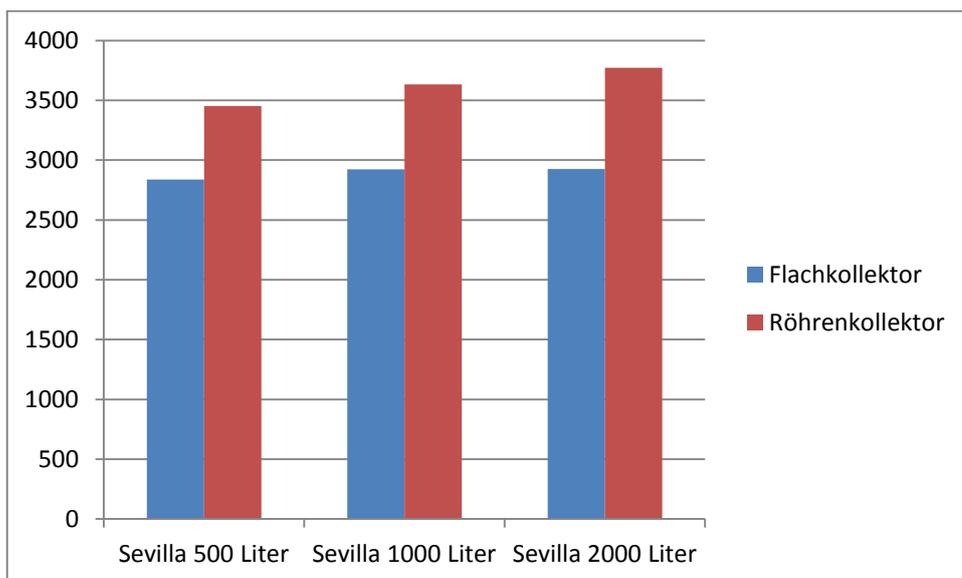


Diagramm 24 - Vergleich Flach- und Röhrenkollektor Sevilla

## **6.6. Auswertung der simulierten Ergebnisse**

Die Messerergebnisse zeigen, dass die Ausrichtung nach Himmelsrichtungen und die Größe der Anlage einen entscheidenden Anteil am Ertrag haben.

Der Aufstellwinkel hat in Anbetracht der Auswirkung zur Himmelrichtung einen geringeren Einfluss auf das Ergebnis. Der Einfluss des Aufstellwinkels nimmt zu, je größer die Abweichung von der optimalen Ausrichtung (Süden) zunimmt. Der Unterschied von Flachkollektoren zu Vakuumröhrenkollektoren ist in Deutschland mit etwa 30 Prozent größer als in Spanien (Sevilla) mit 20 Prozent. Außerdem ist die Größe des Speichers zu beachten, mit steigender Volumenzahl steigt auch der Energieertrag der mit der Sonnenenergie erwirtschaftet wird.

In welcher Form sich die Flachkollektoren und die Vakuumröhrenkollektoren nach wirtschaftlicher Betrachtung für sinnvoll erweisen wird unter Punkt 7 ermittelt. Die Speichergöße wird in dieser Berechnung auch betrachtet.

## **7. Wirtschaftliche Betrachtung**

### **7.1. Preise für Solarthermie-Anlagen zur Heizungsunterstützung**

Die Solarthermie-Preise für eine Anlage zur Unterstützung der Raumheizung sind deutlich höher als zur Brauchwassererwärmung. Die Auslegung der Anlage bemisst sich anhand der zu beheizenden Wohnfläche. Erfahrungswerte haben gezeigt, dass etwa 0,2m<sup>2</sup> Kollektorfläche pro m<sup>2</sup> Wohnfläche benötigt werden, sofern Röhrenkollektoren verwendet werden. In diesem Beispiel würde es bedeuten, dass die Kollektorfläche 32m<sup>2</sup> betragen müsste.

Anlagen, deren Kollektorfläche kleiner als 12m<sup>2</sup> ist, sind meist unwirtschaftlich. Bei Flachkollektoren werden für eine wirtschaftliche Anlage sogar mindestens 15 bis 20m<sup>2</sup> benötigt. Der Warmwasserspeicher sollte mindestens 800 Liter vorhalten, um längere Perioden ohne Sonne ausgleichen zu können. Bei einer Anlage mit 15 m<sup>2</sup> Kollektorfläche ergeben sich unter Verwendung von Röhrenkollektor Solarthermie Preise zwischen 11.000 und 13.000 Euro. Etwa 60 – 70 % der Kosten entfallen dabei auf die Röhrenkollektor. Die übrigen Kosten entstehen für den Warmwasserspeicher sowie die nötigen Rohre und Montagearbeiten. Die Preise für eine Solarthermie-Anlage werden durch unterschiedliche Förderprogramme gefördert. Die genauen Preise auch für die Flachkollektoren werden in der Tabelle – 24 beschrieben. In diesem Zusammenhang sei vor allem auf die Solarthermie Förderung durch die BAFA hingewiesen, die Investitionen in Anlagen zur Raumheizung finanziell unterstützt. Die Kosten für eine Solarthermie-Anlage sind deshalb letztendlich niedriger als gedacht. Die Förderungen der Solarthermie sind beim Bundesamt im Schema aufgeführt.

Die Anlage in der Simulation wird mit Folgenden kosten Bewertet.

Um die Wirtschaftlichkeit der Anlagen zu bewerten, müssen die Rahmendaten festgelegt werden. In dieser Diplomarbeit, soll die Wirtschaftlichkeit für Bestandshäuser begutachtet werden. Für die Bestandshäuser wird angenommen, dass eine Funktionsfähige Heizungsanlage installiert ist und nur der Speicher und die Solarkollektorfläche installiert werden müssen. Um dafür Preise zu vergleichen werden folgende Kosten für die Anlageteile angenommen.

Tabelle 23 - Preiskalkulation für thermische Solaranlagen

	Preis
Flachkollektoren inkl. Installation	350 €/m <sup>2</sup>
Vakuurröhren inkl. Installation	800 €/m <sup>2</sup>
Speicher 500 Liter	950 €
Speicher 1000 Liter	1100 €
Speicher 2000 Liter	2200 €

Für die Installation an den Einzelnen Standorten in Hamburg, Freiburg und Sevilla ergeben sich daraus Folgende Investitionskosten für die Anlagen. Dabei wird unterschieden ob Flachkollektoren oder Vakuurröhren installiert werden sollen. Die Montage der Anlage ist in den Kosten der Kollektoren mit inbegriffen. Die Förderung durch den Staat durch BAFA, beträgt im als Basis 90€<sup>1</sup> pro Quadratmeter. Diese Förderung wird in die Gesamtkosten für Hamburg und Freiburg mit eingerechnet. Für Sevilla ist diese Förderung nicht umsetzbar.

<sup>1</sup> Quelle: [http://www.bafa.de/bafa/de/energie/erneuerbare\\_energien/solarthermie/formulare/energie\\_ee\\_so\\_uebersicht.pdf](http://www.bafa.de/bafa/de/energie/erneuerbare_energien/solarthermie/formulare/energie_ee_so_uebersicht.pdf) 19.02.2012

Tabelle 24 - Kosten für thermische Solaranlagen nach Standorten

Standort für Flachkollektoren	Investitionskosten
Hamburg/Freiburg 500L 15 m <sup>2</sup>	5250 € + 950 € - 1350 € = 4850 €
Hamburg/Freiburg 1000L 15 m <sup>2</sup>	5250 € + 1100 € - 1350 € = 5000 €
Hamburg/Freiburg 2000L 15 m <sup>2</sup>	5250 € + 2200 € - 1350 € = 6100 €
Sevilla 500L 4 m <sup>2</sup>	1400 € + 950 € = 2350 €
Sevilla 1000L 4 m <sup>2</sup>	1400 € + 1100 € = 2500 €
Sevilla 2000L 4 m <sup>2</sup>	1400 € + 2200 € = 3600 €

Standort für Vakuumröhren	Investitionskosten
Hamburg/Freiburg 500L 15 m <sup>2</sup>	12000 € + 950 € - 1350 € = 11600 €
Hamburg/Freiburg 1000L 15 m <sup>2</sup>	12000 € + 1100 € - 1350 € = 11750 €
Hamburg/Freiburg 2000L 15 m <sup>2</sup>	12000 € + 2200 € - 1350 € = 12850 €
Sevilla 500L 4 m <sup>2</sup>	3200 € + 950 € = 4150 €
Sevilla 1000L 4 m <sup>2</sup>	3200 € + 1100 € = 4300 €
Sevilla 2000L 4 m <sup>2</sup>	3200 € + 2200 € = 5400 €

## 7.2. Einsparung der Kosten durch Brennstoff pro Jahr im Vergleich aller Standorte und Speichergrößen.

In den Tabellen 25, 26 und 27 werden die Einsparungsmöglichkeiten dargestellt. Die einzelnen Standorte werden hierbei unterschieden. Als mögliche Bestandsheizungsanlagen werden Öl-, Gas- und Holzpelletsheizungen angegeben. Über diese Tabelle werden die Werte zur Wirtschaftlichkeitsberechnung entnommen. Für die Errechnung in der Region Deutschland wird ein Speicher von 2000 Liter zur Berechnung genommen.

