

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
Fakultät Life Sciences  
Studiengang Ökotropologie

**Machbarkeitsstudie für die solarthermische Beheizungsunterstützung von  
Gewächshäusern im Bestand**

Bachelorarbeit

**Vorgelegt von:**

**LarissaBartsch**

Betreuender Prüfer: Prof. Dr. Jörg Andreaä

Zweiter Prüfer : Dipl.-Met. Bernhard Weyres-Borchert

Hamburg, den 01.08.2012

## **Vorwort**

Diese Thema wurde von Herrn Dipl.-Met. Bernhard Weyres Borchert angeregt.

Mein Forschungsziel ist es, die Energieeinsparung durch Solarthermie im Gartenbau zu untersuchen, dies vor allem vor dem Hintergrund der zunehmenden globalen Erwärmung durch die Nutzung fossiler Energieträger. Dabei ist mir wichtig auf die Schäden die die fossilen Energieträger anrichten aufmerksam zu machen.

Danken möchte ich Herrn Prof. Dr. Jörg Andreä, Regine Uhlig, dem Solarzentrum Hamburg und Sollmann, Fritz von der Landwirtschaftskammer Hamburg für die Hilfen und Anregungen. Außerdem möchte ich den drei Landwirten danken, die mir Ihre Informationen zum Betrieb ausgehändigt haben.

## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	6
2 Thermische Solarenergie.....	8
2.1 Aufbau einer Solarthermieanlage.....	8
2.1.1 Solarkollektor: Aufbau, Funktion und Arten.....	9
2.1.2 Solar-Wärmespeicher.....	13
2.2. Ausrichtung der Kollektoren.....	15
3 Gewächshäuser.....	17
3.1 Aufbau von Gewächshäusern.....	17
3.1.1 Bauform von Gewächshäusern.....	17
3.1.2 Heizungssysteme von Gewächshäusern.....	18
3.1.3 Wärmeübertragung bei Gewächshäusern.....	19
3.1.4 Wärmedämmung des Gewächshauses.....	20
3.1.5 Geschlossenes Gewächshaus.....	21
3.2 Energiebedarf von Gewächshäusern.....	22
4 Stand der Technik.....	23
4.1 Das Projekt ZINEG.....	23
4.2 Hamburg/Fünfhausen Solarkollektoren und Wärmepumpen im Gartenbau.....	25
4.3 Gewächshaus mit Aquifer-Speicher.....	26
5 Betriebe im Umland von Hamburg.....	28
5.1 Bestandsaufnahme der Betriebe.....	28
5.2 Anforderung/Heizbedarf der Betriebe und Möglichkeit der Unterstützung durch Solarthermie.....	32
5.3 Lösungsmöglichkeiten .....	35
5.4 Bewertung.....	36
6 Fazit .....	45
Literaturverzeichnis.....	47
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....	50
Eidesstattliche Erklärung.....	51
Zusammenfassung.....	52
Abstract.....	53
Anhang.....	54

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Energieflüsse in einem solaren Flachkollektor. Quelle:Quaschning, 2010, S.136.....	9
Abbildung 2: Schwimmbadabsorber. Quelle: Aqua-Vogt.de GmbH, o.J.....	10
Abbildung 3: Luftkollektor. Quelle: Grammer Solar GmbH, 2010.....	11
Abbildung 4: Vakuum-Röhrenkollektor mit Heatpipe. Quelle: Viessmann Deutschland, 2011, S.16.....	12
Abbildung 5: Einfluss der Neigung und Ausrichtung der Kollektoren auf das Strahlungsangebot. Quelle: Master, o.J.....	15
Abbildung 6: Wärmeströme eines Gewächshauses. Quelle: Meyer, Pietzsch, 2010 , S.5.	19
Abbildung 7: Energetische Bewertung eines geschlossenen Gewächshauses mit Aquiferspeicher. Quelle: (Menke, Hoffmann, Zutz, 2009, S.1).....	27
Abbildung 8: Gewächshaus aus Betrieb 1.....	29

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Daten vom Ist-Zustand von Betrieb 1.....	30
Tabelle 2: Daten vom Ist-Zustand von Betrieb 2.....	31
Tabelle 3: Daten vom Ist-Zustand von Betrieb 3.....	32
Tabelle 4: Kostenvergleichsrechnung Betrieb 1.....	40
Tabelle 5: Kostenvergleichsrechnung Betrieb 2.....	41
Tabelle 6: Kostenvergleichsrechnung Betrieb 3.....	42

# 1. Einleitung

Die fossilen Energiereserven auf dieser Erde sind endlich. Durch die Verbrennung fossiler Energieträger wird CO<sub>2</sub> freigesetzt. Mit Kohlenstoffdioxid in der Erdatmosphäre wird der natürliche Treibhauseffekt verstärkt. Die Wissenschaftler sind sich einig, dass durch diese Veränderung sich das Klima auf der Erde wandelt. Folgen, die heute merkbar sind, sind das Abschmelzen der Polkappen, daraus folgend der Anstieg des Meeresspiegels sowie Umweltkatastrophen, wie starke, andauernde Regenfälle. Aus diesem Grund müssen die CO<sub>2</sub>-Emissionen niedrig gehalten werden, wenn die Industrieländer den Lebensstandard beibehalten wollen. Das kann umgesetzt werden, indem einerseits erneuerbare Energien eingesetzt werden und andererseits der Energiebedarf der Weltbevölkerung insgesamt gesenkt wird. Doch danach sieht es nicht aus, denn Entwicklungsländer streben nach dem selben Lebensstandard wie dem der Industrieländer. Dazu kommt ein Ansteigen der Weltbevölkerung.

Auf keine der erneuerbaren Energien kann allein gesetzt werden, da weder Sonnen-, Wind- oder Wasserkraft konstant Verfügung stehen und zur Zeit keine Möglichkeiten der Speicherung von Energie auf längere Zeit gegeben sind bzw. der Platzbedarf zu groß wäre. Nur bei der Geothermie und der Bioenergie wurden Lösungsansätze gefunden um diese Energielieferanten konstant zu verwenden.

In dieser Bachelorarbeit werden die Möglichkeiten erforscht Wärme aus Sonnenenergie zu erzeugen. Die Sonne schickt jährlich  $2,55 \cdot 10^{17}$  kWh auf die Erde, dies sind mehr als alle bekannten Energiereserven zusammen (Antony et al., 2004, S. 2–3ff). Mit Hilfe einer Solarthermieanlage kann ein Bruchteil dieser Energie zur Beheizung von Räumen genutzt werden. In dieser Bachelorarbeit geht es nicht um die Stromerzeugung aus Sonnenenergie, sondern ausschließlich um Wärmeerzeugung. Wenn also von einer Solaranlage geschrieben wird, ist dies gleichzusetzen mit einer Solarthermieanlage.

Solaranlagen sind flexibel einsetzbar, wie z.B. in der Industrie, im Gewerbe, in Ein- oder Mehrfamilienhäusern oder in der Landwirtschaft. In der Landwirtschaft werden in ganz Europa Gemüse- und Zierpflanzen unter Glas angebaut. Es gibt Kulturen wie Gerbera, die sehr empfindlich gegen Temperaturschwankungen sind. Diese benötigen das gesamte Jahr über eine bestimmte Temperatur. Selbst im Sommer muss nachts geheizt werden. Im Sommer und häufig auch in den Übergangszeiten, Frühling und Herbst, kann durch eine Solarthermieanlage die Wärme für das Gewächshaus geliefert werden. Dann müssen

keine Energieträger verwendet werden, die CO<sub>2</sub>-Emissionen ausstoßen und/oder endlich sind. Der wichtigste Kostenfaktor für die Landwirtschaft sind neben den Lohnkosten die Heizkosten (Unruh, 2005, S.2). Die Sonne schickt täglich Wärme umsonst auf die Erde, die kostengünstig genutzt werden kann. Es darf jedoch nicht vergessen werden, dass eine Solaranlage Geld für die Investition, Wartung und Instandhaltung kostet.

In der folgenden Arbeit wird untersucht wie eine Solarthermieanlage funktioniert, wie ist ein Gewächshaus aufgebaut ist, welche Möglichkeiten der Energieeinsparungen es bereits in diesem Bereich gibt, welche ähnlichen Projekte zu diesem Thema durchgeführt wurden und zum Schluss geht es um drei reale landwirtschaftliche Objekte.

Außerdem wird untersucht, ob die Nutzung solarthermischer Heizungsunterstützung wirtschaftlich ist.

## **2 Thermische Solarenergie**

Mit Hilfe einer Solarthermie unterstützten Heizung kann das gesamte Jahr über in Ein- und Mehrfamilienhäuser, in Krankenhäuser und in der Industrie und Gewerbe CO<sub>2</sub> sparer geheizt werden. Die Solarthermieanlage besteht aus einem Kollektor und einem Speicher. Kollektoren nutzen die Globalstrahlung, welche aus direkten und diffusen Solarstrahlungsanteilen besteht. Dadurch kann in den Sommermonaten auf weitere Energiequellen so gut wie verzichtet werden. Jeden Tag werden  $2 \cdot 10^{15}$  kWh Energie von der Sonne auf die Erde geschickt (Rheinländer, 2003, S.5). Eine weit verbreitete Meinung in der Bevölkerung Deutschlands ist, dass die Nutzung der Solarenergie in Deutschland sich wirtschaftlich nicht rentiert. Das stimmt nicht; in strahlungsreichen Gebieten im Süden Deutschlands herrscht eine Globalstrahlung von 1.200 kWh pro Jahr auf einem Quadratmeter horizontaler Fläche. Auf einen Quadratmeter Kollektorfläche sind dies 300-500 kWh Wärme, die produziert werden kann (Rheinländer, 2003, S.4f).

### ***2.1 Aufbau einer Solarthermieanlage***

Eine Solarthermieanlage soll die Sonnenstrahlung zu Wärme aufbereiten. Um dies zu bewerkstelligen, ist ein Solarkollektor nötig, der die Sonnenstrahlung bündelt. Die Wärme wird mit einem Wärmeträgermedium durch ein Rohrleitungssystem zum Wärmespeicher transportiert. Dort wird die Wärme an den Speicherinhalt abgegeben und das Medium mit Hilfe einer Pumpe zurück zum Kollektor gepumpt. Nicht immer ist es nötig, das Wärmeträgermedium zurückzupumpen, da es Tage im Sommer gibt, wo der Speicher ist ebenso warm wie die Temperatur, die der Kollektor erzeugen kann. Um dies zu kontrollieren werden ein Regler und zwei Fühler, einer am Kollektor und einer im Wärmespeicher, eingebaut. Wenn mehr Wärme produziert wird als abgenommen wird und das Wärmeträgermedium sich ausdehnt, muss ein Ausdehnungsgefäß eingebaut sein um Druckschwankungen auszugleichen. Wichtig ist, dass der Kollektor in einen intelligenten Kreislauf der Heizungsanlage integriert wird, damit der Speicher nicht von dem Heizkessel beladen wird. Das bedeutet, dass die Solaranlage den Speicher immer vorrangig erwärmt wodurch Geld und Kohlenstoffemissionen eingespart werden können (Quaschnig, 2010, S.146).

## 2.1.1 Solarkollektor: Aufbau, Funktion und Arten

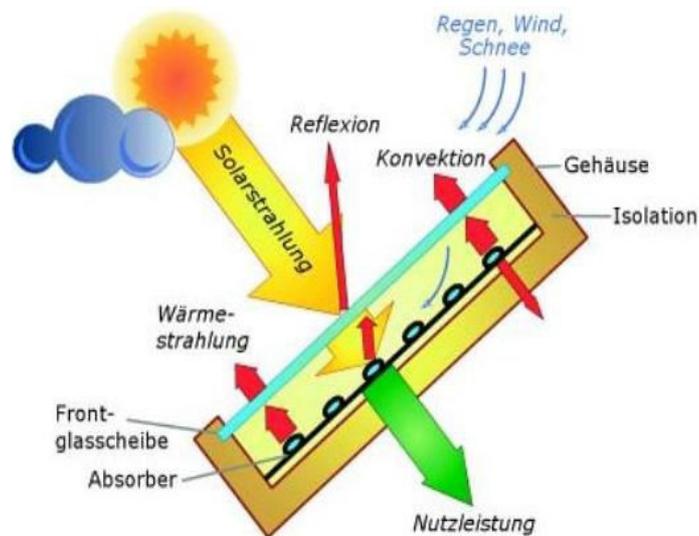


Abbildung 1: Energieflüsse in einem solaren Flachkollektor. Quelle: Quaschnig, 2010, S.136

Der wichtigste Bestandteil des Kollektors ist der Solarabsorber. Ein Absorber nimmt die Strahlung der Sonne auf, wandelt sie in Wärme um und gibt diese Wärme an das Wärmeträgermedium ab. Das Wärmeträgermedium kann Luft, Wasser oder Öl sein. Der Absorber kann nicht die gesamte Strahlung aufnehmen. Es entstehen Verluste durch Reflexion der Sonnenstrahlung an der Frontscheibe und am Absorber. Der Kollektor muss so gebaut sein, dass möglichst wenig Wärmeverluste auftreten können (Abbildung 1). Man muss zwischen der Aperturfläche und der Absorberfläche unterscheiden. Die Aperturfläche ist die durch eine Scheibe oder Folie geschützte Nutzfläche der Solaranlage ohne Rahmen und Befestigungen. Die Absorberfläche ist die unbeschattete Oberfläche des Absorbers auf welcher die Strahlung in Wärme umgewandelt wird (Luboschik, Suter, 2003, S.20).

## Schwimmbadabsorber

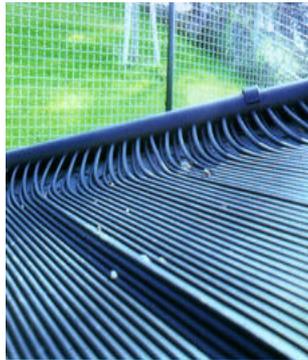


Abbildung 2:  
Schwimmbadabsorber.  
Quelle: Aqua-Vogt.de  
GmbH, o.J.

Der einfachste aller Kollektoren ist der Schwimmbadabsorber (Abbildung 2). Es handelt sich um einen schwarzen Schlauch, der aus witterungsbeständigem Kunststoff hergestellt ist um dem UV-Licht und dem mit Chlor versetzten Schwimmbad-Wasser standzuhalten. Ein Gartenschlauch und diese Art von Absorber können verglichen werden. Dabei ist zu beachten, dass bei diesem Typ starke Wärmeverluste entstehen und somit im Winter sowie in den Übergangszeiten kein warmes Wasser produziert werden kann.

### Flachkollektor

Um die Wärmeverluste gering zu halten ist eine Frontscheibe eingebaut. Jedoch wird dadurch ein Teil der Sonnenstrahlen reflektiert (Abbildung 1). Aus diesem Grund ist bei Kollektortemperaturen bis zu 30°C der Wirkungsgrad eines Schwimmbadabsorbers höher als der eines Flachkollektors. Bei höheren Temperaturen ist der Wirkungsgrad deutlich besser bei einem Flachkollektor.

Im Sommer kann es vorkommen, dass der Kollektor keine Wärme produziert, da kein Wärmebedarf besteht, da sowohl das Wärmeträgermedium im Speicher als auch im Kreislauf der Solaranlage das Maximum erreicht hat. Dann erzeugt die Solaranlage keine weitere Wärme. Dies nennt man Kollektorstillstand.

Flachkollektoren haben einen Kollektorstillstand zwischen 150°C bis 200°C. Deshalb bestehen Flachkollektorabsorber meistens aus Kupferrohren und nicht aus Kunststoff wie Schwimmbadabsorber. Die Kupferrohre sind auf einem dünnen Absorberblech befestigt.

Der gesamte Absorber befindet sich in einem Gehäuse. Hinter dem Absorber ist eine Isolierung um Verluste zu vermeiden. Absorber sind mit einer selektiven Beschichtung überzogen, dadurch kann Sonnenlicht gut absorbiert werden. Ein weiterer positiver Aspekt ist, dass der Absorber weniger Wärme abstrahlt.

## Luftkollektor

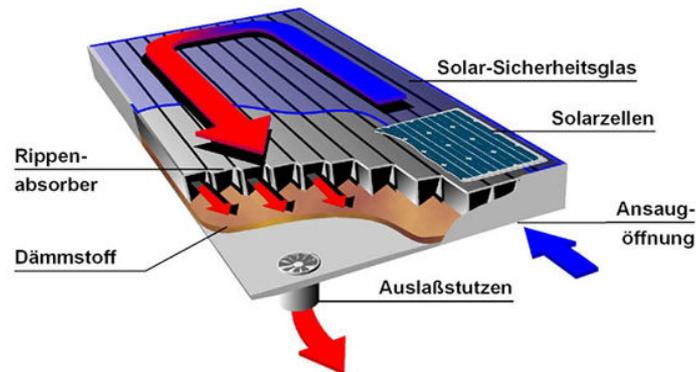


Abbildung 3: Luftkollektor. Quelle: Grammer Solar GmbH, 2010

Ein Luftkollektor erwärmt die Luft direkt anstatt ein Wärmeträgermedium (Abbildung 3), das anschließend die Luft durch Abgabe von Wärme durch einen Heizkörper erwärmt. Anstelle eines flüssigen Wärmeträgermediums wird Luft durch diesen Kollektor geleitet. Luft nimmt Wärme schlechter an und somit sind größere Absorberquerschnitte nötig. Wenn ein Photovoltaikmodul integriert ist, kann dies den Strom für den Lüftermotor liefern. Gerade für Heizungsunterstützung sind Luftkollektoren sehr interessant. Das Problem ist, dass die Speicherung der Wärme erheblich komplizierter ist.