## 7.2.1. Hamburg

Tabelle 25 – Einsparungsmöglichkeiten Hamburg

	<b>ÖL</b>	<b>Gas</b>	<b>Pellets</b>
CO2	0,0732748	0,0514355	0
Heizwert kJ/L /m <sup>3</sup> /kg	36722	41100	15490
Preis stand 01.2012 in €/Einheit	0,895	0,743	0,23917
Flach 500			
Brennstoffeinsparung L,m <sup>3</sup> ,kg	404	345	848
Einsparung in Euro	361,58	256,34	202,82
CO2 Einsparung in kg	1087,08	729,33	0,00
Flach 1000			
Brennstoffeinsparung	470,8	399	977
Einsparung in Euro	421,37	296,46	233,67
CO2 Einsparung in kg	1266,83	843,49	0,00
Flach 2000			
Brennstoffeinsparung	528,44	445,9	1092
Einsparung in Euro	472,95	331,30	261,17
CO2 Einsparung in kg	1421,92	942,63	0,00
Röhren 500			
Brennstoffeinsparung	584	510	1228
Einsparung in Euro	522,68	378,93	293,70
CO2 Einsparung in kg	1571,43	1078,14	0,00
Röhren 100			
Brennstoffeinsparung	678	585	1416,5
Einsparung in Euro	606,81	434,66	338,78
CO2 Einsparung in kg	1824,36	1236,69	0,00
Röhren 2000			
Brennstoffeinsparung	774	660	1604
Einsparung in Euro	692,73	490,38	383,63
CO2 Einsparung in kg	2082,68	1395,24	0,00

## 7.2.2. Freiburg

Tabelle 26 - Einsparungsmöglichkeiten Freiburg

	<b>ÖL</b>	<b>Gas</b>	<b>Pellets</b>
CO2	0,0732748	0,0514355	0
Heizwert kJ/L /m <sup>3</sup> /kg	36722	41100	15490
Preis stand 01.2012 in €/Einheit	0,895	0,743	0,23917
<b>Flach 500</b>			
Brennstoffeinsparung L,m <sup>3</sup> ,kg	483,8	406	999
Einsparung in Euro	433,00	301,66	238,93
CO2 Einsparung in kg	1301,81	858,28	0,00
<b>Flach 1000</b>			
Brennstoffeinsparung	572	477	1175
Einsparung in Euro	511,94	354,41	281,02
CO2 Einsparung in kg	1539,14	1008,38	0,00
<b>Flach 2000</b>			
Brennstoffeinsparung	651	540	1336
Einsparung in Euro	582,65	401,22	319,53
CO2 Einsparung in kg	1751,71	1141,56	0,00
<b>Röhren 500</b>			
Brennstoffeinsparung	646	558	1348
Einsparung in Euro	578,17	414,59	322,40
CO2 Einsparung in kg	1738,25	1179,61	0,00
<b>Röhren 100</b>			
Brennstoffeinsparung	766	652	1587
Einsparung in Euro	685,57	484,44	379,56
CO2 Einsparung in kg	2061,15	1378,33	0,00
<b>Röhren 2000</b>			
Brennstoffeinsparung	896	752	1844
Einsparung in Euro	801,92	558,74	441,03
CO2 Einsparung in kg	2410,95	1589,73	0,00

### 7.2.3. Sevilla

Tabelle 27 - Einsparungsmöglichkeiten Sevilla

	<b>ÖL</b>	<b>Gas</b>	<b>Pellets</b>
CO2	7,32748	5,14355	0
Heizwert kJ/L /m <sup>3</sup> /kg	36722	41100	15490
Preis stand 01.2012 in €/Einheit	0,895	0,743	0,23917
Flach 500			
Brennstoffeinsparung L,m <sup>3</sup> ,kg	506	387	993
Einsparung in Euro	452,87	287,54	237,50
CO2 Einsparung			
Flach 1000			
Brennstoffeinsparung	523	399	1024
Einsparung in Euro	468,09	296,46	244,91
CO2 Einsparung			
Flach 2000			
Brennstoffeinsparung	524	399	1026
Einsparung in Euro	468,98	296,46	245,39
CO2 Einsparung			
Röhren 500			
Brennstoffeinsparung	615	470	1207
Einsparung in Euro	550,43	349,21	288,68
CO2 Einsparung			
Röhren 100			
Brennstoffeinsparung	644	492	1263
Einsparung in Euro	576,38	365,56	302,07
CO2 Einsparung			
Röhren 2000			
Brennstoffeinsparung	665	507	1303
Einsparung in Euro	595,18	376,70	311,64

### 7.3. Berechnung der Wirtschaftlichkeit

Um die Wirtschaftlichkeit zu betrachten, werden nun alle Standorte untereinander verglichen. In der Anlage II sind alle Berechnungen zu Wirtschaftlichkeit abgebildet. Um den Überblick zu behalten werden in diesem Kapitel nur die Werte vorgestellt, die die kürzeste Amortisationsdauer haben. Diese Dauer bezieht sich auch eine Vorhandene Öl-Heizung in dem Bestandsmusterhaus. Außerdem wird noch die Amortisationsdauer für Gas Heizung und Holzpellets angegeben.

#### 7.3.1. Hamburg Amortisation

Für Hamburg ergibt sich die kürzeste Amortisationsdauer von 11,86 Jahren für die Flachkollektoren und 1000 Liter Speicher, wenn eine Öl-Heizung bereits installiert ist. Pro Jahr können damit 421,37 € Heizkosten eingespart werden. Dieser Wert ist ein Anteil von 21 Prozent des Wärmebedarfs. Ist eine andere Heizungsart installiert, erhöht sich die Dauer bis sich die Investition rechnet. Voraussetzung bei dieser Rechnung ist, dass die Brennstoffpreise über die Jahre stabil bleiben.

<b>Hamburg 1000 Liter</b>	Flach	Röhren
Benötigte Energie in kWh	15826	15826
Solare Energie in kWh	3358	4781
Ersparnis in %	21,2	30,2
Anlage kosten in Euro	5000	11750
Öl Einsparung im Jahr in Euro	421,37	606,81
Amortisation in Jahren	11,86605596	19,36355696
Mit <b>Gas</b> Einsparung in Euro	296,46	434,66
Amortisation in Jahren	16,86568171	27,0326232
Mit <b>Pellets</b> Einsparung in Euro	233,67	338,78
Amortisation in Jahren	21,39769761	34,68327528

Da die Installation von Vakuumröhren sehr teuer ist, lohnt sich die Investition bei gleichen Bedingungen am Beispiel Öl erst nach 19,36 Jahren. Wird ein 2000 Liter Speicher genutzt, ist die Amortisationsdauer

etwas weniger mit 18,5 Jahren. Durch die Röhrenkollektoren lassen sich 30 Prozent der Wärmeenergie ersetzen.

Für den Standort Hamburg lohnt sich trotzdem eine Installation von Flachkollektoren und einem 1000 Liter Speicher. Je mehr die Preise der Brennstoffe ansteigen desto besser werden die Bedingungen der Amortisation für die Vakuumröhrenkollektoren.

### 7.3.2. Freiburg Amortisation

Für Freiburg ergibt sich eine Amortisationsdauer von 9,77 Jahren. Für die Dauer werden wieder eine Öl-Heizung und Flachkollektoren mit einer Fläche von 15 m<sup>2</sup> benötigt. Die Speichergröße ist wie in Hamburg 1000 Liter. Die gesparten Heizkosten pro Jahr sind 511,94 Euro für Öl. Durch die Solaranlage lassen sich 25 Prozent des Wärmebedarfs ersetzen.

Wie am Standort Hamburg gelten diese Berechnungen für stabile Brennstoffpreise, bei anderen Heizungsarten entsteht eine höhere Amortisationsdauer.

<b>Freiburg 1000 Liter</b>	Flach	Röhren
Benötigte Energie in kWh	15826	15826
Solare Energie in kWh	3925	5458
Ersparnis in %	24,8	34,5
Anlage kosten in Euro	5000	11750
Öl Einsparung im Jahr in Euro	511,94	685,57
Amortisation in Jahren	9,766769543	17,139023
Mit <b>Gas</b> Einsparung in Euro	354,41	484,44
Amortisation in Jahren	14,10795406	24,25480968
Mit <b>Pellets</b> Einsparung in Euro	281,02	379,56
Amortisation in Jahren	17,79232795	30,95689746

Für den Vakuumröhrenkollektor ist eine Amortisationsdauer von 16 Jahren bei einer Speichergröße von 2000 Litern der beste Wert. Genau wie am Beispiel Hamburg können steigende Preise zu einer Verschiebung der Amortisationsdauer führen. Dadurch werden die Investitionen in Vakuumröhrenkollektoren sinnvoller. 35 Prozent lassen sich durch Vakuumröhrenkollektoren regenerativ ersetzen.

### 7.3.3. Sevilla Amortisation

Für Sevilla werden nur 4 m<sup>2</sup> Kollektorfläche angesetzt, da durch diese Fläche der Wärmebedarf gedeckt werden kann. Mit den Flachkollektoren kann etwa 93 Prozent des Wärmebedarfs gedeckt werden. Für Sevilla ergibt sich für einen Flachkollektor eine Amortisationsdauer von 5,2 Jahren bei einem Speicher mit 500 Liter. Da in Sevilla sehr hohe Temperaturen vorliegen, lohnt sich ein Vakuumröhrenkollektor da dieser bei höheren Temperaturen einen besseren Wirkungsgrad hat. Wird ein Röhrenkollektor installiert erhöht sich die Amortisationsdauer auf 7 Jahre, aber der gesamte Wärmebedarf wird für das Musterhaus gedeckt. Pro Jahr können damit 550 Euro Brennstoffkosten eingespart werden.

<b>Sevilla 500 Liter</b>	Flach	Röhren
Benötigte Energie in kWh	3058	3058
Solare Energie in kWh	2837	3451
Ersparnis in %	92,8	112,9
Anlage kosten in Euro	2350	4150
Öl Einsparung im Jahr in Euro	452,87	550,43
Amortisation in Jahren	5,189127123	7,53955998
Mit <b>Gas</b> Einsparung in Euro	287,54	349,21
Amortisation in Jahren	8,172775962	11,88396667
Mit <b>Pellets</b> Einsparung in Euro	237,5	288,68
Amortisation in Jahren	9,894736842	14,37577941

Alle weiteren Möglichkeiten werden für unterschiedliche Speicherarten und Kollektoren in der Anlage II vorgestellt.

Damit ergibt sich in der gesamte Betrachtung, dass Speichergröße in Deutschland mit 1000 Litern am sinnvollsten ist wenn Flachkollektoren installiert werden. Für Vakuumröhrenkollektoren sind 2000 Liter Speicher am sinnvollsten. Für Sevilla ist der Unterschied der Investitionskosten zwischen beiden Kollektorarten nicht so groß wie in Deutschland. Daher lohnt sich die Investition in Vakuumröhrenkollektoren eher als für Flachkollektoren, es kann davon ausgegangen werden, dass der Brennstoffpreis in den nächsten Jahren steigen wird.

## 8. Einsparung von CO<sub>2</sub>-Emissionen

Da der Klimawandel sich mehr und mehr ins Bewusstsein der Gesellschaft festigt, kann mit diesem Argument auch die Investition in eine thermische Solaranlage gestärkt werden. Durch Förderung vom Staat, ist die Investition in erneuerbare Energien einfach zu realisieren.

Durch den Beschluss die Solaranlage für bestehende Häuser zu berechnen, wird in diesem Teil die Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes ermittelt. Durch die Installation einer Solarthermie-Anlage kann ein erheblicher Teil der jährlichen Emissionen eingespart werden.

In der Tabelle werden die verschiedenen Energieträger vorgestellt, die durchschnittlich in Deutschenhaushalten installiert sind. Dabei wird der CO<sub>2</sub>-Ausstoß und der Heizwert der Energieträger vorgestellt.

Tabelle 28 - Heiz- und Emissionswerte

Energieträger	Heizwert	Emissionen g CO <sub>2</sub> /kJ
Öl	36722 kJ/L	0,0732748
Gas	41100 kJ/m <sup>3</sup>	0,0514355
Fernwärme		0,054355
Holzpellets	15490 kJ/kg	CO <sub>2</sub> -neutral

Um zu ermitteln welche Art von Heizung wie viel CO<sub>2</sub> einspart und wird in der Folgenden Rechnung für ein Beispiel beschrieben.

Standort Hamburg 1000 Liter Flachkollektoren

Einsparung Öl

Pro Jahr: 404 Liter  
In 20 Jahren: 8080 Liter

Minderung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes: Heizwert \* CO<sub>2</sub> \* Brennstoffeinsparung

Pro Jahr: 1087 kg oder 1,08 tonnen  
In 20 Jahren: 21.742 kg oder 21,7 Tonnen

An diesem Beispiel ist zu erkennen welche Mengen CO<sub>2</sub> eingespart werden können und in der Zeit wenn die Anlage in Betrieb ist nicht in die Atmosphäre gelangen. Durch gezielte Maßnahmen kann die Minderung durch Privathaushalte weiter fortgeführt werden.

Um zu ermitteln welche Minderung bei anderen Heizungsanlagen wie Gas oder Kohle kann diese Rechnung einfach angewendet werden. Ist bereits eine Holzpelletsheizung installiert, kann kein zusätzliches CO<sub>2</sub> eingespart werden, doch der Brennstoffeinsatz wird reduziert.

## 9. Fazit

Im zweiten Kapitel wurden in einer Kurzfassung die Eigenschaften der Solaren Energie und die Berechnungsmöglichkeiten von Standorten für Solaranlagen. Dabei wurden auch die unterschiedlichen Strahlungsenergien nach Standorten und Geräte zur Messung von Sonnenenergie vorgestellt.

Im Weiteren wurde die Funktionsweise einer thermischen Solaranlage dargestellt und die einzelnen Komponenten die in einem System benötigt werden vorgestellt. Dabei wurde auch auf die unterschiedlichen Kollektoren wie Flach-, Vakuumflach-, Vakuumröhren- und CPC-Kollektoren beschrieben.

Die kurze Beschreibung der Simulationsprogramme CASAnova und T\*SOL war die Vorbereitung auf die Vorgänge in der Simulation und die Grundlagen zur Umsetzung mit dem Musterhaus.

Nach der Simulation und der Wirtschaftlichkeitsberechnung kann gesagt werden, dass die Möglichkeit eine thermische Solaranlage in einem Bestandhaus zu bauen sehr gut ist. Durch die Solaranlage kann über einen gewissen Zeitraum Geldgespart werden, nach dem sich die Investitionskosten amortisiert haben. Je mehr Sonnenscheindauer und Sonnenintensität vorhanden ist, desto geringer fallen diese Kosten aus.