## Vakuum-Röhrenkollektor

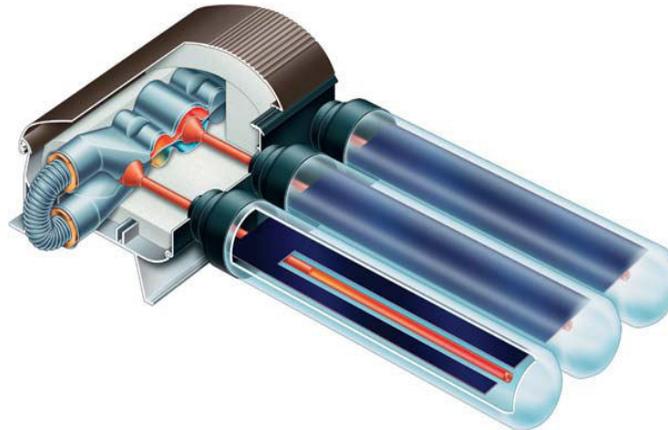


Abbildung 4: Vakuum-Röhrenkollektor mit Heatpipe. Quelle: Viessmann Deutschland, 2011, S.16

Bei einem Flachkollektor entstehen die größten Verluste zwischen Frontscheibe und Absorber, da die gesamte Zeit die Luft vor dem Absorber erwärmt wird, welche dann zur Frontscheibe transportiert wird und dort abkühlt. Um dies zu verhindern gibt es die Vakuum-Flachkollektoren.

Zwischen Kollektorunterseite und Glasabdeckung sind Stützen notwendig, da sonst durch den äußeren Druck die vordere Abdeckung gegen den Absorber gedrückt würde. Das Vakuum lässt sich nicht über längere Zeit gewährleisten, da Luft zwischen dem Übergang von Glas und Kollektorgehäuse eindringt. Mit Hilfe einer Vakuumpumpe wird regelmäßig das Vakuum wieder hergestellt. Wegen dieses Nachteils kann sich der Vakuum-Flachkollektor nicht gegen den Flachkollektor durchsetzen.

Bei einem Vakuum-Röhrenkollektor lässt sich dieser Nachteil vermeiden. Mit einer vollständig abgeschlossenen Glasröhre lässt sich ein Hochvakuum erzeugen, welches über längere Zeit aufrechterhalten werden kann. Es müssen keine stützenden Stangen eingebaut werden. Im Glasrohr befindet sich in der Mitte ein Absorberblech mit Wärmerohr, dies nennt man Fahnenabsorber. Das Wärmerohr wird als Heatpipe bezeichnet. Die Heatpipe ist mit leicht verdampfbarem Medium gefüllt. Wenn durch die Sonnenwärme das Medium verdampft ist, steigt der Dampf nach oben. Dort ragt die Heatpipe aus dem Glasrohr hinaus (Abbildung 4). Hier befindet sich der Kondensator, der

das Medium wieder kondensiert. Dabei wird über einen Wärmetauscher die Wärmeenergie an ein vorbei strömendes Wärmeträgermedium abgegeben. Nach dem Kondensieren fließt das Medium an der Heatpipe entlang herunter. Deshalb müssen Vakuum-Röhrenkollektoren leicht geneigt einbauen werden. Wobei der Wärmetauscher oberhalb liegt.

Es werden auch Vakuum-Röhrenkollektoren hergestellt, welche das Wärmeträgermedium direkt durch den Kollektor strömen lassen. Folglich muss kein Wärmetauscher eingebaut werden. Die Röhren können so waagrecht angebracht werden. Vorteil des Vakuum-Röhrenkollektor ist, dass ein höherer Ertrag erbracht werden kann, besonders bei niedriger Umgebungstemperatur, als bei einem Flachkollektor. Dafür sind die Kosten des Röhrenkollektors höher, womit sich das Preis-Leistungs-Verhältnis ausgleicht (Quaschnig, 2010, S.136).

### **Speicherkollektor**

Bei diesem Kollektor entfallen einige Bauteile, da der Wasserspeicher und der Kollektor eine Einheit bilden. Es fehlen Wärmetauscher, Rohrleitungen für den Solarkreislauf, Steuerung und Umwälzpumpen. Der Kollektor ist direkt an die Wasserversorgungsleitung angebunden. So wird das Wasser erwärmt und kommt direkt zu dem Verbraucher.

### **Hybridkollektor**

Dieser Kollektor ist eine Kombination aus Photovoltaik-Modul und Kollektor. Da Solarmodule die Solarstrahlung nur zu 15% in Strom umwandeln können und die restlichen 85% als Wärme verloren gehen ist es sinnvoll, so eine Art von Kollektor zu bauen. Ein Nachteil ist, dass die Solarmodule an Effektivität verlieren je wärmer sie werden. Die Wärme bei Hybridkollektor wird länger gespeichert, wenn die Sonnenstrahlung gleichzeitig als Wärme- und Stromspender dient (Antony et al., 2004, S.4-21).

## **2.1.2 Solar-Wärmespeicher**

### **Speicher: Aufbau und Arten**

In der Übergangszeit gibt es Tage mit schlechtem Wetter und dennoch wird warmes Wasser benötigt. Um diese Schwankung ausgleichen zu können wird ein solarer Wärmespeicher benötigt. Die Speichergröße hängt von der Höhe des Wärmebedarfs und der Speicherdauer ab. Je kleiner die Menge ist, die gespeichert werden soll, desto größer

sind die Wärmeverluste. Das Speichervolumen steigt schneller als die Oberfläche des Speichers, deshalb sind die spezifischen Wärmeverluste bei größeren Speicher kleiner (Quaschnig, 2010, S.136).

Es gibt verschiedene Solarspeicher, z.B. druckfeste Speicher, die im Vergleich kostengünstiger sind als drucklose Speicher mit integrierten Wärmetauschern. Festkörperspeicher können Stein oder Erdspeicher (Aquiferspeicher), aber auch keramische Speicher für höhere Temperaturen sein. Latentwärmespeicher setzen ihre Energie frei oder speichern sie durch Stoffe, welche ihren Aggregatzustand wechseln. Beim Übergang z.B. von fest zu flüssig werden große Energiemengen frei gesetzt bzw. gespeichert. Chemische Reaktionsspeicher machen sich chemische Prozesse von Stoffpaaren mit einem möglichst großen Energieumsatz bei der Verbindung der Stoffe zunutze (z.B. Wasser/Sauerstoff  $\leftrightarrow$  Wasser + Energie + 120MJ/kg). Die chemischen Prozesse müssen reversibel sein (Luboschik, 2003, S.36ff).

Die Wandmaterialien der Warmwasserspeicher können sich stark unterscheiden, vom Edelstahlspeicher zum emaillierten oder Kunststoffspeicher bis hin zum Stahlspeicher. Edelstahlspeicher sind vergleichsweise leichter als der Rest der Speicher und wartungsfrei, dafür teurer in der Anschaffung als emaillierte Stahlspeicher. Kunststoff beschichtete Stahlspeicher können ebenfalls günstig sein. Allerdings sind diese nicht für höhere Temperaturen als 90°C geeignet (Antony et al., 2004, S.4 – 30f).

Es gibt viele verschiedene Arten von solaren Speichern. Der am häufigsten verbaute Speicher ist der Schichtenspeicher. Diese Speicherart ist besonders sinnvoll für Flüssigkeiten mit einer geringen Wärmeleitfähigkeit, da das Wärmeträgermedium die Wärme der unterschiedlichen Schichten nur sehr langsam ausgleicht. Die Schichten bilden sich natürlich, da Flüssigkeiten mit höheren Temperaturen eine geringere Dichte besitzen als die gleiche Flüssigkeit mit niedrigeren Temperaturniveau. Sowohl beim Laden als auch Entladen des Schichtenspeichers muss den natürlichen Schichten Rechnung getragen werden. Es darf keine Verwirbelung und die daraus folgend Vermischung zwischen den einzelnen Wärme-Schichten entstehen. Durch strömungstechnische Einbauten im Schichtenspeicher können Verwirbelungen unterbunden werden (Rummich, 2009, S.85).

## 2.2. Ausrichtung der Kollektoren

Die Einstrahlung auf einen Kollektor und die damit zusammenhängende Energiegewinnung ist abhängig von dem Neigungswinkel des Solarkollektors bezogen auf die Horizontale wie in Abbildung 5 zu sehen ist.

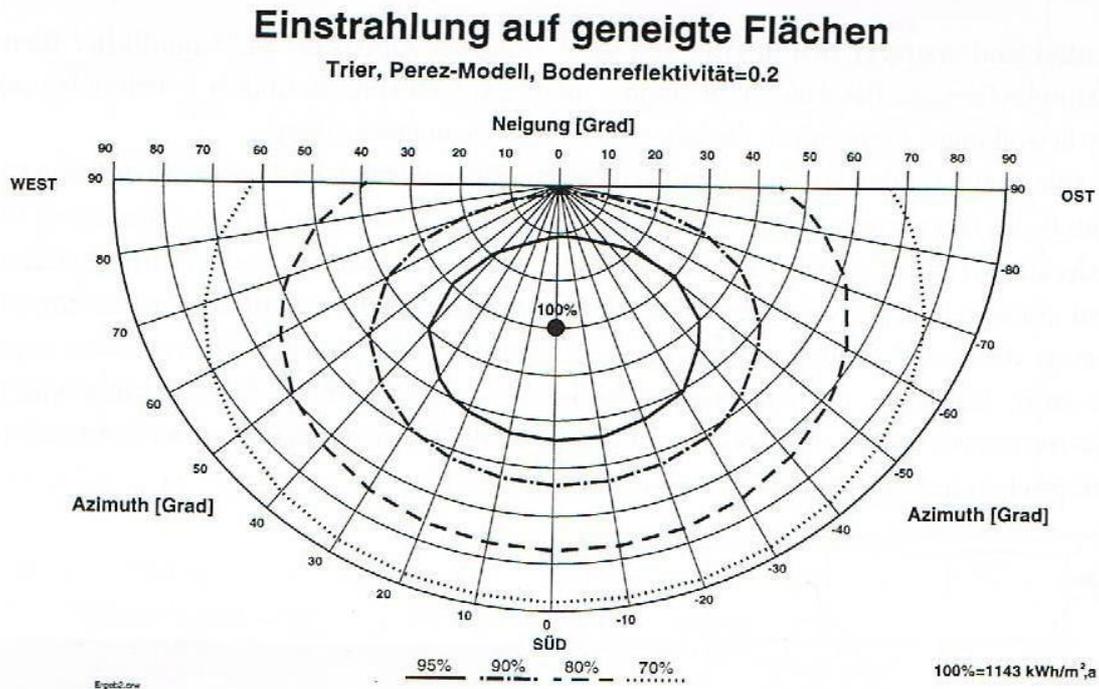


Abbildung 5: Einfluss der Neigung und Ausrichtung der Kollektoren auf das Strahlungsangebot. Quelle: Master, o.J.

Durch den unterschiedlichen Winkel der Sonneneinstrahlung, im Winter und im Sommer ist der Wärmeertrag abhängig vom Winkel des Sonnenkollektors. Bei einem Winkel von 30° steht der Kollektor flacher als bei einem Winkel von 70°. In den Wintermonaten und in der Übergangszeit ist die Einstrahlung bei größerem Winkel etwas höher, dafür in den Sommermonaten geringer. Dies hängt mit dem niedrigen Sonnenstand im Winter bzw. den hohen Sonnenstand im Sommer zusammen. Im Hinblick auf den geringen Bedarf an Wärme im Sommer und dem großen Bedarf im Winter ist dies ein für die solare Wärmenutzung interessanter Aspekt. Wie in Abbildung 5 zu sehen ist, liegt der Winkel mit der größten Einstrahlung bei 30°.

Die Solarkollektoren können nicht nur unterschiedliche Neigungen haben, sondern auch in unterschiedliche Himmelsrichtungen ausgerichtet werden. Das bedeutet, dass die Anlagen in Ost-, Süd-, Westrichtung ausgerichtet werden können. Das Optimum ist es, wenn die

Kollektoren nach Süden ausgerichtet werden, allerdings gibt es bei Ausrichtung gen West oder Ost nur 10% Einbußen (Luboschik, Suter, 2003, S.14). Wöchentlich gemessen wurden die Einstrahlungswerten pro m<sup>2</sup> Kollektorfläche im Jahresverlauf, jeweils mit den Winkeln 30°, 60° und 70° befinden sich im Anhang auf Seite 2 bis 4.

Die dabei zu erkennende Tendenz ist, dass bei höherem Neigungswinkel der Gesamtertrag sinkt. In den Wintermonaten allerdings ist der Energieertrag bei einem höheren Neigungswinkel größer.

Der Wirkungsgrad eines Kollektors bezeichnet die Effizienz bei Umwandlung von Sonnenstrahlung in nutzbare Wärme eines Kollektors. Diese Effizienz ist von verschiedenen Umweltparametern abhängig, von der Lufttemperatur, der Einstrahlung (Reflexion) und der Windgeschwindigkeit (Luboschik, Suter, 2003, S.19)

Bei einer hohen Temperaturdifferenz zwischen Lufttemperatur und Absorber ist der Wirkungsgrad bei gleicher Einstrahlung geringer, da mehr Wärme an die Umgebung abgegeben wird. Auch wenn die Windgeschwindigkeit höher ist, ist der Wirkungsgrad herabgesetzt (Antony et al., 2004, S. 4–18).

### **3 Gewächshäuser**

Weltweit werden in Gewächshäusern Kulturen wie Zierpflanzen und Gemüse angebaut. Um immer die optimale Temperatur für die einzelnen Kulturen zu haben benötigt das Gewächshaus vermehrt Heizungsanlagen. Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten ein Gewächshaus zu erwärmen. Wegen der steigenden Heizkosten wird versucht Treibhäuser mit anderen Heizmitteln zu beheizen als mit den teureren Varianten wie Heizöl oder Gas. Auch Dämmung der Gewächshaushülle ist eine Möglichkeit Heizkosten zu senken. Da die Pflanzen Licht benötigen, ist es jedoch nur begrenzt möglich ein Gewächshaus ohne Beeinträchtigung von Wachstum und Erscheinungsbild zu dämmen (Jansen et al., 1989, S.38).

#### **3.1 Aufbau von Gewächshäusern**

Im folgenden werden einzelne Parameter eines Gewächshauses betrachtet, wie Bauformen, Heizungssysteme, Verglasung, Möglichkeiten des Dämmen, die damit verbundenen Wärmeübertragungen eines Gewächshauses und mit dem System von einem geschlossene Gewächshaus.

##### **3.1.1 Bauform von Gewächshäusern**

Gewächshäuser können nach unterschiedlichen Bauweisen konstruiert sein.

Das **deutsche Normgewächshaus** DIN 11536 entwickelt 1971 kann unterschiedlich groß ausfallen. Das Gewächshaus steht auf einer Rahmenkonstruktion welche aus Bindern (die Kraft und Last auf das Fundament übertragen) , Pfetten (tragende Konstruktion des Daches) und Sprossen gebildet wird. Die Glasscheiben oder Kunststoffplatten werden in der Rahmenkonstruktion befestigt. Die Stehwände haben eine Höhe zwischen 2,30 – 2,60 Metern. Die Breite kann zwischen 3 – 18 Metern (jeweils in 3 Meterschritten) liegen. Durch eine Blockbauweise können mehrere Gewächshäuser aneinander gereiht werden. Dabei teilen sich zwei Gewächshäuser eine Stehwand.

**Venlo-Gewächshäuser** sind eine günstige Form des Unterglasbaus. Meist verfügen die Treibhäuser mit dieser Bauform über Punktfundamente. Getragen wird die Konstruktion von Ständern mit Gitterunterzügen. Die Stehwände sind zwischen 3 – 6 Meter hoch. Durch eine standardisierte Bauweise sind unterschiedliche Gewächshausgrößen möglich. Wegen der Blockbauweise werden häufig mehrere Blöcke nebeneinander ohne

Abgrenzung aufgebaut.

Das **Cabrio-Gewächshaus** hat die Fähigkeit, sein Dach fast komplett zur Seite zu bugsieren. Je nach verbautem Material wird das Dach aufgeklappt, abgerollt oder weggeschoben. Es kann eine Freilandsituation für die Pflanzen simuliert werden. Dies hilft bei Abhärtung bestimmter Pflanzenarten.

### **3.1.2 Heizungssysteme von Gewächshäusern**

Der Heizkessel kann mit Öl, Gas, Kohle (wie z.B. Anthrazit) oder Holzpellets betrieben werden. Wärmepumpen können die Wärme aus dem Boden nutzen und dem Gewächshaus die gewünschte Temperatur liefern. Die Brennstoffe besitzen unterschiedliche Preise.

Die Heizkörper im Gewächshaus haben unterschiedliche Größen und unterschiedliche Vorlauftemperaturen. Je größer die Oberfläche der Heizkörper ist, desto geringer können die Vorlauftemperaturen sein. Die Vorlauftemperaturen hängen außerdem von der gewünschten Temperatur im Gewächshaus ab und von der Außentemperaturen. Wichtig ist, dass die Wärme im Gewächshaus möglichst gleichmäßig verteilt wird. Es kann zwischen Rohr- und Luftheizungen unterschieden werden.