Daher ist die Investition in Spanien noch sinnvoller als in Deutschland aber nach der Simulation kann man sagen, dass sich wirklich in jedem Land eine thermische Solaranlage lohnt.

Durch die Installation einer thermischen Solaranlage steigt zu dem der Wert der Immobilie.

In der Berechnung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes wurden der Einfluss und die Minderung der Emissionen dargestellt. Ein weiterer Punkt ist die Einsparung von fossilen Brennstoffen und damit ebenfalls die Minderung des CO<sub>2</sub> – Ausstoßes. Dadurch wird der Treibhauseffekt eingedämmt und die allgemeine Lebensqualität steigt. Außerdem kann in Zukunft unsere Erde für weitere Generation bewahrt werden.

Da in Zukunft der Preis für die fossilen Energieträger nicht gesichert ist, ist es sinnvoll so wenig wie möglich dieser Energie zu verbrauchen. Das

Beispiel Iran der letzten Wochen, hat gezeigt wie schnell die Preise für Öl und Benzin steigen, wenn Konflikte nicht gelöst werden. Da auch andere Öl-Länder in Konfliktregionen liegen, ist die Unabhängigkeit von fossilen Brennstoffen empfehlenswert.

In der Diplomarbeit wurden viele Möglichkeiten ausgearbeitet die in einzelnen Teilen verglichen werden können.

## **Internetverzeichnis**

<http://www.co2-emissionen-vergleichen.de/Heizungsvergleich/CO2-Vergleich-Heizung.html#Oelheizung> (10.01.2012)

<http://nesa1.uni-siegen.de/index.htm?/softlab/casanova.htm> (10.01.2012)

[http://www.bonn.de/imperia/md/images/umwelt-gesund-planen-bauen-wohn/umwelt/umweltschutz/grafik\\_solarthermie\\_1\\_430x286.jpeg](http://www.bonn.de/imperia/md/images/umwelt-gesund-planen-bauen-wohn/umwelt/umweltschutz/grafik_solarthermie_1_430x286.jpeg)  
(20.01.2012)

<http://www.iundm.de/lars/Image46.jpg> (20.01.2012)

<http://www.eco-casa.de/uploads/images/Calpak%20vacuum.JPG>  
(20.01.2012)

<http://www.tyfo.de/de/tyfocor-l.php> (10.01.2012)

<http://www.bosy-online.de/Solarfluessigkeit.htm> (10.01.2012)

<http://www.der-ofenbaumeister.de/pelletsheizung/pellets-preis.htm>  
(06.02.2012)

## Literatur

THERMISCHE SOLARANLAGEN Bundesindustrieverband Deutschland  
Haus-,Energie-und Umwelttechnik e.V Januar 2004

Solaranlage Ein Referat von Stefan Höss und Jan Simon Schneider  
Frühjahr 2001

Solartechnik Klaus Lambrecht, Diplom-Physiker ECONSULT Umwelt  
Energie Bildung GbR, [www.solaroffice.de](http://www.solaroffice.de)

CASAnova 3.3 Prof. Dr.-Ing. F.D. Heidt <http://nesa1.uni-siegen.de>

T\*SOL Pro Version 5.0 Auslegung und Simulation thermischer  
Solaranlagen , Vertrieb: Dr. Valentin EnergieSoftware GmbH Berlin,  
September 2011

Diplomarbeit von Tobias Ott an der Hochschule Esslingen Fakultät  
Versorgungstechnik und Umwelttechnik , Wintersemester 2007/2008

Solartechnik (Teil 1) Manuskript zur Vorlesung Dr .Ing Harald Drück, SS  
2001

Solarthermie Hauptseminar Experimentalphysik 2005/2006 Physikalische  
Grundlagen der Energieumwandlung , Vortragende: S. Kurzweg Betreuer:  
Dr. C. Meier

Sonnenenergienutzung (307.036) WÄRMETECHNIK Grundlagen der  
Sonnenenergieeinstrahlung  
INSTITUT FÜR WÄRMETECHNIK TU GRAZ

Solarenergie Thermische Nutzung Skript zur Vorlesung **Regenerative**  
Energien im Studiengang Umweltverfahrenstechnik FHTW Berlin, WS  
05/06

## **Abbildungsnachweis**

Bild Deckblatt <http://www.zimmerei-hug.de/resources/solarthermie.jpg>

Abbildung 1 - Sonnenenergienutzung (307.036) WÄRMETECHNIK  
Grundlagen der Sonnenenergieeinstrahlung INSTITUT FÜR  
WÄRMETECHNIK TU GRAZ

Abbildung 2- 3 - Solarenergie Thermische Nutzung Skript zur Vorlesung  
Regenerative Energien im Studiengang Umweltverfahrenstechnik FHTW  
Berlin, WS 05/06

Abbildung 4-

Abbildung 6-7- Solartechnik (Teil 1) Manuskript zur Vorlesung Dr .Ing  
Harald Drück, SS 2001

Abbildung 12-13-14-15- Solarthermie Hauptseminar Experimentalphysik  
2005/2006 Physikalische Grundlagen der Energieumwandlung ,  
Vortragende: S. Kurzweg Betreuer: Dr. C. Meier

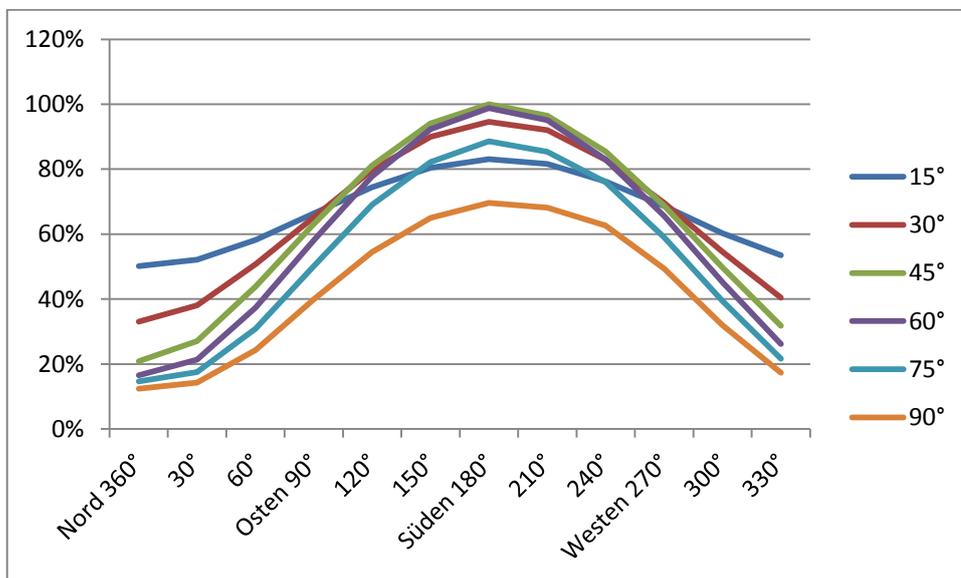
Abbildung 16-

Abbildung 18- Tobias Loga, Rolf Born, Hessisches Ministerium für  
Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung

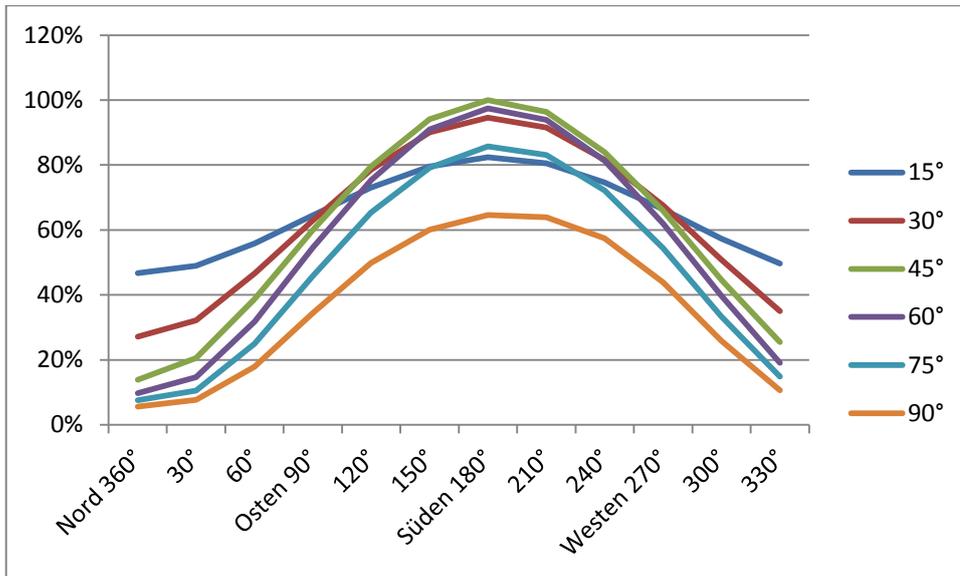
Abbildung 20 - THERMISCHE SOLARANLAGEN  
Bundesindustrieverband Deutschland Haus-,Energie-und Umwelttechnik  
e.V. Januar 2004

# Anlage I

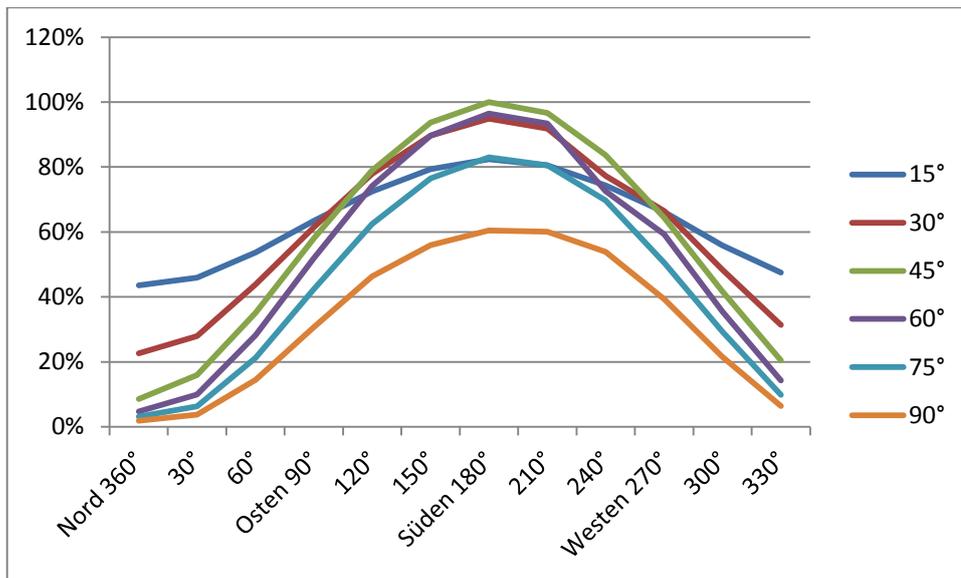
Hamburg 500 Liter Speicher Ergebnisse						
Himmelsrichtung	Aufstellwinkel					
	15°	30°	45°	60°	75°	90°
<b>Nord 360°</b>	50%	33%	21%	17%	15%	12%
<b>30°</b>	52%	38%	27%	21%	18%	14%
<b>60°</b>	58%	51%	44%	37%	31%	24%
<b>Osten 90°</b>	66%	65%	63%	58%	50%	40%
<b>120°</b>	74%	80%	81%	78%	69%	54%
<b>150°</b>	80%	90%	94%	92%	82%	65%
<b>Süden 180°</b>	83%	95%	100%	99%	89%	70%
<b>210°</b>	82%	92%	96%	95%	85%	68%
<b>240°</b>	76%	83%	85%	83%	76%	63%
<b>Westen 270°</b>	69%	70%	69%	66%	59%	49%
<b>300°</b>	60%	55%	50%	45%	39%	32%
<b>330°</b>	54%	40%	32%	26%	22%	17%



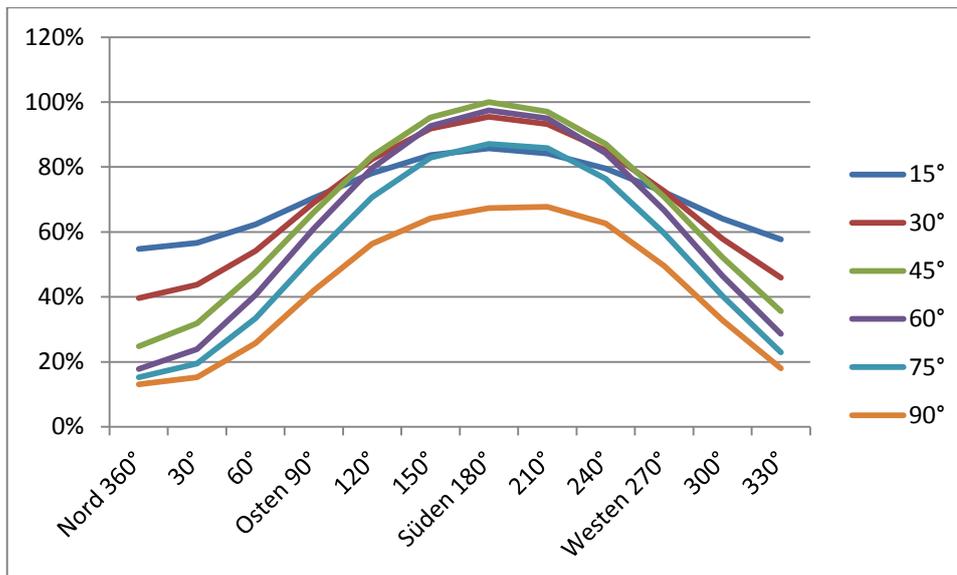
Hamburg 1000 Liter Speicher Ergebnisse						
Himmelsrichtung	Aufstellwinkel					
	15°	30°	45°	60°	75°	90°
<b>Nord 360°</b>	47%	27%	14%	10%	8%	6%
<b>30°</b>	49%	32%	21%	15%	11%	8%
<b>60°</b>	56%	47%	39%	32%	25%	18%
<b>Osten 90°</b>	65%	63%	60%	55%	46%	34%
<b>120°</b>	73%	79%	80%	75%	65%	50%
<b>150°</b>	80%	90%	94%	91%	79%	60%
<b>Süden 180°</b>	82%	95%	100%	97%	86%	65%
<b>210°</b>	81%	92%	96%	94%	83%	64%
<b>240°</b>	75%	82%	84%	81%	72%	57%
<b>Westen 270°</b>	66%	68%	66%	62%	54%	44%
<b>300°</b>	57%	51%	45%	40%	33%	26%
<b>330°</b>	50%	35%	25%	19%	15%	11%