**Rohrheizungen** geben die Hälfte der Wärme über Konvektion und die anderen Hälfte über Strahlung ab. Die Wärmestrahlung wird in alle Richtung abgegeben, wenn kein besonderer Reflexionsschirm vorhanden ist. Die warme Luft wird bei freier Konvektion nur nach oben abgegeben. Deshalb empfiehlt es sich einen Reflexionsschirm einzubauen sowie einen Ventilator um die warme Luft vom oberen zum unteren Gewächshausbereich zu bringen. Durch die Anordnung der Heizungsrohre werden die Systeme unterschieden. Wenn die Heizungsrohre an der Stehwand entlanglaufen, wird das System als Stehwand- oder Wandrohrheizung bezeichnet. Bei Heizungsrohren im Dachraum, wird das System als hohe Rohrheizung bezeichnet. Mit Untertischheizung werden Heizungsrohre unter dem Tisch bezeichnet. Heizungsrohre im Pflanzenbereich werden Vegetationsheizung und im Boden verankerte Heizungsrohre werden Bodenheizung genannt.

**Luftheizungssysteme** geben zu 90% die Wärme über Konvektion ab. Es gibt Deckenluftheizer, die im Dachbereich hängen, Konvektoren, Luftheizer mit Folienschlauch und Strahluftheizer. Außer bei den Konvektoren wird die Wärmeabgabe durch erzwungene Konvektion übertragen. Das heißt, es muss ein Gebläse vorhanden sein (Tantau, 1983, S.181ff).

### 3.1.3 Wärmeübertragung bei Gewächshäusern

Generell lässt sich Wärme durch Wärmeleitung, Konvektion und Strahlung übertragen. Im Gewächshaus kommt ein Wärmeaustausch durch Kondensation bzw. Verdunstung und Luftwechsel dazu. In Abbildung 6 sind die Wärmeströmungen eines Gewächshauses zu erkennen.

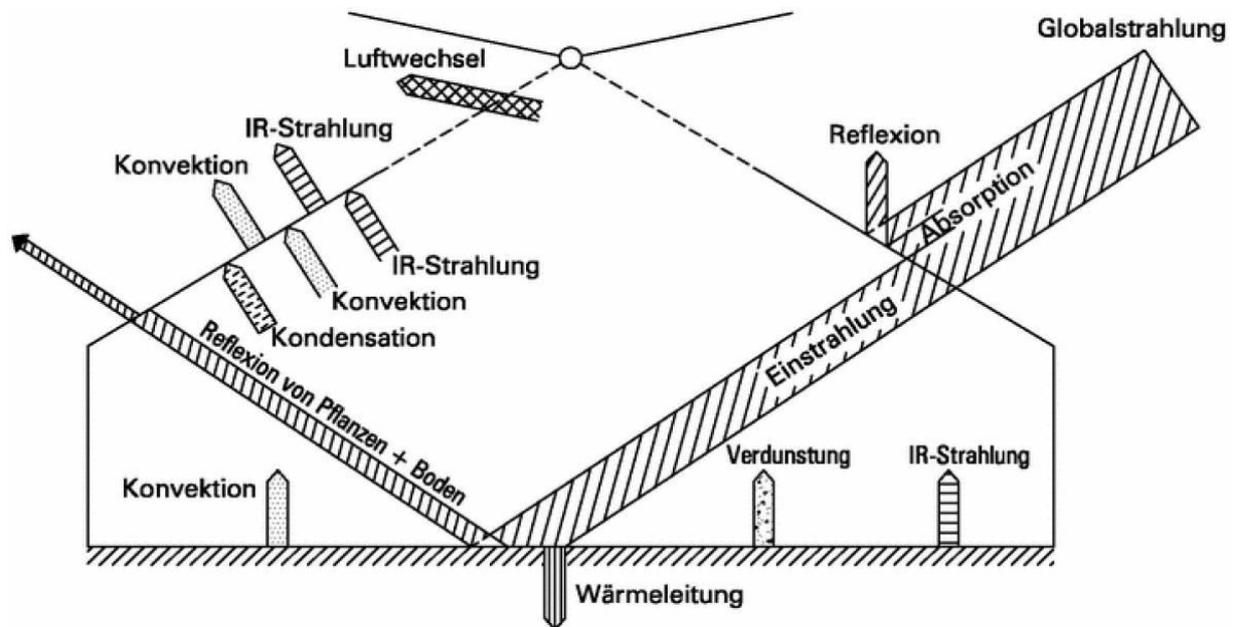


Abbildung 6: Wärmeströme eines Gewächshauses. Quelle: Meyer, Pietzsch, 2010 , S.5

Für das Gewächshaus lässt sich der entsprechende Wärmebedarf in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren errechnen. Dabei gilt die folgende Formel:

$$Q = k' \cdot A_G \cdot (t_i - t_a)$$

Dabei bedeutet

Q: Wärmebedarf (in W),

k': Wärmebedarfskoeffizient (in W/m<sup>2</sup>·K),

A<sub>G</sub>: Gewächshausoberfläche (in m<sup>2</sup>),

t<sub>i</sub>: Innentemperatur im Auslegungsfall (in °C) (z.B. bei Berücksichtigung einer Nachtabsenkung),

t<sub>a</sub>: Außentemperatur nach Klimakarte der EN 12831 (früher DIN 4701) in °C.

Der Wärmebedarf wird unterteilt in einen Transmissionswärmebedarf Q<sub>T</sub> und einen Lüftungswärmebedarf Q<sub>L</sub>. Der Transmissionswärmebedarf ist abhängig von dem

Bedachungsmaterial und der Lüftungswärmebedarf vom Luftwechsel z.B. durch Undichtigkeiten des Gewächshauses (Tantau, 1983, S.176ff).

### **3.1.4 Wärmedämmung des Gewächshauses**

Um den Wärmedurchgang und damit die Heizkosten zu verringern gibt es die Möglichkeit das Gewächshaus zu dämmen. Allerdings ist dies nicht in dem Maße möglich wie bei einem Einfamilienhaus. Durch den Bedarf der Kulturen an Licht, muss darauf geachtet werden, dass trotz Isolierung noch genauso viel Licht in das Treibhaus eingestrahlt werden kann.

Durch abgerutschte oder abgebrochene Scheiben, schlecht schließende oder gar nicht schließende Lüftungsklappen, undichte Verkittungen oder Türen und Tore, die sich nicht richtig schließen lassen, kann der Luftwechsel ungewollt steigen und somit viel Wärme verloren gehen.

Mit Hilfe von Noppenfolie lässt sich an den Stellen wo sie angebracht ist eine Energieersparnis von bis zu 30% erreichen vorausgesetzt diese wird richtig befestigt. An Giebel und Stehwand wird die Noppenfolie installiert (KTBL, 2001, S.1).

Eine weitere Form der Isolierung an den Stehwänden kann lichtundurchlässiges Material in Höhe von 1 Meter vom Fußboden aus sein. Bei Tischkulturen entsteht daraus kein Problem durch die Minderung der Sonneneinstrahlung. Es sollte ein Material verbaut werden, welches Wasserdampf undurchlässig ist. Falls sich das Material mit Wasser sättigt, ist der Isoliereffekt gleich Null. Das Material könnten z.B. Polystyrol-Platten sein.

Das Fundament ist eine weitere energetische Schwachstelle. Hier kann ebenfalls mit einem Feuchte beständigen Polystyrol und aufgehäuften Erdreich isoliert werden. Diese Möglichkeiten der Isolierung sind temporär, da alle Materialien regelmäßig erneuert werden müssen. Eine Beständigere Wärmedämmung wird erreicht durch beschichtete Gläser, aber auch doppelt oder mehrfach bedeckte Gläser können helfen. Beschichtete, einfach verglaste Scheiben, wie z.B. AgriPlus Scheiben, können die vorherige Verglasung ersetzen. Das Glas ist mit Zinnoxid oder ähnlichen Materialien beschichtet. Dadurch kann über die Verglasung die Abgabe der Wärmestrahlung um bis zu 20% reduziert werden. Bei feuchter Oberfläche des Glases wird der Einspareffekt nicht erreicht. Die Lichtdurchlässigkeit ist etwas geringer als bei herkömmlichen Gläsern.

Stegdoppel-, -dreifachplatten und Isolierglas haben einen deutlich höheren Effekt an

Energieeinsparung. Allerdings besitzen sie eine Verminderung der Lichtdurchlässigkeit von bis zu 8%. Bei Plexiglas-Stegdoppelplatten lassen sich ähnliche Werte wie mit Glas erreichen. Die Umrüstung auf solch eine Form von Dämmung ist teuer, da nicht nur die Abdeckung erneuert wird und höhere Kosten verursacht, sondern auch alle Sprossen und Abschlussprofile ersetzt werden müssen. Deshalb muss genau berechnet werden, ob sich dieser Umbau lohnt oder ob diese Effizienz sich nur bei Neubauten verdient macht.

Mit Luft gefüllte Doppelfolie kann zwischen 30-40% Energieeinsparungen bringen (KTBL, 2001, S.4). Bei älteren Gewächshäusern lohnt sich diese Umrüstung. Es werden die alten Scheiben, die Sprossen und die Abschlussprofile demontiert. Um die Folie zu schützen, werden alle Teile, mit denen die Folien in Berührung kommen könnten, mit Schaumstoffstreifen abgeklebt oder mit weißer Farbe bestrichen. Zwischen die beiden Folien wird Außenluft mit Hilfe eines Gebläse gedrückt. Die Lichtdurchlässigkeit der Doppelfolie ist gut. Durch die hohe Dichtigkeit der Folien entsteht eine höhere Luftfeuchtigkeit und ein Abfall der CO<sub>2</sub>-Konzentration. Der Wasserdampf kondensiert schneller durch die hohe Hüllflächentemperatur. Somit können Tropfen an der Innenseite der Folie entstehen. Daraus folgt eine Minderung der Lichtdurchlässigkeit und Tropfenfall auf die Kulturen. Bei Installation von Antitautfolie auf der Innenseite kann dieser Vorgang fast vollständig verhindert werden (KTBL, 2001, S.2ff).

Nachts können die sogenannten Energieschirme eingezogen werden. Das bedeutet, es wird ein kleinerer Raum im Gewächshaus geschaffen. Der Energieschirm wird an Giebel- und Stehwand installiert. Durch Energieschirme kann eine Einsparung bis zu 30% erreicht werden (Landkreis Göppingen, o.J.). Es können bis zu drei Energieschirme bzw. Schattierungen eingebaut werden um eine optimale Energieersparnis zu den passenden Tageszeiten zu bekommen. Durch den Einbau der Energieschirme entsteht eine Minderung der Lichteinstrahlung (Tantau, 2011, S.10).

### **3.1.5 Geschlossenes Gewächshaus**

In einem geschlossenen Gewächshaus wird die Luft aufbereitet, gekühlt, erwärmt, entfeuchtet und bei Bedarf mit CO<sub>2</sub> angereichert. Das Gewächshaus muss gut isoliert werden. Kulturen im Gewächshaus kühlen die Umgebung durch Verdunstung. Dabei entsteht eine erhöhte Luftfeuchtigkeit, wenn kein Luftwechsel im Gewächshaus geschieht. Deshalb muss in geschlossenen Gewächshäusern die Luft entfeuchtet werden. Wateryg, ein Projekt des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie entwickelt

Luftentfeuchter für Gewächshäuser. Bei der Entfeuchtung der Luft kann Wasser zurückgewonnen werden. Damit kann der Wasserverbrauch um bis zu 90% gesenkt werden. Energiesparender ist die geschlossene Betriebsweise durch die Transpiration der Kulturen und die damit zusammen hängende Kühlleistung. Mit einer erhöhten CO<sub>2</sub> Anreicherung kann die Photosyntheseleistung gesteigert werden und somit ein höherer Ertrag der Pflanzen erzielt werden. Das geschlossene Gewächshaus ist zur Außenwelt abgeschirmt, deshalb können Kulturen fast pestizidfrei angebaut werden (Watergy, o.J.).

### **3.2 Energiebedarf von Gewächshäusern**

Die Bedeutung des Energiebedarfs eines Treibhauses ist sehr komplex, denn sie hängt von vielen verschiedenen Faktoren ab, wie im Abschnitt 3.2.3 beschrieben. Im Folgenden werden die zahlreichen Faktoren nicht einzeln berücksichtigt, es wird ein durchschnittlicher Wert betrachtet. Eine weitere Schwierigkeit ist, dass in den meisten Betrieben keine Aufzeichnung stattfindet, die belegt, wann der Energiebedarf bei jedem einzelnen Gewächshaus wie hoch ist. Die Tabellen, die auf Seite 7-11 im Anhang zu finden sind, geben den Energiebedarf pro Woche und pro Jahr von 3 ausgewählten Beispiel-Gewächshäusern in Hamburg wieder.

## **4 Stand der Technik**

Rund 3 700ha landwirtschaftlich unter Glas bewirtschaftete Fläche sind in Deutschland erfasst. Das sind 1,8% der gesamten landwirtschaftlichen Flächen; die restlichen 98,2% werden auf dem Freiland bewirtschaftet (Gurrath, 2006, S5). Ein signifikanter Anteil der Kosten im Unterglasanbau sind die Heizkosten. Aus diesem Grund wird seit längerem versucht die Heizkosten zu senken, indem Gewächshäuser besser isoliert und günstigere Energiequellen genutzt werden. Der Versuch die Energiekosten zu senken wurde kurz nach der Ölkrise in den siebziger Jahren mit Unterstützung der Regierung durchgeführt. Seit 2009 wurde in Deutschland für 5 Jahre das Projekt ZINEG ins Leben gerufen. Es ist ein Verbund aus vier Versuchsanlagen. Diese Anlagen versuchen, durch verschiedene Kombinationen aus technischer und kulturtechnischer Vorkehrungen die Pflanzenproduktion in Gewächshäusern ohne fossilen Energieträger umzusetzen.

Besonders in den Niederlanden ist der landwirtschaftliche Anbau von Kulturen ein großer Wirtschaftsfaktor, aus diesem Grund unterstützt die Regierung dort vermehrt Projekt zum Thema Gewächshäuser, daraus folgend kommen die meisten Neuheiten aus Holland.

Im Folgenden werden verschiedene innovative Pilotprojekte vorgestellt die sowohl abgeschlossen als auch noch in der Durchführung sind. Das ZINEG Projekt, ein Projekt aus Hamburg und ein innovatives Projekt aus den Niederlanden.

### **4.1 Das Projekt ZINEG**

ZINEG steht für ZukunftInitiative NiedrigEnergieGewächshaus. Das Projekt hat eine fünfjährige Laufzeit vom 01.05.2009 bis zum 30.04.2014. Die Versuchsanlagen stehen in Berlin, Hannover, München/Neustadt und Osnabrück. ZINEG wird unterstützt vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und der Landwirtschaftlichen Rentenbank unter der Hauptverantwortlichkeit des Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) mit Unterstützung der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE). In den Test- Gewächshäusern wird versucht, die CO<sub>2</sub> Emission auf Null zu reduzieren. Alle Versuchsgewächshäuser haben ein Niedertemperaturheizsystem. Durch unterschiedliche technische und kulturtechnische Maßnahmen werden in allen Versuchsanstalten verschiedene Parameter untersucht. An allen Standorten sind sowohl Versuchsanlagen als auch herkömmliche standardisierte Referenzgewächshäuser aufgebaut.

### **Standort Berlin mit einem Kollektorgewächshaus**

Der Schwerpunkt in Berlin liegt auf der Betrachtung von Gewächshäusern mit geschlossener Betriebsweise mit Nutzung solarer Überschussenergie. In dem Gewächshaus werden Gurken und Tomaten kultiviert. Das Treibhaus wird ganzjährig möglichst geschlossen gehalten. Die Glasscheiben des Gewächshauses sind einfach verglast und es wurden mehrlagige Energieschirme eingebaut. Die Wärme, die tags- über in zu großem Maße zur Verfügung steht, wird abgeführt und gespeichert um an Tagen und im Nächten mit Wärmebedarf dem Gewächshaus zugeführt zu werden. Das Gewächshaus wird also als Kollektor benutzt. Es wurden Heizsysteme eingebaut, die mit niedrigen Vorlauftemperaturen arbeiten (ZINEG, O.J.).

### **Standort Hannover mit einem maximal gedämmten Gewächshaus**

In der Versuchsanstalt Hannover liegt der Bearbeitungsschwerpunkt auf der maximalen Wärmedämmung eines Gewächshauses mit Topfpflanzen als Kulturen. Das Gewächshaus soll geschlossenen betrieben werden. Genau wie in Berlin wird überschüssige Wärme gespeichert und bei Bedarf verwendet. Das Gewächshaus hat als Dachbedeckung Isolierglas 20mm mit Antireflexbeschichtung und Argonfüllung sowie Stehwände mit Steg-Vierfachplatten. Es wurden drei Energieschirme eingebaut aus verschiedenen Materialien. Der 1. Schirm aus lichtdurchlässigem Material (Tagesenergieschirm), der 2. Schirm aus Gewebe mit Aluminium und der 3. Schirm aus Material das verdunkelt. Um weitere Energie einsparen zu können, wurden angepasste Kulturen gewählt.

### **Standort München/Neustadt mit einer Maximalisolierung und CO<sub>2</sub>-neutrale Heizung**

In Neustadt ist das Ziel, einen möglichst geringen Wärmebedarf zu haben und eine CO<sub>2</sub>-neutrale Energieversorgung zu erlangen bei Gemüsekulturen im Unterglasanbau. Um die maximale Wärmedämmung zu bekommen, wurden Mehrfachfolieneindeckungen verbaut sowie ein Energieschirm. Es wurde ein Speicher unmittelbar neben dem Treibhaus aufgebaut. In diesem Speicher wird die überschüssige Wärme von dem Heizkessel eingespeist. Der Heizkessel wurde bewusst zu klein dimensioniert um die Investitionskosten gering zu halten. Durch eine Management-Strategie werden der Mangel und die Überschüsse des Heizkessels über den Wärmespeicher geregelt.

### **Standort Osnabrück mit einem Gewächshaus mit Wärmeschutzverglasung**

Dieses Versuchs-Gewächshaus wurde mit Wärmeschutzverglasung ausgestattet. Die Hauptbetrachtungspunkte liegen auf den technischen Aspekten zur Minimierung der

Luftfeuchtigkeit sowie der Kompensation des Lichtangebotes. Sowohl das Referenzgewächshaus als auch die Versuchsanlage haben einen konventionellen Energieschirm und eine Schattierung an der Stehwand. Es wurden zwei verschiedene Pflanzenkulturen ausgesucht, welche beide den gleichen Wärmebedarf aufzeigen allerdings unterschiedliche Lichtbedürfnisse.

Die Ökonomie der Versuchsanlagen wird ebenfalls betrachtet. Dabei werden drei Punkte untersucht.

1. Die Verbindung zwischen ökonomischer Systembewertung und einer ökologischen Bewertung gründend auf Stoff- und Energiebilanzen.
2. Die Untersuchung des Adoptionsverhaltens und die Bestimmung der strukturellen und betrieblichen Voraussetzung für die Anwendung solcher Systeme in Betrieben.
3. Es sollen Programme entwickelt werden für Auffindung von Sollwertbereichen und Führungswertstrategien sowie zur Kopplung ökonomischer, technischer und pflanzenbaulicher Vorgaben.

Ergebnisse liegen in Hannover, Berlin und im Bereich der Ökonomie vor. Allerdings sind dies keine abschließenden Ergebnisse. In Hannover waren die ersten angepflanzten Begonien in einem Niedrigenergiegewächshaus ein voller Erfolg, genauso wie in Berlin die erste Tomaten ernte im Kollektorgewächshaus sehr positiv im Vergleich zum Referenzhaus ausgefallen ist (ZINEG,O.J.).

#### ***4.2 Hamburg/Fünfhausen Solarkollektoren und Wärmepumpen im Gartenbau***

Eine Untersuchung von 1980-1983 wurde in Hamburg/Fünfhausen über Solarkollektoren und Wärmepumpen im Gartenbau durchgeführt. Finanziert wurde das Projekt im Rahmen des Programmes für Zukunftinvestitionen (ZIP) von der Stadt Hamburg.

Das System ist regeltechnisch so geschaltet, dass zuerst die Solarwärme genutzt wird. Wenn diese nicht ausreicht, wird die Wärme aus einem Wasser/Wasser-Wärmepumpensystem genutzt. Die Solarthermieanlage besteht aus 104 Kollektoren. Ein Kollektor besteht aus je 2m<sup>2</sup> Absorberfläche, welche in Südrichtung aufgestellt wurde, mit einem Neigungswinkel von 45°. Es wurden zwei Wärmespeicher mit 15m<sup>3</sup> Fassungsvermögen aufgebaut. Zu der Wasser/Wasser-Wärmepumpe gehört ein weiterer Pufferspeicher von 15m<sup>3</sup>. Das Gewächshaus wurde mit einer Doppelverglasung versehen,

um den Wärmebedarf zu reduzieren. Das Gewächshaus ist in drei Kulturbereiche mit je 145m<sup>2</sup> aufgeteilt. Ein Bereich ist der Maschinenraum. Die Kulturen werden mit Niedertemperaturheizsystemen wie Vegetationsheizung, Stehwandkonvektoren und Luftheizern beheizt. Zur Belüftung gibt es Stehwandlüftungen, welche nur manuell betätigt werden können und Firstlüftung, welche mit der Heizungsregelung gekoppelt ist.

Während des Versuches wurden verschiedene Parameter getestet, die entscheidenden Einfluss auf die Versuchsanlage nehmen konnten. Es wurde die Globalstrahlung, Windgeschwindigkeit, Temperatur, relative Luftfeuchte, CO<sub>2</sub> – Gehalt der Luft und die Durchflussmenge gemessen.

Eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurde anschließend durchgeführt. Die Amortisationszeit der Solaranlage wurde auf Grund des hohen Investitionspreises mit 54 Jahren ermittelt. Die Amortisationszeit der Wasser/Wasser-Wärmepumpenanlage hängt vom Kosten-Nutzen-Verhältnis ab. Die Nutzung einer solchen Wärmepumpe ist gegeben, wenn Niedertemperaturheizsysteme eingebaut werden, da dadurch die Vorlauftemperatur maximal 60°C beträgt (Schradieck, E.-P., 1983, S.7ff).

### **4.3 Gewächshaus mit Aquifer-Speicher**

In den Niederlanden steht ein Gewächshaus, welches mit Hilfe eines saisonalen Speichers die überschüssige Wärme aus dem Sommer für die Winterperiode speichert. Die Firma Bijo in Gravenzende in Holland hat ein Gewächshaus, welches durch technische Ansatzpunkte das gesamte Jahr mit erneuerbare Energien beheizt werden kann. Das Gewächshaus ist 2,6 ha groß und speichert die Wärme im Erdboden. Die Wärme wird in 170 bis 200 m Tiefe gepumpt (Abbildung 7). Dort ist der Erdboden sandig und mit Grundwasser gesättigt. Die Aquiferschicht speichert die Wärme. Wenn der Speicher beladen ist, kann mit 18°C die Wärme aus dem Boden gepumpt werden und mit Hilfe einer Wärmepumpe auf bis zu 55°C erwärmt werden. Das Gewächshaus wird geschlossen betrieben. Im Sommer wird mit den geringen Temperaturen die zu dieser Zeit im Grundwasser vorherrschen das Gewächshaus gekühlt und heizt gleichzeitig das Grundwasser/den Speicher auf. Im Gewächshaus wurde ein Niedertemperaturheizsystem eingebaut. Dieses System beheizt das Treibhaus zu 99%. Die Anlage hat 8 Millionen Euro gekostet. 40% der Kosten wurden von einem staatlichen Förderprogramm für innovative Heizungssysteme der Niederlande übernommen. Laut Innogrow, die Firma die diese geschlossenen Gewächshäuser baut, ist solch eine Anlage nach 8 Jahren amortisiert

(Eppenberger, D., 2009, S.21ff). Risiken bei Aquiferspeicher können sein, dass nicht an jedem Standort, immer alle geologischen Beschaffenheiten gegeben sind, die benötigt werden. Probleme die auftreten können sind:

- nicht in jede Tiefe kann gebohrt werden
- die Grundwasserströmung kann zu groß sein und somit bleibt die Wärme nicht mehr im Bereich des Speichers erhalten (Menke, Hoffmann, Zutz, 2009, S.1).

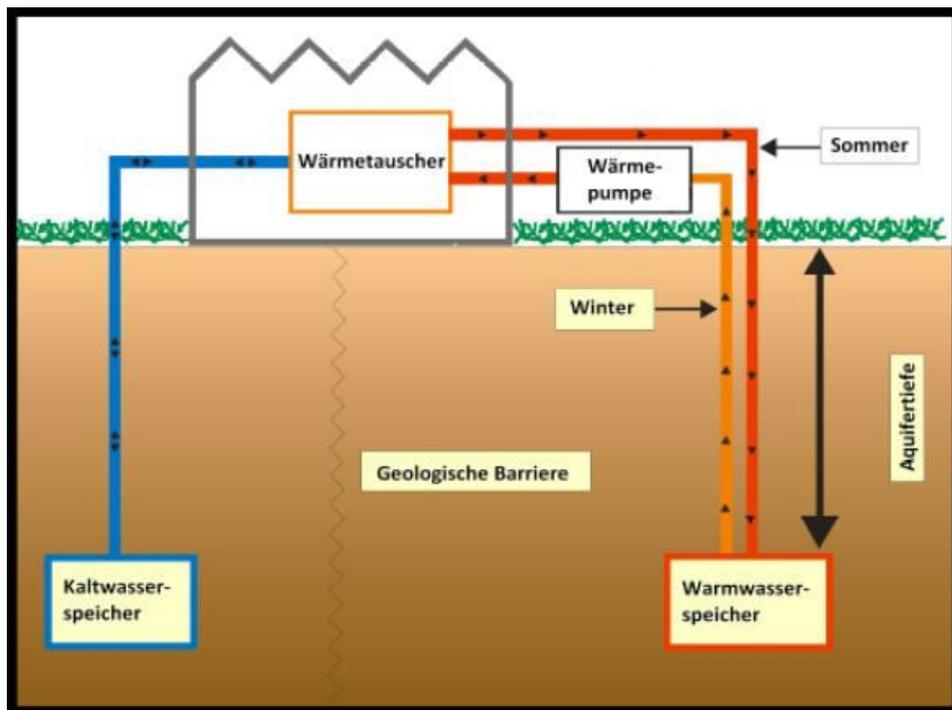


Abbildung 7: Energetische Bewertung eines geschlossenen Gewächshauses mit Aquiferspeicher. Quelle: (Menke, Hoffmann, Zutz, 2009, S.1)

## **5 Betriebe im Umland von Hamburg**

Für die Machbarkeitsstudie wurden drei Betriebe ausgewählt. Die drei landwirtschaftlichen Betriebe unterscheiden sich in Bezug auf den Wärmebedarf und den benutzten Brennstoffen. Die landwirtschaftlichen Betriebe sind bewusst ausgewählt worden, um einen möglichst umfangreichen Überblick über die Wirtschaftlichkeit von Solarthermieanlagen zu geben. Die Betriebe befinden sich in der Umgebung von Hamburg in den Vierlanden. Die Vierlande bestehen aus den vier Stadtteilen Kirchwerder, Curslack, Neuengamme und Altengamme. Die Landwirtschaft dort begann im 17. Jahrhundert mit dem Anbau von Hopfen und Gerste. Heute werden Obst, Gemüse und Zierpflanzen kultiviert und auf den Hamburger Märkten verkauft. Bei den Besuchen wurden die realen Objekte besichtigt und bestehende Daten aufgenommen: beheizte Fläche unter Glas, Verbrauch von Brennstoffen für die Beheizung der Treibhäuser, Wirkungsgrade der Heizkessel und Pflanzenarten. Die Betriebe werden mit Betrieb 1 - 3 bezeichnet, um die Anonymität der Landwirte zu gewährleisten.

### **5.1 Bestandsaufnahme der Betriebe**

Im folgenden Abschnitt wird eine Bestandsaufnahme der drei Betriebe vorgelegt. Die jeweiligen Wirkungsgrade der verschiedenen Heizkessel wurden von den Landwirten angegeben. Im Anhang sind von Betrieb 1 und 2 ein Grundriss abgebildet (siehe S. 5-6). Für Betrieb 3 ist kein Grundriss vorhanden, da es keinen Grundriss dieses Betriebes gibt.

#### **Ist-Stand Betrieb 1**

Betrieb 1 hat einen Öl- und Gaskessel. Je nachdem welcher Rohstoff kostengünstiger ist, wird entweder der Ölkessel oder Gaskessel zum Heizen verwendet. Der Heizölkessel reicht im Winter zur Deckung des Wärmebedarfs nicht aus. In dieser Jahreszeit muss der Gaskessel mit hinzugezogen werden. Im Frühjahr und Herbst liegt die Vorlauftemperatur der Heizung bei 60°C und im Winter aufgrund der geringen Außentemperaturen bei 65°C bis 70°C. Auf lange Sicht gesehen soll die Ölheizung aufgrund schlechter Wirtschaftlichkeit nicht mehr betrieben werden. Somit steht der 60 000l Öltank als Pufferspeicher für eine Solarthermieanlage zur Verfügung. Es sind drei verschiedene Heizkörpersysteme in den Gewächshäusern vorhanden. Die Vegetationsheizung, die hohe Rohrheizung und die Stehwandheizung. In den Gewächshäusern sind Energieschirme eingebaut. Hauptsächlich pflanzt dieser Betrieb verschiedene Rosenarten an. Der Wirkungsgrad des

Ölkessels liegt bei ungefähr 90%, der des Gasheizkessels bei 93%. Bei Berücksichtigung der Verluste an den Rohrleitungen kann ein Wirkungsgrad von 85% bzw. 90% angenommen werden (Elotec, 0.J.).



Abbildung 8: Gewächshaus aus Betrieb 1

Betriebe 2 und 3 haben die Gewächshäuser ähnlich strukturiert.

Beheizte Grundfläche	3140m <sup>2</sup>
Anzahl der Gewächshäuser mit jeweiliger Grundfläche	Gewächshaus 1: 270m <sup>2</sup> Gewächshaus 2: 310m <sup>2</sup> Gewächshaus 3: 760m <sup>2</sup> Gewächshaus 4: 720m <sup>2</sup> Gewächshaus 5: 450m <sup>2</sup> Gewächshaus 6: 450m <sup>2</sup>
Jahresbedarf Öl 2010	10 000l
Wirkungsgrad des Ölkessels	85%
Jahresbedarf Gas 2010	35824m <sup>3</sup>
Wirkungsgrad des Gaskessels	90%

Tabelle 1: Daten vom Ist-Zustand von Betrieb 1

### **Ist-Stand Betrieb 2**

Betrieb 2 heizt seine Gewächshäuser mit Holzpellets. Im Frühjahr und Herbst liegt die Vorlauftemperatur bei 55°C und im Winter bei 60-80°C. Der Holzpelletbrennkessel lädt einen Pufferspeicher mit einem Volumen von 20 000l auf. In diesem Betrieb sind zwei verschiedene Heizkörperarten vertreten, einmal die Vegetationsheizung und die hohe Rohrheizung. In fast allen Gewächshäuser sind Energieschirme vorhanden. In den Gewächshäusern ohne Energieschirme hängen übergangsweise Fleecegewebe. Die meisten Gewächshäuser sind mit AgriPlus Fernstern verglast. In diesem Betrieb werden überwiegend Tulpen gezüchtet. Der Kesselwirkungsgrad von Holzpelletkesseln liegt über 90%; mit Verlusten der Rohrleitungen kann ein Wirkungsgrad von 90% angenommen werden (Bundesanstalt für Landtechnik in Wieselburg, o.J).

Beheizte Grundfläche	2889m <sup>2</sup>
Anzahl der Gewächshäuser mit jeweiliger Grundfläche	Gewächshaus 1: 65m <sup>2</sup> Gewächshaus 2: 264m <sup>2</sup> Gewächshaus 3: 366m <sup>2</sup> Gewächshaus 4: 844m <sup>2</sup> Gewächshaus 5: 350m <sup>2</sup> Gewächshaus 6: 440m <sup>2</sup> Gewächshaus 7: 280m <sup>2</sup> Gewächshaus 8: 280m <sup>2</sup>
Jahresbedarf Holzpellets 2010	200t
Wirkungsgrad des Holzpelletkessel	90%

Tabelle 2: Daten vom Ist-Zustand von Betrieb 2

### Ist-Stand Betrieb 3

Der Brennstoff für die Gewächshäuser im Betrieb 3 ist Anthrazitkohle. Anthrazitkohle besitzt einen hohen Heizwert (siehe S. 35). Die Vorlauftemperatur liegt in der Übergangszeit also im Frühjahr und Herbst bei 35°C. Im Winter liegt die Vorlauftemperatur bei 60-70°C. Die Vegetationsheizung wird im Winter genutzt, um direkt an der Pflanze zu heizen. Die Oberrohrheizung wird im Sommer angeschaltet, um die Luftfeuchtigkeit geringer zu halten. 3 650 m<sup>2</sup> sind einfach verglast die restlichen 6 000m<sup>2</sup> sind mit AgriPlus Gläsern verglast. Hauptsächlich werden Gerbera angepflanzt, aber auch Schnittgrün, Christrosen,, Winterrosen und Hortensien. Der Kesselwirkungsgrad liegt bei ungefähr 90%. Nach Abzug der Verluste kann ein Wirkungsgrad von 85% angenommen werden (Omnical, o.J.).

Beheizte Grundfläche	9 650m <sup>2</sup>
Anzahl der Gewächshäuser mit jeweiliger Grundfläche	Gewächshaus 1: 6500m <sup>2</sup> Gewächshaus 2: 200m <sup>2</sup> Gewächshaus 3: 200m <sup>2</sup> Gewächshaus 4: 650m <sup>2</sup> Gewächshaus 5: 800m <sup>2</sup> Gewächshaus 6: 800m <sup>2</sup> Gewächshaus 7: 500m <sup>2</sup>
Jahresbedarf Anthrazitkohle 2010	350t
Wirkungsgrad des Anthrazitkohlekessel	85%

Tabelle 3: Daten vom Ist-Zustand von Betrieb 3

## **5.2 Anforderung/Heizbedarf der Betriebe und Möglichkeit der Unterstützung durch Solarthermie**

Für die vorgestellten 3 Betriebe wird im Folgenden jeweils die Wirkung von 2 Solarthermieanlagen mit unterschiedlich großer Fläche durch gespielt. In Betrieb 2 und 3 werden die Gewächshäuser sowohl im Sommer als auch im Winter beheizt. In Betrieb 1 wird in den Übergangszeiten und im Winter geheizt.

Im Winter ist der Energiebedarf am größten, andererseits der Anteil der Sonneneinstrahlung auf die Kollektoren am geringsten. Im Sommer ist dies genau andersherum. In den Übergangszeiten sollte die Wärmegewinnung von den Kollektoren und der Energiebedarf im Gewächshaus fast ausgeglichen sein.