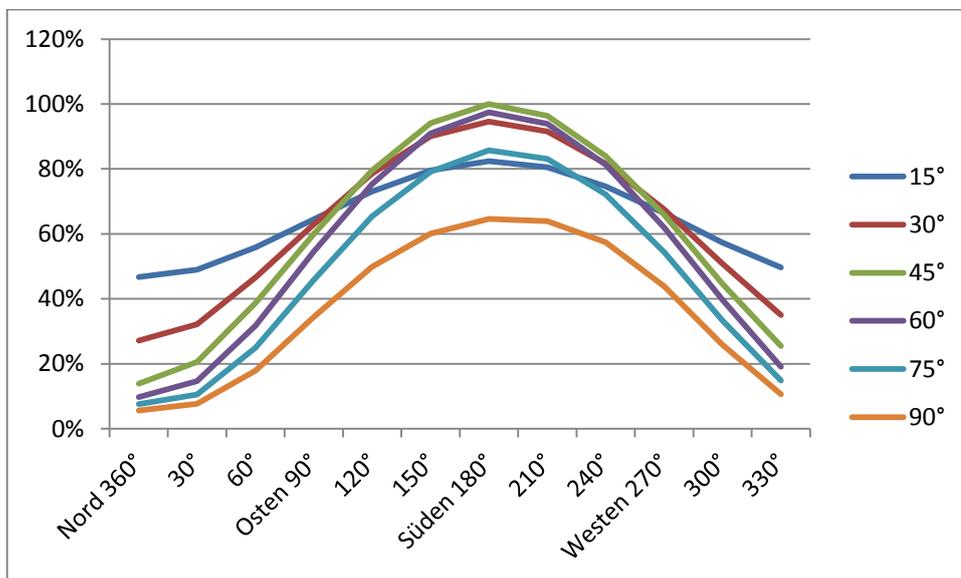
Hamburg 2000 Liter Speicher Ergebnisse in kWh						
Himmelsrichtung	Aufstellwinkel					
	15°	30°	45°	60°	75°	90°
<b>Nord 360°</b>	44%	23%	9%	5%	3%	2%
<b>30°</b>	46%	28%	16%	10%	6%	4%
<b>60°</b>	54%	44%	35%	28%	21%	15%
<b>Osten 90°</b>	63%	61%	58%	52%	42%	31%
<b>120°</b>	73%	78%	79%	74%	62%	46%
<b>150°</b>	79%	90%	94%	90%	76%	56%
<b>Süden 180°</b>	82%	95%	100%	96%	83%	61%
<b>210°</b>	81%	92%	97%	93%	81%	60%
<b>240°</b>	74%	77%	84%	73%	70%	54%
<b>Westen 270°</b>	66%	66%	64%	59%	51%	39%
<b>300°</b>	56%	48%	42%	36%	29%	22%
<b>330°</b>	48%	31%	20%	14%	10%	6%



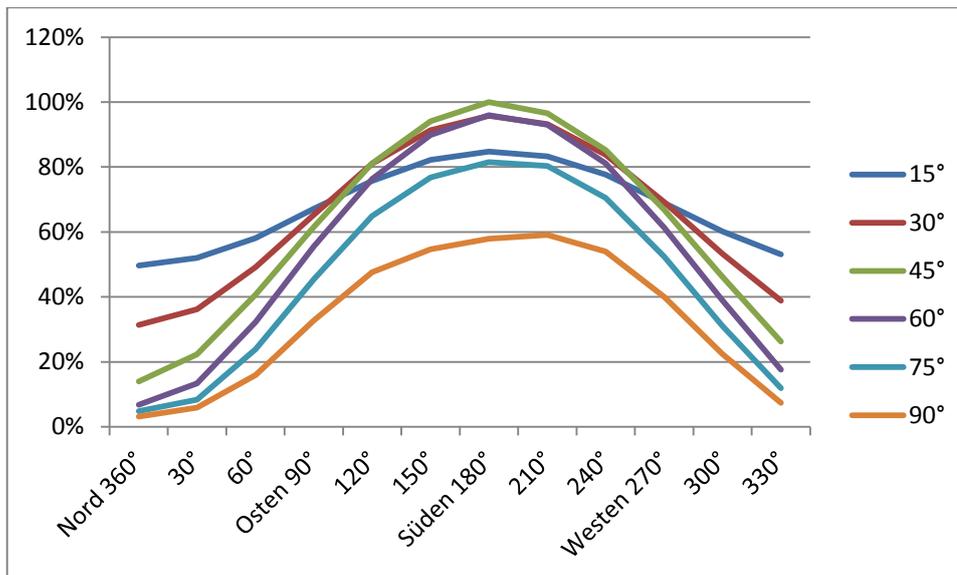
Freiburg 500 Liter Speicher Ergebnisse						
Himmelsrichtung	Aufstellwinkel					
	15°	30°	45°	60°	75°	90°
<b>Nord 360°</b>	55%	40%	25%	18%	15%	13%
<b>30°</b>	57%	44%	32%	24%	19%	15%
<b>60°</b>	62%	54%	48%	41%	33%	26%
<b>Osten 90°</b>	71%	69%	66%	61%	53%	42%
<b>120°</b>	78%	82%	83%	80%	71%	56%
<b>150°</b>	84%	92%	95%	93%	83%	64%
<b>Süden 180°</b>	86%	95%	100%	97%	87%	67%
<b>210°</b>	84%	93%	97%	95%	86%	68%
<b>240°</b>	80%	85%	87%	84%	76%	63%
<b>Westen 270°</b>	72%	73%	71%	67%	60%	50%
<b>300°</b>	64%	58%	52%	47%	40%	33%
<b>330°</b>	58%	46%	36%	29%	23%	18%



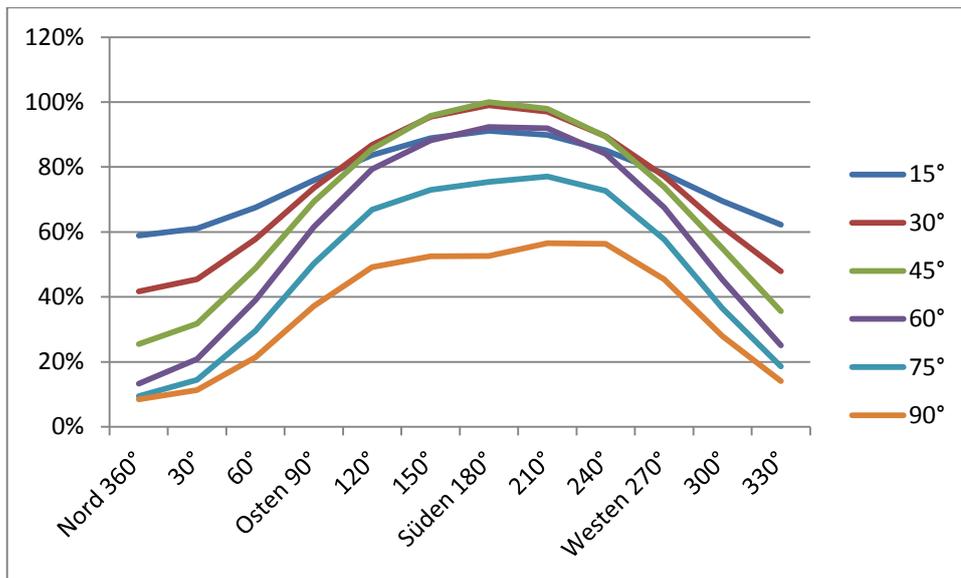
Freiburg 1000 Liter Speicher Ergebnisse in kWh						
Himmelsrichtung	Aufstellwinkel					
	15°	30°	45°	60°	75°	90°
<b>Nord 360°</b>	47%	27%	14%	10%	8%	6%
<b>30°</b>	49%	32%	21%	15%	11%	8%
<b>60°</b>	56%	47%	39%	32%	25%	18%
<b>Osten 90°</b>	65%	63%	60%	55%	46%	34%
<b>120°</b>	73%	79%	80%	75%	65%	50%
<b>150°</b>	80%	90%	94%	91%	79%	60%
<b>Süden 180°</b>	82%	95%	100%	97%	86%	65%
<b>210°</b>	81%	92%	96%	94%	83%	64%
<b>240°</b>	75%	82%	84%	81%	72%	57%
<b>Westen 270°</b>	66%	68%	66%	62%	54%	44%
<b>300°</b>	57%	51%	45%	40%	33%	26%
<b>330°</b>	50%	35%	25%	19%	15%	11%