Um die Gewächshäuser unterstützend mit Solarthermie zu beheizen ist deshalb Folgendes zu beachten: Der Winter wird nicht berücksichtigt, da, wie oben beschrieben, zu wenig Sonneneinstrahlung auf die Erde eintrifft um den Anteil an Energiebedarf zu decken. In den Übergangszeiten sollte der Wärmebedarf überwiegend von der Solarthermieanlage gedeckt werden. Im Sommer sollten nicht zu viele Wärmeüberschüsse verzeichnet werden, da dies nicht wirtschaftlich ist. Deshalb ist es wichtig, bei der Dimensionierung der Anlage darauf zu achten, dass im Sommer nicht zu viele Überschüsse entstehen und dass trotzdem im Frühling und Herbst der größte Teil durch

solare Wärme abgedeckt wird. Die Heizungsanlage sollte so geregelt sein, dass die Solarthermieanlage Vorrang beim Beladen des Pufferspeichers hat und erst wenn diese Wärme nicht ausreicht, der Heizkessel den Pufferspeicher belädt.

Es werden zwar jeweils zwei Solarthermieanlagen mit unterschiedlich großer Fläche von Flachkollektoren betrachtet. Die Kollektoren jedoch haben immer denselben Neigungswinkel von  $30^\circ$  in Südausrichtung auf dem Boden auf einer freien Fläche aufgestellt. Die Fläche der Kollektoren multipliziert mit Drei ergibt die benötigte freie Fläche um die Kollektoren hintereinander aufständern zu können, ohne dass sie sich gegenseitig verschatten. Der Speicher der Solaranlage wird entsprechend der Gewächshausgrundfläche dimensioniert ( $11 \times 1\text{m}^2$ ). Dies entspricht der Dimensionierung aus dem ZINEG Projekt Standort Berlin (siehe S. 24).

Von den drei Betrieben ist bekannt, wie hoch der Heizbedarf im Jahr ist. Um die verschiedenen Jahreszeiten berücksichtigen zu können, muss bekannt sein, wie hoch der Heizbedarf zu welcher Jahreszeit ist. Um dies umrechnen zu können, wird die Tabelle für Hamburg von J. Damrath verwendet (siehe Anhang S. 7-11).

Für die drei Beispielobjekte müssen zunächst die  $\text{kWh/m}^2$  Gewächshaus errechnet werden. Die Wirkungsgrade der Heizkessel geben an, wie viel Energie des Heizkessels im Gewächshaus ankommt, wie viele Verluste entstehen auf dem Weg vom Verbrennen der Brennstoffe zum Erwärmen der Gewächshäuser. Dies muss berücksichtigt werden, da die Tabelle von J. Damrath angibt, wie viel Energie in den Treibhäusern benötigt wird. Die Verluste müssen vom Gesamt Energiebedarf subtrahiert werden. Durch die Auswertung der Tabelle und der Daten der Betriebe kann beurteilt werden, wie viel Energie pro Woche pro  $\text{m}^2$  benötigt wird.

Der Verbrauch an Energie im Gewächshaus ist die eine Seite, die betrachtet werden muss. Andererseits muss beachtet werden, wie viel Sonnenstrahlung auf die Erde tritt, um zu erschließen, wie viel Energie durch die Sonne aufgebracht werden kann (siehe im Anhang Tabellen 1-3 auf S. 2-4). Anschließend kann beurteilt werden, wie hoch der Heizbedarf bzw. der Deckungsanteil der Solarthermieanlage ist.

Der Heizbedarf wird für alle drei Betriebe errechnet. Dabei wird zunächst der Gesamtbedarf der Betriebe mit Kondensation bestimmt. Die Masse der Brennstoffe ( $m$ ) wird mit dem Heizwert der Brennstoffe ( $H_i$ ) multipliziert und das Produkt ist die Energiemenge ( $E$ ).

Anschließend wird die Energiemenge pro m<sup>2</sup> Gewächshaus Fläche ( $E_{m^2}$ ) errechnet. Indem die Energiemenge ( $E$ ) dividiert wird mit der gesamten Grundfläche ( $A_{\text{gesamt}}$ ) in m<sup>2</sup>.

Als nächstes wird der Wirkungsgrad des Heizkessel und der Rohrleitungen berücksichtigt, indem die bekannte Energiemenge pro m<sup>2</sup> ( $E_{m^2}$ ) 100% ist und der fehlende Anteil zum jeweiligen Wirkungsgrad von diesen 100% abgezogen wird. Wenn der Wirkungsgrad bei 85% liegt, müssen 15% von der Energiemenge pro m<sup>2</sup> subtrahiert werden. Damit ist die erbrachte Energiemenge im Gewächshaus bekannt.

Die damit bekannte erbrachte Energiemenge im Gewächshaus ist zu vergleichen mit der Zahl der untersten Zeile aus der Tabelle von J. Dammrath (siehe im Anhang S. 7-11). Um die erbrachten Energiemenge im Gewächshaus pro Woche herauszufinden, sucht man sich in der Tabelle die Spalte heraus, deren in der untersten Zeile angegebener Gesamtwert die geringste Differenz zum eigenen Wert aufweist. Der abschließende Schritt ist, die genauen Energiemengen pro Woche zu berechnen. Zwischen den Zahlen aus der Tabelle von J. Dammrath und den errechneten Energiemengen im Gewächshaus pro m<sup>2</sup> liegt ein prozentuale Differenz. Diese prozentuale Differenz wird zu den Werten der Woche in der gleichen Spalte addiert bzw. davon subtrahiert. Anschließend ist bekannt, wie hoch die benötigte Energiemenge pro Woche pro m<sup>2</sup> im Gewächshaus für den jeweiligen Betrieb ist.

### **Heizenergiebetrag Betrieb 1**

Die Masse des Brennstoffes Öl, 10 000 l, wird multipliziert mit dem Heizwert von Öl, 10kWh/l. Das Produkt ist die aufgewendete Energiemenge mit 100 000 kWh. Die Energiemenge wird dividiert durch die zu beheizende 3140 m<sup>2</sup> Grundfläche und ergibt die benötigte Energiemenge pro m<sup>2</sup> mit 31,85 kWh/m<sup>2</sup> für den Brennstoff Öl. Der Wirkungsgrad beträgt 85%. Die somit im Gewächshaus benötigte Energiemenge beträgt 27,07 kWh/m<sup>2</sup>.

Analog wird die Rechnung für Gas durchgeführt und ergibt mit einem Wirkungsgrad von 90% eine benötigte Energiemenge von 117,32 kWh/m<sup>2</sup>.

Um die gesamte Energiemenge zu ermitteln, müssen bei diesem Betrieb die beiden im Gewächshaus erbrachten Energiemengen addiert werden, die Summe ist 144,39 kWh/m<sup>2</sup>.

Die 144,39 kWh/m<sup>2</sup> haben die geringste Differenz zu der Zahl 120,87 kWh/m<sup>2</sup> aus der Tabelle von J. Damrath (siehe im Anhang S. 10). Die Differenz beträgt 19,46%. Dies wird auf alle Zahlen in der Spalte von 6°C addiert (siehe Tabelle 6 im Anhang auf S. 12) und

entsprechen somit der Durchschnittstemperatur von 6°C. Um auf eine Temperatur von 6°C im Gewächshaus zu kommen, ist eine Energiemenge von 144,39 kWh/m<sup>2</sup> pro Jahr vonnöten.

### **Heizenergiebetrag Betrieb 2**

Die Masse des Brennstoffes Holzpellet, 200 000 kg, wird multipliziert mit dem Heizwert von Holzpellets, 5 kWh/kg. Das Produkt ist die eingesetzte Energiemenge mit 1 000 000 kWh. Die Energiemenge wird dividiert mit der zu beheizenden 2889m<sup>2</sup> Grundfläche und ergibt die benötigte Energiemenge pro m<sup>2</sup> mit 346,14 kWh/m<sup>2</sup>. Der Wirkungsgrad beträgt 90%. Die somit im Gewächshaus benötigte Energiemenge beträgt 311,53 kWh/m<sup>2</sup>.

Die geringste Differenz von 311,53 besteht zu der Zahl 305,25 aus der Tabelle von J. Dammrath (siehe S. 10 im Anhang). Dies bedeutet, dass für Betrieb 2 die Durchschnittstemperatur in den Gewächshäusern ungefähr bei 12°C im Jahr liegt (siehe im Anhang Tabelle 7, S. 13).

### **Heizenergiebetrag Betrieb 3**

Die Masse des Brennstoffes Anthrazitkohle, 350 000 kg, wird multipliziert mit dem Heizwert von Anthrazitkohle, 9,72 kWh/kg (Ruhrkohlen Handbuch,1984). Das Produkt ist die eingesetzte Energiemenge mit 3 402 000 kWh. Die Energiemenge wird dividiert mit der zu beheizenden Grundfläche, 9650 m<sup>2</sup>, und ergibt die benötigte Energiemenge pro m<sup>2</sup> mit 352,62 kWh/m<sup>2</sup>. Der Wirkungsgrad beträgt 85%. Die somit im Gewächshaus benötigte Energiemenge beträgt 299,73 kWh/m<sup>2</sup>.

Die geringste Differenz von 299,73 besteht zu der Zahl 305,25 aus der Tabelle von J. Dammrath. Dies bedeutet, dass die Durchschnittstemperatur ungefähr bei 12°C im Jahr für Betrieb 3 im Treibhäusern liegt (siehe im Anhang Tabelle 8, S. 14).

## **5.3 Lösungsmöglichkeiten**

Um den solaren Deckungsanteil ermitteln zu können muss zunächst der Energiebedarf für jede Woche in einem Jahr für die beheizte Grundfläche eines Betriebes bekannt sein. Der erste Schritt ist die Ermittlung des Gesamtenergiebedarfs pro Woche in jedem Betrieb.

Der Gesamtenergiebedarf pro Woche im Gewächshaus in kWh ist das Produkt aus dem erbrachten Energiebedarf im Gewächshaus pro Woche in kWh multipliziert mit der gesamten Grundfläche des Gewächshauses in m<sup>2</sup>.

Anschließend wird der Solarertrag in kWh ausgerechnet, um zu erfahren, wie viel

Energiemenge durch die Kollektoren eingespart werden kann. Die jeweilige Kollektorfläche wird mit dem Energieertrag der Kollektoren multipliziert und ergibt den Solarertrag. Anknüpfend wird der Solarertrag dividiert durch den Gesamtenergiebedarf pro Woche im Gewächshaus in kWh und das ergibt den solare Deckungsanteil.

Diese Berechnung wird für die zwei jeweils angenommenen Kollektorflächen durchgeführt. Die Quadratmeterzahl der Solarkollektoren wurde bei jedem Betrieb anders ausgewählt, da ein unterschiedlicher Wärmebedarf vorhanden ist. Alle solare Deckungen die über 100% liegen, müssen auf 100% subtrahiert werden, da alles über 100% Überschuss ist. Anschließend ist erkennbar, welche Anlagengröße einen besseren solaren Deckungsanteil hat.

Es ist bekannt, wie viel pro Woche an Energiemenge eingespart werden kann. Die Überschüsse im Sommer werden prozentual zu 100% abgezogen. Es wurde darauf geachtet, dass bei keiner der beiden Kollektorfläche zu hohe Überschüsse entstehen. In allen drei Betrieben ist die jeweils erste Solaranlage so ausgelegt, dass der solare Ertrag pro Wochen nicht über 150% beträgt. Bei der anderen Kollektorfläche ist der solare Ertrag pro Woche nicht über 100%. Die erbrachte Energiemenge der Solaranlage wurde mit einem Neigungswinkel der Kollektorfläche von 30° angenommen, da die Erträge sonst zu gering geworden wären. Für Betrieb 1 wurden eine Kollektorfläche von 10 m<sup>2</sup> und 5 m<sup>2</sup> angenommen, Betrieb 2 40 m<sup>2</sup> und 26 m<sup>2</sup> und Betrieb 3 120 m<sup>2</sup> und 83 m<sup>2</sup> angenommen. Die solaren Erträge sind in den Tabellen 9, 10, 11 abgebildet (siehe Anhang S. 15-19). Graphiken zur Veranschaulichung des Energiebedarfs und Solarertrags sind im Anhang zu finden (siehe S. 20-28). Diese Graphiken mit der Überschrift „Betrieb x Heizbedarf/Solarertrag“ veranschaulichen den Anteil der Solarthermieanlagen am Heizbedarf der Betriebe. Die darauf folgende Graphik ist ein kleiner Ausschnitt aus der vorhergehenden Graphik um einen besseren Einblick für die Sommermonate zu bekommen. In den restlichen Abbildungen ist der Gesamtheizbetrag veranschaulicht aufgeteilt nach dem im jeweiligen Betrieb vorhandenen Brennstoff-Heizbetrag und dem solaren Heizbetrag, ebenfalls mit nachfolgende Graphiken mit einem kleineren Ausschnitt für die Sommermonate.

## **5.4 Bewertung**

Bei einer Solarthermieanlage ergeben sich unterschiedliche Kostenarten die Kapital- und Betriebskosten.

Das Kollektorfeld hat eine Lebensdauer von 20 Jahren. Für die Berechnung wird ein Zinssatz benötigt. Dieser schwankt im Laufe der 20 Jahre, deshalb wird ein aktueller Zinssatz über die KfW-Bank von 5% festgelegt.

## **Kapitalkosten**

Die Kapitalkosten setzt sich aus den Zinsen und der Tilgung der Investitionssumme zusammen. Die Investitionskosten pro m<sup>2</sup> Kollektorfläche werden günstiger, je größer die Anlage wird. Bei Anlagen bis 40m<sup>2</sup> wird von 800€/m<sup>2</sup> ausgegangen. Bei Anlagen um die 80m<sup>2</sup> wird von 700€/m<sup>2</sup> Kollektorfläche ausgegangen. Bei Anlagen um die 120m<sup>2</sup> wird von einer Summe um 600€/m<sup>2</sup> ausgegangen (laut Angaben von Herrn Weyres-Borchert vom SolarZentrum Hamburg am 15.1.2012). Die Investitionskosten können mit Hilfe von Förderprogrammen von Bund und Ländern gesenkt werden.

## **Förderprogramme**

### Bundesförderung

Es gibt derzeit zwei Förderprogramme des Bundes einmal eine Förderung über das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) und zum anderen über die KfW-Bank.

### Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle(BAFA):

Die Förderrichtlinie vom 01.01.2012 geht bei der geförderten Fläche von einer Bruttokollektorfläche, d.h. den Außenmaßen des Kollektors, aus. Die Fördermittel müssen vom Besitzer der Solarthermieanlagen vor dem Bau der Anlage bei der BAFA beantragt werden.

Kleinanlagen, bis 40m<sup>2</sup> Kollektorfläche im Gebäudebestand, bekommen pro m<sup>2</sup> Kollektorfläche einen Zuschuss aus einer Basisförderung von 90€ pro m<sup>2</sup> Kollektorfläche. Im Gebäudebestand können Solaranlagen mit mindestens 20m<sup>2</sup> und maximal 40m<sup>2</sup> Kollektorfläche die Innovationsförderung von 180€/m<sup>2</sup> erhalten, allerdings dann nur die Innovationsförderung und nicht mehr zusätzlich die Basisförderung. Bei Anlagen größer als 40m<sup>2</sup> beträgt die Bundesförderung bis 40m<sup>2</sup> gibt es (als Bundesförderung) für bis zu 40m<sup>2</sup> eine Basisförderung von 90€ pro m<sup>2</sup> Kollektorfläche und für jeden weiteren m<sup>2</sup> eine Förderung von 45€ pro m<sup>2</sup> Kollektorfläche (Innovationsförderung Solar, Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, 2011).

### KfW:

Die Förderung von der KfW muss vom Besitzer der Solarthermieanlage beantragt werden. Solaranlagen mit einer Mindestgröße von 40m<sup>2</sup> Bruttokollektorfläche werden mit einem Tilgungszuschuss von 30% der Nettoinvestitionskosten gefördert. Von der Summe welche als Antrag gestellt wird, werden also 30% erlassen

Außerdem stellt die KfW Zinsen günstige Darlehen zur Verfügung. Dieses Darlehen wird bei der Hausbank beantragt. Die Hausbank stellt den Antrag an die KfW Bank. Dabei können unterschiedliche Zinssätze anfallen, zwischen 2,8 - 7,15%. Der Zinssatz ist abhängig von der Hausbank. Die Hausbank führt ein Rating durch und entscheidet anschließend wie hoch der Zinssatz ausfällt. Für die vorliegende Berechnung wird ein Zinssatz von 5% angenommen.

### Hamburger Förderung

#### Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt(BSU):

Die Förderung ,die es von der Stadt Hamburg gibt, muss vom Handwerkern beantragt werden.

Bei Kleinanlagen bis zu 30 m<sup>2</sup> Aperturfläche (siehe S. 9) im Gebäudebestand werden Solaranlagen mit 100 €/m<sup>2</sup> Aperturfläche gefördert.

Für Solarthermieanlagen mit einer Aperturfläche von mehr als 30 m<sup>2</sup> gibt es eine Förderung von 160 €/m<sup>2</sup> Aperturfläche, allerdings nur, wenn der installierende Fachbetrieb einen Ertrag von 370 kWh/m<sup>2</sup> Aperturfläche zusichert. Dies wird in Form eines Monitoring kontrolliert (Förderprogramm Erneuerbare Wärme, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, 2011, S.3).