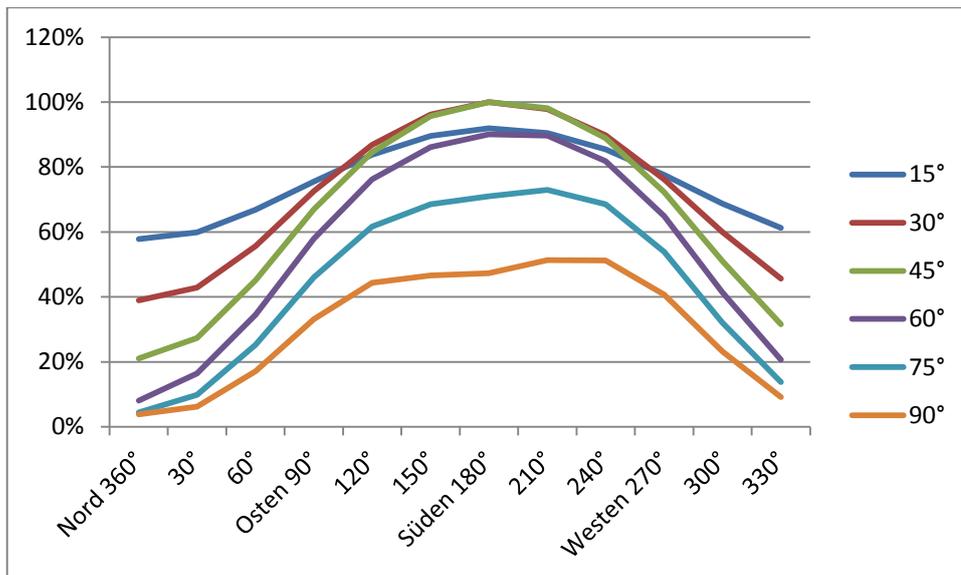
Freiburg 2000 Speicher Ergebnisse in kWh						
Himmelsrichtung	Aufstellwinkel					
	15°	30°	45°	60°	75°	90°
<b>Nord 360°</b>	50%	31%	14%	7%	5%	3%
<b>30°</b>	52%	36%	22%	13%	8%	6%
<b>60°</b>	58%	49%	41%	32%	24%	16%
<b>Osten 90°</b>	67%	65%	62%	56%	45%	33%
<b>120°</b>	76%	81%	81%	76%	65%	48%
<b>150°</b>	82%	91%	94%	90%	77%	55%
<b>Süden 180°</b>	85%	96%	100%	96%	82%	58%
<b>210°</b>	83%	93%	97%	93%	80%	59%
<b>240°</b>	78%	84%	85%	81%	71%	54%
<b>Westen 270°</b>	69%	69%	67%	61%	52%	40%
<b>300°</b>	60%	53%	46%	39%	31%	22%
<b>330°</b>	53%	39%	26%	18%	12%	7%



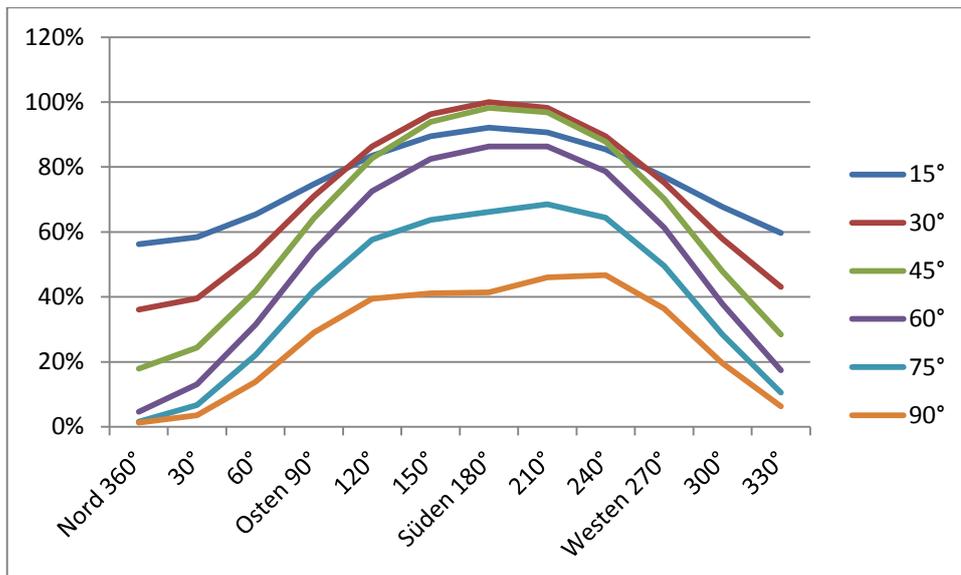
Sevilla 500 Liter Speicher Ergebnisse in kWh						
Himmelsrichtung	Aufstellwinkel					
	15°	30°	45°	60°	75°	90°
<b>Nord 360°</b>	59%	42%	25%	13%	9%	9%
<b>30°</b>	61%	45%	32%	21%	14%	11%
<b>60°</b>	68%	58%	49%	39%	30%	21%
<b>Osten 90°</b>	76%	74%	69%	62%	50%	37%
<b>120°</b>	84%	87%	86%	79%	67%	49%
<b>150°</b>	89%	95%	96%	88%	73%	53%
<b>Süden 180°</b>	91%	99%	100%	92%	75%	53%
<b>210°</b>	90%	97%	98%	92%	77%	57%
<b>240°</b>	85%	89%	89%	84%	73%	56%
<b>Westen 270°</b>	78%	77%	74%	68%	58%	45%
<b>300°</b>	70%	62%	55%	45%	36%	28%
<b>330°</b>	62%	48%	36%	25%	19%	14%



Sevilla 1000 Liter Speicher Ergebnisse in kWh						
Himmelsrichtung	Aufstellwinkel					
	15°	30°	45°	60°	75°	90°
<b>Nord 360°</b>	58%	39%	21%	8%	4%	4%
<b>30°</b>	60%	43%	27%	16%	10%	6%
<b>60°</b>	67%	56%	45%	35%	25%	17%
<b>Osten 90°</b>	76%	73%	67%	58%	46%	33%
<b>120°</b>	84%	87%	85%	76%	62%	44%
<b>150°</b>	90%	96%	96%	86%	69%	47%
<b>Süden 180°</b>	92%	100%	100%	90%	71%	47%
<b>210°</b>	90%	98%	98%	90%	73%	51%
<b>240°</b>	85%	90%	89%	82%	69%	51%
<b>Westen 270°</b>	78%	76%	72%	65%	54%	41%
<b>300°</b>	69%	60%	51%	41%	32%	23%
<b>330°</b>	61%	46%	32%	21%	14%	9%



Sevilla 2000 Liter Speicher Ergebnisse in kWh						
Himmelsrichtung	Aufstellwinkel					
	15°	30°	45°	60°	75°	90°
<b>Nord 360°</b>	56%	36%	18%	5%	2%	1%
<b>30°</b>	58%	40%	24%	13%	7%	4%
<b>60°</b>	65%	53%	42%	31%	22%	14%
<b>Osten 90°</b>	75%	71%	64%	54%	42%	29%
<b>120°</b>	83%	86%	83%	73%	58%	39%
<b>150°</b>	89%	96%	94%	82%	64%	41%
<b>Süden 180°</b>	92%	100%	98%	86%	66%	41%
<b>210°</b>	91%	98%	97%	86%	69%	46%
<b>240°</b>	85%	90%	88%	79%	64%	47%
<b>Westen 270°</b>	77%	75%	70%	61%	50%	36%
<b>300°</b>	68%	58%	48%	38%	28%	20%
<b>330°</b>	60%	43%	28%	17%	11%	6%



## Anlage 2

<b>Hamburg Röhrenkollektor 500 Liter Speicher</b>				
<b>Himmelsrichtung</b>	<b>Aufstellwinkel</b>			
	15°	30°	45°	60°
<b>120°</b>	330,30 €	343,17 €	344,79 €	333,90 €
<b>150°</b>	343,35 €	370,53 €	381,51 €	378,45 €
<b>Süden 180°</b>	347,67 €	379,71 €	395,55 €	394,38 €
<b>210°</b>	344,07 €	373,05 €	385,83 €	383,22 €
<b>240°</b>	332,37 €	348,48 €	351,81 €	343,71 €
<b>Hamburg Röhrenkollektor 1000 Liter Speicher</b>				
<b>Himmelsrichtung</b>	<b>Aufstellwinkel</b>			
	15°	30°	45°	60°
<b>120°</b>	368,28 €	382,95 €	384,48 €	370,71 €
<b>150°</b>	384,57 €	416,79 €	430,02 €	425,25 €
<b>Süden 180°</b>	390,69 €	430,29 €	448,20 €	445,50 €
<b>210°</b>	385,20 €	419,94 €	434,70 €	430,02 €
<b>240°</b>	370,26 €	389,34 €	392,85 €	381,87 €
<b>Hamburg Röhrenkollektor 2000 Liter Speicher</b>				
<b>Himmelsrichtung</b>	<b>Aufstellwinkel</b>			
	15°	30°	45°	60°
<b>120°</b>	412,47 €	427,59 €	428,58 €	411,48 €
<b>150°</b>	429,75 €	464,13 €	477,45 €	469,71 €
<b>Süden 180°</b>	436,14 €	478,98 €	497,79 €	493,38 €
<b>210°</b>	431,01 €	467,37 €	482,22 €	475,02 €
<b>240°</b>	414,45 €	433,89 €	436,86 €	422,91 €