### **Betriebskosten**

Für die Berechnung der Betriebskosten werden Versicherungen für die Solaranlage veranschlagt, sowie Instandhaltungs-, Wartungs-, Strom- und Regelungskosten. Dabei kann es sich um eine Versicherung für das Gebäude oder direkt für die Solaranlage handeln. Bei einer Erweiterung der Gebäudeversicherung entstehen mehr Kosten und dies ist abhängig von der Größe des Gebäudes. Bei einer Solarversicherung hängt der Versicherungsbetrag von der Investitionssumme ab. In der Praxis ist es so, dass bislang nur sehr wenige Solaranlage versichert werden (Antony et al., 2004, S.7 -41).

Zu berücksichtigen ist eine Preissteigerung der Brennstoffkosten von durchschnittlich 2%

pro Jahr. Dieser Wert wird berücksichtigt, da eine hohe Laufzeit, der Solarthermieanlage, von 20 Jahren angenommen wird.

Die Instandhaltungs- und Wartungskosten werden nach VDI Richtlinie 2067 auf 1% der Investitionssumme berechnet. In der Realität wird dieser Betrag allerdings nur selten erreicht. Höhere Kosten durch z.B. hochwertigere Anlagenkomponenten sind nicht zwangsläufig mit höheren Kosten der Instandhaltungs- und Wartungskosten gekoppelt. Deshalb scheint ein m<sup>2</sup>-bezogener Ansatz naheliegender. Mit 3,50€/m<sup>2</sup> pro Jahr ist ein realistischerer Wert angenommen.

Betriebskosten der Solaranlage sind Strom für die Pumpen und das Regelsystem des Heizungssystems. Der Verbrauch wird mit 2% bis 5% des Solarertrags pro Jahr angenommen, bei einem Energie-Preis für Strom von mit 20 ct/kWh (Antony et al., 2004, S.7 - 41).

Gerechnet wird mit einer einfachen Kostenvergleichsrechnung.

Aus der Summe der Betriebskosten (B) und Kapitalkosten (Ka), in €, ergeben sich die Gesamtkosten (K).

Instandhaltungs- und Wartungskosten (IW) addiert mit Strom und Regelkosten (SR), in €/a, ergeben die Summe der Betriebskosten (B).

Die Kapitalkosten (Ka) setzen sich aus den Anschaffungskosten (A) nach Abzug der Förderung und den Zinsen ( $i = 5\%$ ) unter Berücksichtigung der Laufzeit ( $n = 20$  Jahre) zusammen.

Die Kapitalkosten werden wie folgt berechnet:

$$K_a = A/n + A/2 \cdot i$$

Der Ertrag (E) ist das Produkt aus dem Ertrag der Solaranlage ( $E_{\text{Solar}}$ ), in kWh/a, und der Brennstoffkosten ( $B_{\text{Brennstoffkosten}}$ ), in ct/kWh.

Aus der Differenz von Gesamtkosten (K) und Ertrag (E) ( $E - K = G$ ) ergibt sich der Gewinn (oder auch der Verlust) (Däumler, 2003, S.162ff).

Die nachfolgenden Tabellen werden auf der Grundlage der im Vorausgehenden beschriebenen Bedingungen (S.36 – 39) ermittelt. Bei allen Szenarien wurde ein Zinssatz von 5% angenommen und eine Laufzeit von 20 Jahre. Die Investitionssumme(siehe S. 37) abzüglich der Fördersumme (siehe S. 37f) ergibt die Anschaffungskosten (A). Die Instandhaltungs-, Wartungs-, Strom-, und Regelkosten wurden nach dem gleichen Prinzip ausgerechnet (siehe S. 38f), genauso wie die Gesamtkosten (K), der Ertrag (E) und die Gewinne bzw. Verluste (G) (siehe S. 39).

Betrieb 1	Ein- heit	Solarthermieanlage mit 10 m <sup>2</sup> Kollektorfläche	Solarthermieanlage mit 5 m <sup>2</sup> Kollektorfläche
1 Kapitalkosten (Ka)			
1.1 Investitionssumme	€	8.000	4.000
1.2 Förderung	€	900 Bund 1.000 Hamburg	450 Bund 500 Hamburg
1.3 Anschaffungskosten(A)	€	6.100	3.050
2 Betriebskosten(B)			
2.1 Instandhaltungs- und Wartungskosten(IW)	€/a	35	17,5
2.2 Strom und Regelungskosten (3,5%) (SR)	€/a	45,05	22,53
3 Solarerträge (E)			
Erträge von der Solaranlage (E <sub>solar</sub> )	kWh/ a	6.436	3.218
Brennstoffkosten (B <sub>Brennstoffkosten</sub> )	ct/ kWh	4,2	4,2
Ergebnisse			
Gesamtkosten (K)	€/a	537,55	268,78
Ertrag (E)	€/a	270,31	135,16
Gewinn (G)	€/a	- 267,24	- 133,62

Tabelle 4: Kostenvergleichsrechnung Betrieb 1

In Tabelle 4 ist die sind die Werte und die Ergebnisse der Kostenvergleichsrechnung für Betrieb 1 abgebildet. Dabei wurden zwei Szenarien durchgerechnet. Bei beiden Szenarien wurde mit dem gleichen Brennstoffpreis, 4,2 ct/kWh gerechnet. Mit zwei unterschiedlichen Kollektorfeldgrößen der Solaranlage von 5 m<sup>2</sup> und 10 m<sup>2</sup>.

Bei Szenario 1 mit der Solarthermieanlagengröße von 10 m<sup>2</sup> Kollektorfeld sind die Gesamtkosten 537,55€/a wenn man den Ertrag von 270,31€/a dagegen rechnet, ergibt das einen Verlust von 267,24€/a. Damit ist das Szenario 1 für Betrieb 1 auch mit einer jährlichen Preissteigerung des Brennstoffes von 2% pro Jahr nicht wirtschaftlich.

Bei Szenario 2 mit einer 5m<sup>2</sup> Kollektorfläche, sind die jährlichen Gesamtkosten 268,78€ gegenüber einem jährlichen Ertrag von 135,16€. Auch dies ergibt einen Verlust von 133,62 € pro Jahr. Diese Solaranlage ist, auch mit 2% Preissteigerung pro Jahr beim Brennstoff, durch die zu hohen Verluste nicht wirtschaftlich.

Betrieb 2	Einheit	Solarthermieanlage mit 40 m <sup>2</sup> Kollektorfläche	Solarthermieanlage mit 26 m <sup>2</sup> Kollektorfläche
1 Kapitalkosten (Ka)			
1.1 Investitionssumme	€	32.000	20.800
1.2 Förderung	€	7.200 Bund 5.520 Tilgungszuschuss 6.400 Hamburg	4.680 Bund 2.600 Hamburg
1.3 Anschaffungskosten(A)	€	12.880	13.520
2 Betriebskosten(B)			
2.1 Instandhaltungs- und Wartungskosten(IW)	€/a	140	91
2.2 Strom und Regelungskosten (3,5%) (SR)	€/a	177,42	117,14
3 Solarerträge (E)			
Erträge von der Solaranlage (E <sub>solar</sub> )	kWh/a	25.345	16.734
Brennstoffkosten (B <sub>Brennstoffkosten</sub> )	ct/kWh	3,2	3,2
Ergebnisse			
Gesamtkosten (K)	€	1.283,42	1.222,14
Ertrag (E)	€	811,04	535,49
Gewinn (G)	€	- 472,38	- 686,65

Tabelle 5: Kostenvergleichsrechnung Betrieb 2

In Tabelle 5 sind Szenario 1 mit 40 m<sup>2</sup> Kollektorfläche und Szenario 2 mit 26 m<sup>2</sup> Kollektorfläche für Betrieb 2 abgebildet. Die Brennstoffkosten liegen bei 3,2 ct/kWh für den Betrieb 2. Mit Hilfe einer Kostenvergleichsrechnung wurde der Gewinn bzw. Verlust der beiden Szenarien errechnet.

In Szenario 1 liegen die Gesamtkosten bei 1.283,42 €/a und der Ertrag bei 811,04€/a. Wenn die beiden Summen subtrahiert werden, ergibt dies eine negative Differenz, d.h einen Verlust von 472,38 €/a. Damit ist die Solarthermieanlage auch mit einer Brennstoff-Preissteigerung von 2% pro Jahr wirtschaftlich nicht rentabel.

In Betrieb 2 mit einer Kollektorfläche von 26m<sup>2</sup> entstehen keine Wärmeüberschüsse. Die Gesamtkosten der Solarthermieanlage betragen 1.222,14€/a. Subtrahiert mit dem Ertrag von 535,49€/a ergibt das eine negative Differenz von 686,65€/a und damit einen Verlust

der Solarthermieanlage, die also auch mit einer Brennstoff Preissteigerung von 2% pro Jahr nicht wirtschaftlich wird.

Betrieb 3	Ein- heit	Solarthermieanlage mit 120 m <sup>2</sup> Kollektorfläche	Solarthermieanlage mit 83 m <sup>2</sup> Kollektorfläche
<b>1 Kapitalkosten (Ka)</b>			
1.1 Investitionssumme	€	72.000	58.100
1.2 Förderung	€	07.200 Bund 13.680 Tilgungszuschuss 19.200 Hamburg	05.535 Bund 11.785,50 Tilgungszuschuss 13.280 Hamburg
1.3 Anschaffungskosten(A)	€	31.920	27.499,50
<b>2 Betriebskosten(B)</b>			
2.1 Instandhaltungs- und Wartungskosten(IW)	€/a	420	290,5
2.2 Strom und Regelungskosten (3,5%) (SR)	€/a	534,87	373,94
<b>3 Solarerträge (E)</b>			
Erträge von der Solaranlage (E <sub>solar</sub> )	kWh /a	76.408	53.420
Brennstoffkosten (B <sub>Brennstoffkosten</sub> )	ct/ kWh	2,16	2,16
<b>Ergebnisse</b>			
Gesamtkosten (K)	€/a	3.348,87	2.726,91
Ertrag (E)	€/a	1.650,41	1.153,87
Gewinn (G)	€/a	- 1.698,46	- 1.573,04

Tabelle 6: Kostenvergleichsrechnung Betrieb 3

In Betrieb 3 liegen die Brennstoffkosten bei 2,16 ct/kWh. Szenario 1 hat eine Kollektorfläche von 120 m<sup>2</sup> und Szenario 2 hat eine Kollektorfeldgröße von 83 m<sup>2</sup>.

In Szenario 1 von Betrieb 3 liegen die Gesamtkosten bei 3.348,87 € pro Jahr. Der Ertrag ist mit 1.650,41 € pro Jahr ungefähr halb so hoch. Somit liegt der Verlust bei 1.698,46 € pro Jahr.

Auch in diesem Szenario wird die Solaranlage bei einer Brennstoffpreissteigerung von 2% pro Jahr nicht wirtschaftlich.

In Szenario 2 in Betrieb 3 mit einer Kollektorfläche von 83 m<sup>2</sup> entstehen Gesamtkosten

von 2.726,91 €/a und ein Ertrag von 1.153 €/a. Die Verluste liegen bei 1.573,04 €/a. Die Verluste sind höher als die Einnahmen pro Jahr. Auch in diesem Szenario wird die Solaranlage bei einer Brennstoffpreiserhöhung von 2% pro Jahr nicht rentabel. Nun wird die Wirtschaftlichkeit der Solarthermieanlage aus Betrieb 3 mit 120m<sup>2</sup> Kollektorfläche betrachtet. Allerdings steigen die Brennstoffkosten auf 10 ct/kWh. Die Gesamtkosten bleiben mit 3.348,87€ bestehen. Die Erträge vervierfachen sich durch die erhöhten Brennstoffkosten auf 7.640,80€. Die Differenz zwischen Gesamtkosten und Erträgen liegt bei 4.291,93€.

Aus der Solarthermieanlage entsteht also im ersten Jahr ein Gewinn von 4291,93€ und durch die jährliche Preiserhöhung des Brennstoffes von 2% pro Jahr würde der Gewinn jährlich steigen.

Die Schlussfolgerung aus dieser Kostenvergleichsrechnung ist, dass die Brennstoffkosten der drei Betriebe zu niedrig sind, damit sich eine Solarthermieanlage amortisieren kann. Bei Brennstoffkosten von 10 ct/kWh ist die Solaranlage nach der Kostenvergleichsrechnung wirtschaftlich. Für Betrieb1 ist zu schlussfolgern, dass im Sommer keine Wärme abgenommen wird und damit der größte Teil der Ertragseinnahmen wegfällt. Im Winter ist der Brennstoffbedarf hoch und kann nicht von der Solaranlage ausgeglichen werden, da die Solarthermieanlage für diesen Brennstoffbedarf zu gering dimensioniert wurde. Das ist eine Folge der geringen Wärmeabnahme im Sommer.

### **Vorteile solarthermischer Heizungsunterstützung**

Durch Nutzung der Solarthermie wird die Umwelt vor CO<sub>2</sub>-Emissionen und Schadstoffen, die bei der Verbrennung entstehen, entlastet. Unternehmen, die zum Teil mit Solarthermie heizen können ein umweltbewusstes Image aufbauen oder pflegen. Dadurch entstehen Wettbewerbsvorteile und Verkaufsvorteile bei umweltbewussten Kunden. Der Marketingeffekt ist nicht unerheblich (Reihnländer et al., 2003, S.5).

Eine Solaranlage lässt keine direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen entstehen. Der indirekte Schadstoffausstoß wird beim Bau der Solarthermieanlage, ebenso wie beim Betrieb und bei der Deinstallation produziert. Ein weiterer positiver Effekt der Solarthermieanlage ist die geräuschlose Betriebsweise.

Im Normalbetrieb der Solaranlage entstehen keine erheblichen Umweltschäden. Bei einer Solaranlage in Normalbetrieb sind die Kollektoren auf einer Freifläche installiert. Dort kann es im Wesentlichen im Bereich des Schattens zu einer Beeinträchtigung des Mikroklimas kommen. Diese Veränderung des Mikroklimas ist vernachlässigbar gering. Bei

Betriebsende der Solaranlage können wichtige Teile der Solarthermieanlage recycelt werden, zum Beispiel beim Kollektor und beim Speicher (Kaltschmitt, Streicher, Wiese, 1989, S.189f).

## 6 Fazit

In dieser Bachelorarbeit wurde für 3 Gartenbaubetriebe die Machbarkeit einer solarthermischen Unterstützung der Gewächshausbeheizung ohne Veränderung von Gewächshaushülle und Heizungsanlage erforscht.

Es wurden Recherchen im Hinblick auf ähnliche Pilotprojekten angestellt und drei Maßnahmen wurden vorgestellt: das ZINEG Projekt mit den vier verschiedenen Standorten und dem Versuch CO<sub>2</sub> neutral Zierpflanzen und Gemüse zu züchten; die Versuchsanlage in Hamburg/Fünfhausen mit einem Versuchsgewächshaus, welches von einer Wärmepumpe und einer Solarthermieanlage beheizt wurde und dabei die Wirtschaftlichkeit der Heizungssysteme überprüfte ; das Gewächshaus in den Niederlanden mit einem Kollektorgewächshaus, das seine Wärme und Kälte in einem Aquifer-Speicher anhäuft.

Nach der Erfassung der Betriebe war die benötigte Brennstoffmenge im Jahr bekannt jedoch nicht im Jahresverlauf. Dies hat zur Folge, dass keine Rückschlüsse gezogen werden können, wie hoch die solare Deckung an Heizungsunterstützung ist. Mit Hilfe einer Tabelle von J. Dammrath (siehe Anhang S. 8,10) und unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades des Heizungssystems, der beheizten Grundfläche, der Brennstoffmenge und des Heizwertes des jeweiligen Brennstoffs (siehe S. 34f) kann ermittelt werden, wie hoch der Energiebedarf im Gewächshaus bei bestimmten Treibhaus-Innentemperaturen ist. Der Energiebedarf und die solare Energiemenge, die durch eine Solarthermieanlage zur Verfügung gestellt wird, konnten anknüpfend verglichen werden. Es wurde festgelegt, wie hoch die Wärmeüberschüsse der beiden Solarthermieanlage im Sommer sein dürfen. Entsprechend wurden die Solaranlagen dimensioniert und im Hinblick auf ihre Wirtschaftlichkeit nach der Kostenvergleichsrechnung bewertet.

Für 3 Betriebe wurde eine Kostenvergleichsrechnung für jeweils zwei unterschiedlich dimensionierte Solarthermieanlagen angestellt, verglichen und bewertet und das Ergebnis war negativ. In allen sechs Szenarien ergab sich ein zu geringer Ertrag gemessen an den herkömmlichen Brennstoffkosten. Die Solarthermieanlagen wurden so dimensioniert, dass die jeweils erste Solaranlage im jeden Betrieb nicht mehr als 150% solare Deckung aufweist und die zweite nicht mehr als 100%. Das heißt, die niedrigen Brennstoffkosten aller 3 Betriebe waren durch eine Solarthermieanlage wirtschaftlich nicht zu unterbieten. Deshalb wurde für Betrieb 3 mit 120m<sup>2</sup> Kollektorfläche die gleiche

Kostenvergleichsrechnung angestellt, diesmal mit angenommenen Brennstoffkosten von 10 ct/kWh statt 2,16 ct/kWh. Dieses Ergebnis der Kostenvergleichsrechnung war positiv mit einem Gewinn im ersten Betriebsjahr von 4.291,93€. Mit einer Preissteigerung für Brennstoffe würde der Gewinn jährlich steigen. Wenn die Brennstoffpreise weiter steigen, könnte die Solarthermieanlage in Zukunft nicht nur eine umweltfreundliche Beheizungsunterstützung in der Landwirtschaft sein, besonders für landwirtschaftliche Betriebe, die das Gewächshaus aufrüsten möchten, sondern auch wirtschaftliche Vorteile bieten.

## Literaturverzeichnis

- Antony, F., Dr. Heidler, K., Hindenburg, C., Kasper, B.-R., Prof. Dr. Quaschnig, V., Spitzmüller, P., Weyres-Borchert, B. (2004). Leitfaden Solarthermische Anlagen. Berlin: DGS, Deutsche Gesellschaft für Solarenergie.
- Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt Hamburg. (2012). Erneuerbare Wärme. Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt Hamburg. <http://klima.hamburg.de/contentblob/3194510/data/foerderprogramm-erneuerbarewaerme.pdf>. Stand: 06.06.2012.
- Bendisch, G. (2008). Was sie über Pelletheizungen wissen sollten, in: Wohnungswirtschaft heute, Dezember 2008, Ausgabe 3, S.1-16.
- Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle. (2011). Basis-, Bonus- und Innovationsförderung Solar, Stand: 15.03.2011. Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle. [http://www.bafa.de/bafa/de/energie/erneuerbare\\_energien/publikationen/energie\\_ee\\_so\\_uebersicht.pdf](http://www.bafa.de/bafa/de/energie/erneuerbare_energien/publikationen/energie_ee_so_uebersicht.pdf). Stand 06.06.2012.
- Bundesanstalt für Landtechnik in Wieselburg (o.J.) Pelletsfeuerung. Bundesanstalt für Landtechnik in Wieselburg. <http://blt.josephinum.at/index.php?id=331>. Stand: 08.07.2012
- Damrath, J., Klein, F. (1983). Gartenbautechnische Informationen – Tabellen zur Heizenergieermittlung von Gewächshäuser - Klima Hamburg. Institut für Technik in Gartenbau & Landwirtschaft: Universität Hannover
- Däumler, K.-D. (2003). Grundlagen der Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung. Harne/Berlin: Neue Wirtschafts-Briefe.
- Eppenberger, D. (2010). Dank High-Tech ganzjährig Bio-Tomaten produzieren, in: Biogemüsefibel 2010, S.21-23.
- Elotec. (o.J.). Ergebnisse Elotec Brennerstartcomputer an folgenden Heizungsanlagen: Buderus, Viessmann. Elotec. [http://elotecelektronik.de/referenz/frequent\\_messergebnisse.html#viessmann](http://elotecelektronik.de/referenz/frequent_messergebnisse.html#viessmann). Stand 08.06.2012
- Gurrath, W. (2006): Ergebnisse der Gartenbauerhebung 2005. Statistisches Bundesamt,

Wiesbaden

- Jansen, H., Bachthaler, E., Fölster, E., Scharpf, H.-C. (1989). Gärtnerischer Pflanzenbau. Stuttgart: Ulmer.
- Kaltschmitt, M., Streicher, W., Wiese, A. (2006). Erneuerbare Energie – Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. Leipzig: Springer - Verlag Berlin Heidelberg.
- Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.(KTBL). (2001). Energieeinsparung durch Wärmedämmung an der Gewächshaushülle. Bonn: Thalacker Medien.
- Landkreis Göppingen. (o.J.). Umweltgerechte Produktion im Gartenbau. Landkreis Göppingen. [http://www.landkreis-goeppingen.de/servlet/PB/menu/1207403\\_11/index.html](http://www.landkreis-goeppingen.de/servlet/PB/menu/1207403_11/index.html). Stand: 24.06.2012.
- Luboschik, U., Dr. Suter, J.-M.(2003). Solare Wärme - Vom Kollektor zur Hausanlage. Köln: TÜV-Verlag.
- Menke, S., Hoffmann,H.,Zutz,K. (2009) Energetische Bewertung eines geschlossenen Gewächshauses mit Aquiferspeicher. Leibniz Universität Hannover. <http://www.bgt-hannover.de/hoffmann/PosterDGG.pdf>. Stand: 20.06.2012.
- Omnicall. (o.J.). Carbocal. Omnicall. <http://www.omnicall.de/default.asp?PageNumber=29078>. Stand 08.06.2012
- Paradigma Deutschland GmbH. (o.J.). Wirkungsgrad bei Solarthermieranlagen. Paradigma Deutschland GmbH. <http://www.paradigma.de/solarlexikon/wirkungsgrad-der-solarthermie/>. Stand: 30.06.2012.
- Dr. Peuser, F. A., Remmers, K.-H., Schnauss, M. (2001). Langzeiterfahrung Solarthermie. Berlin: Solarpraxis
- Quaschnig, V. (2010). Erneuerbare Energien und Klimaschutz. München: Carl Hanser Verlag
- Dr. Reihnländer, J., Koch, H., Pfeil, M., Bouse, D. (2003). Sonnenwärme für Gebäude und Betriebe Mittelgroße Solaranlagen. Stuttgart: Karl Weinbrenner & Söhne GmbH & Co
- Rohde, C. (2007). Die Energieeinsparverordnung 2007. Hamburg: Diplomica.
- Ruhrkohlen Handbuch. (1984). 6. Auflage. Essen: Glückauf

- Rummich, R. (2009). Energiespeicher Grundlagen, Komponenten, Systeme und Anwendungen. Renningen: Expert Verlag.
- Schradieck, E.-P. (1983). Solarkollektoren und Wärmepumpen im Gartenbau. Hamburg: Eigendruck.
- Strom-Magazin.de. (o.J.). Der Preis für eine kWh Strom: Was kostet die Kilowattstunde. Strom-Magazin. <http://www.strom-magazin.de/preis-pro-kwh/>. Stand: 07.06.2012
- Dr. Tantau, H.-J. (1983). Heizungsanlagen im Gartenbau. Stuttgart: Ulmer.
- Tantau, H.-J. (2011). ZINEG- das Niedrigenergiegewächshaus. Leibniz Universität Hannover, FG Biosystem- und Gartenbautechnik. <http://www.hortigate.de/Apps/WebObjects/Hortigate.woa/vb/bericht?nr=50348>. Stand: 24.06.2012.
- Unruh, A. (2005). Energiesparmaßnahmen im Gartenbau. Meisterarbeit.
- Watergy GmbH. (o.J.). Klimatisierung geschlossener Gewächshäuser. Watergy GmbH. <http://www.watergy.de/einsatzbereiche/klimatisierung-geschlossener-gewaechshaeuser>. Stand: 24.06.2012.
- Weglage, A. (2010). Energieausweis – Das große Kompendium. Wiesbaden: GWV Fachverlag.
- ZINEG. (o.J.). Forschung. ZINEG. <http://www.zineg.de/?q=node/32>. Stand: 19.06.2012

## **Abbildungs- und Tabellenverzeichnis**

Aqua-Vogt.de GmbH. (o.J.). Für eine überschlägige Ermittlung. Aqua-Vogt.de GmbH.  
[http://www.aqua-vogt.de/typo3temp/pics/absorber2\\_d54b57a8c6.jpg](http://www.aqua-vogt.de/typo3temp/pics/absorber2_d54b57a8c6.jpg). Stand:  
19.06.2012

Grammer Solar GmbH. (2010). Twinsolar Compact – Technische Daten. Grammer Solar  
GmbH [http://www.grammer-solar.com/cms/downloads/Deutsch/II-SolarLuft/06-Datenblaetter/technischedaten\\_twinsolar\\_0150101001\\_de.pdf](http://www.grammer-solar.com/cms/downloads/Deutsch/II-SolarLuft/06-Datenblaetter/technischedaten_twinsolar_0150101001_de.pdf). Stand: 20.06.2012

Mast, M. (o.J.). Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DRL). Stuttgart: Institut für  
Technische Thermodynamik

Menke, S., Hoffmann, H., Zutz, K. (2009). Energetische Bewertung eines geschlossenen  
Gewächshauses mit Aquiferspeicher. Leibniz Universität Hannover. <http://www.bgt-hannover.de/hoffmann/PosterDGG.pdf>. Stand: 20.06.2012

Prof. Dr. Meyer, J., Pietzsch, M. (2010). Nutzung von Geothermalwärme zur Beheizung  
eines Gartenbaubetriebes – Erfahrung aus Neustadt/Glewe. Technische Universität  
München – Fachgebiet Technik im Gartenbau. Fachvortrag in Finsing  
<http://www.hortigate.de/Apps/WebObjects/Hortigate.woa/vb/bericht?nr=44006>.  
Stand: 23.06.2012.

Viessmann Deutschland GmbH. (2011). Energie von der Sonne. Viessmann Deutschland  
GmbH. [http://www.viessmann.de/etc/medialib/internet-global/pdf\\_documents/energiearten-prospekte.Par.85142.File.File.tmp/pr-energie-von-der-sonne.pdf](http://www.viessmann.de/etc/medialib/internet-global/pdf_documents/energiearten-prospekte.Par.85142.File.File.tmp/pr-energie-von-der-sonne.pdf). Stand: 20.06.2012

Quaschnig, V. (2010). Regenerative Energiesysteme. München: Hanser Verlag

## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich versichere, dass ich vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

.....

Larissa Bartsch

## Zusammenfassung

Eine Bachelorarbeit mit dem Titel *Eine Machbarkeitsstudie für die solarthermische Beheizungsunterstützung von Gewächshäusern im Bestand*.

Dafür wurden zunächst bestehende und aktuell durchgeführte Pilotprojekte untersucht.

Das Projekt ZukunftInitiative NiedrigEnergieGewächshaus (ZINEG) mit vier Standorten in Deutschland hat eine 5-jährige Laufzeit (01.05.2009 bis 30.04.2014). An allen Standorten wird versucht mit unterschiedlichen technischen und kulturtechnischen Maßnahmen in den Versuchs-Gewächshäusern CO<sub>2</sub> neutral Pflanzen zu züchten.

1980 bis 1983 wurde in Hamburg/Fünfhausen versucht ein Gewächshaus durch eine Wärmepumpe und eine Solarthermieanlage zu beheizen und in den Niederlanden/Gravenzande stehen Gewächshäuser mit Aquifer-Speicher.

Anschließend wurden drei Musterbetriebe aus den Vierlanden, Umland von Hamburg, aufgesucht. Die Betriebe wurden nach einem niedrigen, mittleren und hohen Heizaufwand ausgewählt. Betrieb 1 hat eine beheizte Grundfläche von 3140m<sup>2</sup>, aufgeteilt auf 6 Gewächshäuser und heizt mit Gas bzw. Öl. Betrieb 2 beheizt 8 Gewächshäuser, die eine Grundfläche von 2889m<sup>2</sup> haben mit Holzpellets und Betrieb 3 beheizt 7 Gewächshäuser, die eine Fläche von 9650m<sup>2</sup> haben mit Anthrazit.

Ziel war zu überprüfen, inwieweit ein Teil des Heizbedarfes bei bestehender Heizungsanlage mit einer Solarthermieanlage abgedeckt werden kann und ob eine wirtschaftlich sinnvolle Amortisationszeit unter 20 Jahren zu erreichen ist.

Angesichts der Brennstoffkosten der drei Betriebe, die aktuell zwischen 2-4 ct/kWh liegen, amortisiert sich eine Solarthermieanlage innerhalb des angestrebten Zeitraums von 20 Jahren nicht. Betrieb1 benötigt im Sommer gar keine Heizung und damit stünde die Solarthermieanlage in diesem Betrieb im Sommer 12 Wochen still. Die Solarthermieanlagen wurden in der Berechnung so, ausgelegt, dass im Sommer die Solaranlage die Beheizung der Gewächshäuser übernimmt und keine zu großen Überschüsse entstehen. Die Konsequenz daraus ist, dass in den Übergangszeiten und im Winter kaum eine Heizungsunterstützung möglich wäre. Solarthermieanlagen unter solchen Umständen, würden sich erst bei höheren Brennstoffkosten, wie z.B. 10 ct/kWh, rentieren.

## **Abstract**

A bachelor thesis titled *Feasibility Study For Solar Thermal Heating Support of Existing Greenhouses*. Therefore existing and current pilot projects were examined.

The project "ZukunftInitiative NiedrigEnergieGewächshaus (ZINEG)", is a research project in low energy greenhouses, with four locations in Germany from 01.05.2009 to 30.05.2014. The challenge at all locations is to grow plants CO<sub>2</sub>-neutral by using different technical means and different ways of cultivation.

Between 1980 and 1983 a test to heat a greenhouse by using a heat pump and a solar heating system took place in Fünfhausen/Hamburg and in Gravenzande/Netherlands greenhouses with an aquifer reservoir in use.

Thereafter three horticultural sample businesses in the Vierlanden/Hamburg were visited. The businesses were selected according to their low, average and high heating demand. Business 1 has a heated space of 3140m<sup>2</sup> divided in six greenhouses and uses gas and oil for heating. Business 2 is heating 8 greenhouses with a space of 2889m<sup>2</sup> by using wood pellets and business 3 is heating 7 greenhouses with a space of 9650m<sup>2</sup> with anthracite coal. The goal is to examine to what extent part of the heating demand can be covered by a solar heating system when a conventional heating system is existent. The system should become economically effective within 20 years.

Taking into account, the heating cost of 2 - 4 ct/kWh, that the three businesses currently have, the system will not become cost efficient within a period of 20 years. Since business 1 does not need heating during summer the solar heating system would be out of use for 12 weeks each summer. The system is designed to cover all necessary heating during summer without too much surplus energy. That means however that there would be no heating support possible in autumn, winter and spring. The solar system is only cost efficient under such circumstances when fuel costs are higher. At fuel costs of 10 ct/kWh the solar heating system would be cost efficient.

# Anhang

## Inhaltsverzeichnis

A.1 Solarthermie .....	2
A.2 Skizzen Betriebe.....	5
A.3 Energiebedarf von Gewächshäusern.....	7
A.3.1 Heizenergiebetrag Betrieb 1 .....	12
A.3.2 Heizenergiebetrag Betrieb 2 .....	13
A.3.3 Heizenergiebetrag Betrieb 3 .....	14
A.4 Lösungsmöglichkeiten .....	15

## A.1 Solarthermie

Tabellen für die Sonneneinstrahlung pro m<sup>2</sup> in Hamburg wöchentlich im Jahresverlauf mit den Neigungswinkeln 30°, 60° und 70° und nach Süden ausgerichtet. Bei einem Winkel von 30° ist die Sonneneinstrahlung in Hamburg:

Woche	Einstrahlung in kWh/m <sup>2</sup>	Erzeugte Wärmemenge unter Berücks. des Wirkungsgrades	Woche	Einstrahlung in kWh/m <sup>2</sup>	Erzeugte Wärmemenge unter Berücks. des Wirkungsgrades
1	4,5	2,7	27	42,0	25,2
2	5,1	3,1	28	26,3	15,8
3	10,4	6,2	29	33,9	20,3
4	6,9	4,1	30	34,0	20,4
5	6,4	3,8	31	37,9	22,7
6	8,3	5,0	32	35,3	21,2
7	10,8	6,5	33	30,5	18,3
8	14,8	8,9	34	25,3	15,2
9	12,9	7,7	35	26,6	16,0
10	15,5	9,3	36	27,0	16,2
11	12,8	7,7	37	21,4	12,8
12	17,7	10,6	38	28,8	17,3
13	26,2	15,7	39	14,7	8,8
14	27,2	16,3	40	17,0	10,2
15	30,8	18,5	41	18,5	11,1
16	26,4	15,8	42	13,6	8,2
17	31,0	18,6	43	11,6	7,0
18	27,3	16,4	44	15,1	9,1
19	21,5	12,9	45	13,4	8,0
20	43,2	25,9	46	2,6	1,6
21	40,8	24,5	47	4,4	2,6
22	34,4	20,6	48	6,7	4,0
23	34,8	20,9	49	2,1	1,3
24	35,1	21,1	50	4,0	2,4
25	31,3	18,8	51	5,4	3,2
26	34,6	20,8	52	3,9	2,3
			Gesamt	1.072,7	643,6

Tabelle 1: Wöchentliche Einstrahlung pro m<sup>2</sup> Kollektorfläche im Jahresverlauf bei 30° Neigung von einem Flachkollektor. Quelle: T\*SOL Expert 4.5

Sonneneinstrahlung in Hamburg bei einem Winkel von 60°:

Woche	Einstrahlung in kWh/m <sup>2</sup>	Erzeugte Wärmemenge unter Berücks. des Wirkungsgrades	Woche	Einstrahlung in kWh/m <sup>2</sup>	Erzeugte Wärmemenge unter Berücks. des Wirkungsgrades
1	5,2	3,1	27	34,9	20,9
2	6,2	3,7	28	21,9	13,1
3	13,4	8,0	29	28,6	17,2
4	8,2	4,9	30	29,2	17,5
5	6,9	4,1	31	32,9	19,7
6	9,2	5,5	32	31,4	18,8
7	11,8	7,1	33	27,4	16,4
8	16,7	10,0	34	23,0	13,8
9	13,4	8,0	35	24,7	14,8
10	16,1	9,7	36	26,0	15,6
11	12,4	7,4	37	20,8	12,5
12	17,3	10,4	38	29,7	17,8
13	26,3	15,8	39	14,6	8,8
14	26,1	15,7	40	17,9	10,7
15	29,4	17,6	41	20,2	12,1
16	24,2	14,5	42	14,9	8,9
17	27,6	16,6	43	12,9	7,7
18	23,8	14,3	44	18,3	11,0
19	18,4	11,0	45	16,6	10,0
20	36,9	22,1	46	2,4	1,4
21	34,6	20,8	47	4,8	2,9
22	28,8	17,3	48	8,2	4,9
23	29,2	17,5	49	1,9	1,1
24	29,1	17,5	50	4,5	2,7
25	26,1	15,7	51	6,7	4,0
26	29,0	17,4	52	4,5	2,7
			Gesamt	1.005,2	603,1