<b>Freiburg Röhrenkollektor 500 Liter Speicher</b>				
<b>Himmelsrichtung</b>	<b>Aufstellwinkel</b>			
	15°	30°	45°	60°
<b>120°</b>	369,81 €	381,42 €	383,04 €	371,34 €
<b>150°</b>	379,98 €	405,27 €	414,09 €	411,30 €
<b>Süden 180°</b>	383,85 €	414,09 €	426,60 €	425,52 €
<b>210°</b>	379,53 €	405,63 €	416,25 €	412,65 €
<b>240°</b>	369,63 €	381,69 €	383,94 €	375,03 €
<b>Freiburg Röhrenkollektor 1000 Liter Speicher</b>				
<b>Himmelsrichtung</b>	<b>Aufstellwinkel</b>			
	15°	30°	45°	60°
<b>120°</b>	420,21 €	434,34 €	433,98 €	418,77 €
<b>150°</b>	434,97 €	464,58 €	475,47 €	469,71 €
<b>Süden 180°</b>	439,92 €	475,65 €	491,22 €	488,07 €
<b>210°</b>	434,70 €	464,58 €	477,09 €	471,24 €
<b>240°</b>	420,30 €	435,87 €	436,41 €	423,36 €
<b>Freiburg Röhrenkollektor 2000 Liter Speicher</b>				
<b>Himmelsrichtung</b>	<b>Aufstellwinkel</b>			
	15°	30°	45°	60°
<b>120°</b>	473,85 €	489,96 €	488,97 €	469,80 €
<b>150°</b>	492,12 €	527,31 €	540,18 €	529,47 €
<b>Süden 180°</b>	499,23 €	541,89 €	558,09 €	551,43 €
<b>210°</b>	492,30 €	528,75 €	541,35 €	531,99 €
<b>240°</b>	475,11 €	491,76 €	492,12 €	474,84 €

## Anlage II

<b>Hamburg 500 Liter</b>	Flach	Röhren
Benötigte Energie in kWh	15826	15826
Solare Energie in kWh	2923	4395
Ersparnis in %	18,5	27,8
Anlage kosten in Euro	4850	11600
Öl Einsparung im Jahr in Euro	361,58	522,68
Amortisation in Jahren	13,4	22,2
Mit <b>Gas</b> Einsparung in Euro	256,34	378,93
Amortisation in Jahren	18,9	30,6
Mit <b>Pellets</b> Einsparung in Euro	202,82	293,7
Amortisation in Jahren	23,9	39,5

<b>Hamburg 1000 Liter</b>	Flach	Röhren
Benötigte Energie in kWh	15826	15826
Solare Energie in kWh	3358	4781
Ersparnis in %	21,2	30,2
Anlage kosten in Euro	5000	11750
Öl Einsparung im Jahr in Euro	421,37	606,81
Amortisation in Jahren	11,86605596	19,36355696
Mit <b>Gas</b> Einsparung in Euro	296,46	434,66
Amortisation in Jahren	16,86568171	27,0326232
Mit <b>Pellets</b> Einsparung in Euro	233,67	338,78
Amortisation in Jahren	21,39769761	34,68327528

<b>Hamburg 2000 Liter</b>	Flach	Röhren
Benötigte Energie in kWh	15826	15826
Solare Energie in kWh	3714	5531
Ersparnis in %	23,5	34,9
Anlage kosten in Euro	6100	12850
Öl Einsparung im Jahr in Euro	472,95	692,73
Amortisation in Jahren	12,89776932	18,54979574
Mit <b>Gas</b> Einsparung in Euro	331,3	490,38
Amortisation in Jahren	18,41231512	26,2041682
Mit <b>Pellets</b> Einsparung in Euro	261,17	383,63
Amortisation in Jahren	23,35643451	33,49581628

<b>Freiburg 500 Liter</b>	Flach	Röhren
---------------------------	-------	--------

Benötigte Energie in kWh	15826	15826
Solare Energie in kWh	3371	4740
Ersparnis in %	21,3	30,0
Anlage kosten in Euro	4850	11600
Öl Einsparung im Jahr in Euro	433	578,17
Amortisation in Jahren	11,20092379	20,06330318
Mit <b>Gas</b> Einsparung in Euro	301,66	414,59
Amortisation in Jahren	16,07770337	27,97944958
Mit <b>Pellets</b> Einsparung in Euro	238,93	322,4
Amortisation in Jahren	20,29883229	35,98014888

### **Freiburg 1000 Liter**

	Flach	Röhren
Benötigte Energie in kWh	15826	15826
Solare Energie in kWh	3925	5458
Ersparnis in %	24,8	34,5
Anlage kosten in Euro	5000	11750
Öl Einsparung im Jahr in Euro	511,94	685,57
Amortisation in Jahren	9,766769543	17,139023
Mit <b>Gas</b> Einsparung in Euro	354,41	484,44
Amortisation in Jahren	14,10795406	24,25480968
Mit <b>Pellets</b> Einsparung in Euro	281,02	379,56
Amortisation in Jahren	17,79232795	30,95689746

### **Freiburg 2000 Liter**

	Flach	Röhren
Benötigte Energie in kWh	15826	15826
Solare Energie in kWh	4403	6201
Ersparnis in %	27,8	39,2
Anlage kosten in Euro	6100	12850
Öl Einsparung im Jahr in Euro	582,65	801,95
Amortisation in Jahren	10,46940702	16,02344286
Mit <b>Gas</b> Einsparung in Euro	401,22	558,74
Amortisation in Jahren	15,20362893	22,99817446
Mit <b>Pellets</b> Einsparung in Euro	319,53	441,03
Amortisation in Jahren	19,09053923	29,13633993

### **Sevilla 500 Liter**

	Flach	Röhren
Benötigte Energie in kWh	15826	15826
Solare Energie in kWh	2837	3451
Ersparnis in %	17,9	21,8
Anlage kosten in Euro	2350	4150
Öl Einsparung im Jahr in Euro	452,87	550,43
Amortisation in Jahren	5,189127123	7,53955998

Mit <b>Gas</b> Einsparung in Euro	287,54	349,21
Amortisation in Jahren	8,172775962	11,88396667
Mit <b>Pellets</b> Einsparung in Euro	237,5	288,68
Amortisation in Jahren	9,894736842	14,37577941

<b>Sevilla 1000 Liter</b>	Flach	Röhren
Benötigte Energie in kWh	15826	15826
Solare Energie in KWh	2924	3633
Ersparnis in %	18,5	23,0
Anlage kosten in Euro	2500	4300
Öl Einsparung im Jahr in Euro	468,09	576,38
Amortisation in Jahren	5,340853255	7,460356015
Mit <b>Gas</b> Einsparung in Euro	296,46	365,56
Amortisation in Jahren	8,432840855	11,76277492
Mit <b>Pellets</b> Einsparung in Euro	244,91	302,07
Amortisation in Jahren	10,20783145	14,23511107

<b>Sevilla 2000 Liter</b>	Flach	Röhren
Benötigte Energie in kWh	15826	15826
Solare Energie in KWh	2979	3773
Ersparnis in %	18,8	23,8
Anlage kosten in Euro	3600	5400
Öl Einsparung im Jahr in Euro	468,98	595,18
Amortisation in Jahren	7,676233528	9,072885514
Mit <b>Gas</b> Einsparung in Euro	296,46	376,7
Amortisation in Jahren	12,14329083	14,3350146
Mit <b>Pellets</b> Einsparung in Euro	244,91	311,64
Amortisation in Jahren	14,69927729	17,32768579