Tabelle 2: Wöchentliche Einstrahlung pro m<sup>2</sup> Kollektorfläche im Jahresverlauf bei 60° Neigung von einem Flachkollektor. Quelle: T\*SOL Expert 4.5

Sonneneinstrahlung in Hamburg bei einem Neigungswinkel von 70°:

Woche	Einstrahlung in kWh/m <sup>2</sup>	Erzeugte Wärmemenge unter Berücks. des Wirkungsgrades	Woche	Einstrahlung in kWh/m <sup>2</sup>	Erzeugte Wärmemenge unter Berücks. des Wirkungsgrades
1	5,2	3,1	27	31,4	18,8
2	6,2	3,7	28	19,8	11,9
3	13,7	8,2	29	25,9	15,5
4	8,2	4,9	30	26,6	16,0
5	6,8	4,1	31	29,9	17,9
6	9,1	5,5	32	28,9	17,3
7	11,6	7,0	33	25,2	15,1
8	16,5	9,9	34	21,3	12,8
9	13,0	7,8	35	23,1	13,9
10	15,6	9,4	36	24,5	14,7
11	11,8	7,1	37	19,7	11,8
12	16,5	9,9	38	28,6	17,2
13	25,1	15,1	39	14,0	8,4
14	24,6	14,8	40	17,4	10,4
15	27,6	16,6	41	19,8	11,9
16	22,5	13,5	42	14,7	8,8
17	25,4	15,2	43	12,7	7,6
18	21,9	13,1	44	18,5	11,1
19	16,8	10,1	45	16,8	10,1
20	33,3	20,0	46	2,3	1,4
21	31,2	18,7	47	4,7	2,8
22	26,0	15,6	48	8,4	5,0
23	26,2	15,7	49	1,9	1,1
24	26,3	15,8	50	4,5	2,7
25	23,5	14,1	51	6,8	4,1
26	26,2	15,7	52	4,5	2,7
			Gesamt	942,7	565,6

Tabelle 3: Wöchentliche Einstrahlung pro m<sup>2</sup> Kollektorfläche im Jahresverlauf bei 70° Neigung von einem Flachkollektor. Quelle: T\*SOL Expert 4.5

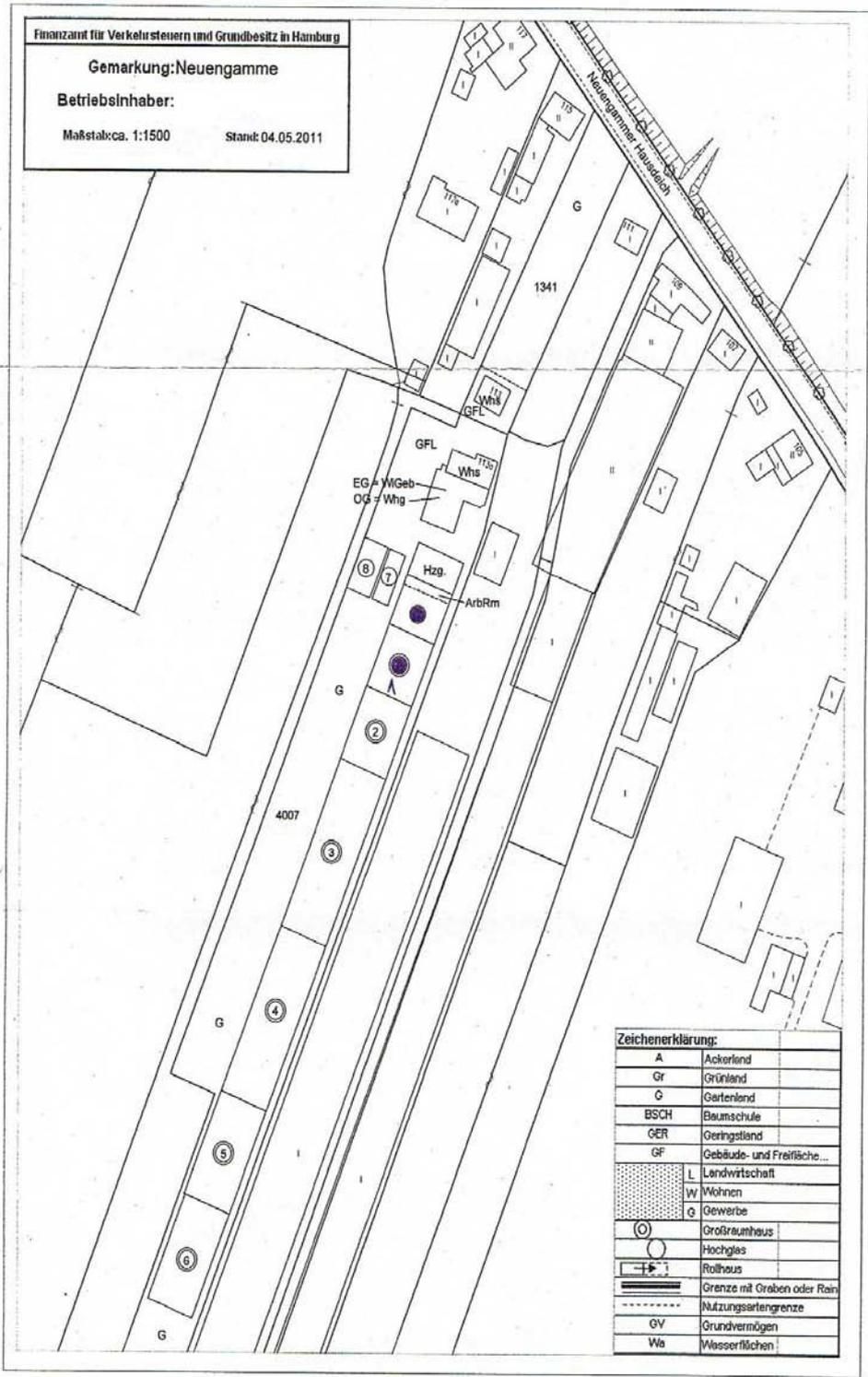
In Tabelle 1,2 und 3 ist in der dritten und sechsten Spalte der Wirkungsgrad  $\eta$  berücksichtigt. Der Wirkungsgrad bei einem Flachkollektor liegt bei ca. 60% bei einem Röhrenkollektor bei ungefähr 90%.(Paradigma, o.J.)

In den drei Tabellen wurden die Wirkungsgrade von 60% angenommen, da von Flachkollektoren ausgegangen wird.

# A.2 Skizzen Betriebe

## Betrieb 1

Datum : 12.08.2011



1:1500

Datum : 27.06.2008



1:1500

### **A.3 Energiebedarf von Gewächshäusern**

Der Energiebedarf von Gewächshäusern wird in den nachfolgenden Tabellen veranschaulicht. Die Tabellen wurde aus vielen Tabellen zusammen gestellt von F. Sollmann, Landwirtschaftskammer Hamburg am 01.07.97, damit sie für jedes Gewächshaus in Hamburg anwendbar sind. Die Daten dieser Tabelle sind von J. Damrath aus einem fünfzehnjährigem Mittel gemessen worden und geben den Energiebedarf pro Jahr wieder. Mit Hilfe der Tabellen von J. Damrath kann der gesamte Verbrauch pro Jahr aufgespalten werden zu einem wöchentlichen Verbrauch.

Gesamtwärmebedarf für ein einfach verglastes Gewächshaus in kWh/m <sup>2</sup> (nach Damrath)											
Gewächshaus-Innentemperatur											
Woche	0°C	2°C	4°C	6°C	8°C	10°C	12°C	14°C	16°C	18°C	20°C
1	3,60	5,60	8,20	11,40	15,00	18,80	22,70	26,70	30,70	34,60	38,60
2	4,60	6,50	9,10	12,20	15,60	19,30	23,20	27,00	30,90	34,90	38,80
3	4,50	6,30	8,70	11,60	15,00	18,60	22,40	26,30	30,30	34,30	38,20
4	1,90	3,40	5,50	8,30	11,60	15,20	19,00	23,00	26,90	30,90	35,00
5	3,40	5,00	7,30	10,10	13,30	16,90	20,60	24,50	28,40	32,30	36,30
6	3,00	4,70	7,00	10,00	13,30	16,90	20,70	24,60	28,50	32,50	36,40
7	3,60	5,70	9,30	11,40	14,60	18,10	21,80	25,40	29,30	33,10	36,90
8	2,50	3,90	6,10	8,70	11,70	14,90	18,40	22,00	25,70	29,40	33,30
9	2,30	3,80	5,50	7,80	10,30	13,40	16,50	19,50	23,40	27,00	30,70
10	1,90	3,00	4,70	6,70	9,30	12,10	15,10	18,40	21,80	25,50	29,10
11	1,10	2,20	3,80	6,00	8,50	11,40	14,70	18,00	21,60	25,20	29,00
12	0,60	1,40	2,70	4,50	6,70	9,30	12,10	15,30	18,50	21,90	25,50
13	0,30	0,80	1,90	3,40	5,60	8,00	10,80	13,70	16,90	20,20	23,70
14	0,10	0,40	1,10	2,40	4,00	6,10	8,30	10,90	13,50	16,50	19,50
15	0,10	0,40	1,10	2,10	3,60	5,40	7,50	9,70	12,20	14,70	17,50
16	0,10	0,30	0,80	1,60	2,70	4,10	6,00	8,00	10,30	12,80	15,40
17	0,10	0,30	0,60	1,30	2,40	3,90	5,60	7,50	10,00	12,40	15,00
18	--	0,10	0,30	0,70	1,50	2,60	4,10	5,90	7,80	10,00	12,40
19	--	0,10	0,10	0,30	0,70	1,40	2,60	4,10	6,00	8,00	10,10
20	--	--	0,10	0,30	0,80	1,70	2,90	4,40	6,00	8,00	10,10
21	--	--	--	0,20	0,60	1,30	2,40	4,00	5,80	7,70	9,90
22	--	--	0,10	0,20	0,50	1,20	2,20	3,50	5,20	7,10	9,10
23	--	--	--	0,10	0,20	0,50	1,20	2,10	3,40	4,80	6,50
24	--	--	--	--	0,10	0,50	1,00	2,00	3,10	4,70	6,30
25	--	--	--	--	0,10	0,20	0,80	1,50	2,80	4,20	5,90
26	--	--	--	--	0,10	0,30	0,70	1,60	2,80	4,30	6,10
27	--	--	--	--	--	0,20	0,70	1,60	2,80	4,40	6,20
28	--	--	--	--	--	0,10	0,40	1,20	2,20	3,60	5,20
29	--	--	--	--	0,10	0,20	0,50	1,00	2,10	3,50	5,10
30	--	--	--	--	--	0,10	0,40	1,10	2,10	3,40	5,10
31	--	--	--	--	--	0,10	0,30	0,90	2,00	3,40	4,90
32	--	--	--	--	--	0,10	0,40	1,00	2,00	3,40	5,20
33	--	--	--	--	0,10	0,10	0,50	1,30	2,60	4,20	6,00
34	--	--	--	0,10	--	0,30	0,70	1,60	2,90	4,60	6,50
35	--	--	--	--	0,10	0,30	0,90	1,80	3,20	5,00	7,00
36	--	--	--	--	0,10	0,40	1,10	2,20	3,70	5,70	7,90
37	--	--	--	0,10	0,30	0,70	1,50	2,80	4,50	6,50	8,70
38	--	--	0,10	0,20	0,50	1,20	2,20	3,90	5,70	8,00	10,40
39	--	--	--	0,10	0,60	1,30	2,60	4,20	6,30	8,70	11,30
40	--	0,10	0,20	0,50	0,90	1,90	3,10	5,00	7,40	9,90	12,80
41	--	0,10	0,30	0,70	1,20	2,40	4,10	6,20	8,60	11,50	14,40
42	0,10	0,10	0,40	1,00	2,10	3,90	6,10	8,70	11,60	14,60	17,80
43	--	0,10	0,40	1,00	2,10	3,80	6,10	8,80	11,90	15,10	18,60
44	0,10	0,40	1,00	1,90	3,40	5,50	8,20	10,70	14,60	18,20	21,80
45	0,30	0,70	1,40	2,80	4,90	7,60	10,60	14,00	17,50	21,20	25,00
46	0,50	1,10	3,20	4,00	6,60	9,60	13,10	16,70	20,60	24,60	28,60
47	1,00	1,90	3,40	5,40	8,10	11,20	14,70	18,50	22,30	26,20	30,20
48	1,00	1,80	3,20	5,50	8,40	11,90	15,50	19,30	23,30	27,20	31,10
49	1,50	1,80	4,70	7,40	10,50	14,10	18,00	22,00	25,90	30,00	34,10
50	2,10	3,50	5,60	8,10	11,30	14,80	18,60	22,50	26,50	30,30	34,20
51	3,20	4,90	7,20	10,10	13,00	17,10	20,80	24,60	28,40	32,40	36,20
52	3,70	5,30	7,60	10,40	13,70	17,30	21,20	25,10	29,20	33,10	37,10
Summe	47,20	76,60	120,60	180,40	256,40	348,20	455,60	577,50	711,90	855,70	1006,80

01.07.97 zuständig LK Hamburg/Sollmann

Tabelle 4: Gesamtwärmebedarf für ein einfach verglastes Gewächshaus in kWh/m<sup>2</sup>. Quelle: Damrath(1983) zusammen geführt von Sollmann, F.

In der ersten Spalte sind die Wochen eines Jahres aufgelistet. In der ersten Zeile ist die Innentemperatur eines Gewächshauses dargestellt von 0°C bis 20°C. Die jeweiligen Spalten der Innentemperaturen zeigen, den Energiebedarf pro Woche pro m<sup>2</sup> an. Z.B. liegt der Energiebedarf pro m<sup>2</sup> Gewächshausgrundfläche in der ersten Woche des Jahres bei 0°C Innentemperatur im Gewächshaus bei 3,6 kWh/m<sup>2</sup>. In der letzten Spalte steht die Summe des Energiebedarfs pro m<sup>2</sup> Gewächshaus. Die Tabellen von J. Damrath stammen von 1980. Dies sind die letzten protokollierten Energiemengen pro m<sup>2</sup> Gewächshausgrundfläche. Seit dieser Zeit hat sich die Wärmedämmung im Gewächshausbereich weiterentwickelt. Laut Gespräch mit Herrn Sollmann, von der Landwirtschaftskammer Hamburg am 15.11.2011, hat sich die Wärmedämmung der Gewächshäuser um 33% erhöht. Deshalb werden von jedem Energiebedarf 33% abgezogen.

Gesamtwärmebedarf für ein Gewächshaus in kWh/m <sup>2</sup> (nach Damrath) Gewächshaus-Innentemp.											
Woche	0°C	2°C	4°C	6°C	8°C	10°C	12°C	14°C	16°C	18°C	20°C
1	2,41	3,75	5,49	7,64	10,05	12,60	15,21	17,89	20,57	23,18	25,86
2	3,08	4,36	6,10	8,17	10,45	12,93	15,54	18,09	20,70	23,38	26,00
3	3,02	4,22	5,83	7,77	10,05	12,46	15,01	17,62	20,30	22,98	25,59
4	1,27	2,28	3,69	5,56	7,77	10,18	12,73	15,41	18,02	20,70	23,45
5	2,28	3,35	4,89	6,77	8,91	11,32	13,80	16,42	19,03	21,64	24,32
6	2,01	3,15	4,69	6,70	8,91	11,32	13,87	16,48	19,10	21,78	24,39
7	2,41	3,82	6,23	7,64	9,78	12,13	14,61	25,40	19,63	22,18	24,72
8	1,68	2,61	4,09	5,83	7,84	9,98	12,33	14,74	17,22	19,70	22,31
9	1,54	2,55	3,69	5,23	6,90	8,98	11,06	13,07	15,68	18,09	20,57
10	1,27	2,01	3,15	4,49	6,23	8,11	10,12	12,33	14,61	17,09	19,50
11	0,74	1,47	2,55	4,02	5,70	7,64	9,85	12,06	14,47	16,88	19,43
12	0,40	0,94	1,81	3,02	4,49	6,23	8,11	10,25	12,40	14,67	17,09
13	0,20	0,54	1,27	2,28	3,75	5,36	7,24	9,18	11,32	13,53	15,88
14	0,07	0,27	0,74	1,61	2,68	4,09	5,56	7,30	9,05	11,06	13,07
15	0,07	0,27	0,74	1,41	2,41	3,62	5,03	6,50	8,17	9,85	11,73
16	0,07	0,20	0,54	1,07	1,81	2,75	4,02	5,36	6,90	8,58	10,32
17	0,07	0,20	0,40	0,87	1,61	2,61	3,75	5,03	6,70	8,31	10,05
18	--	0,07	0,20	0,47	1,01	1,74	2,75	3,95	5,23	6,70	8,31
19	--	0,07	0,07	0,20	0,47	0,94	1,74	2,75	4,02	5,36	6,77
20	--	--	0,07	0,20	0,54	1,14	1,94	2,95	4,02	5,36	6,77
21	--	--	--	0,13	0,40	0,87	1,61	2,68	3,89	5,16	6,63
22	--	--	0,07	0,13	0,34	0,80	1,47	2,35	3,48	4,76	6,10
23	--	--	--	0,07	0,13	0,34	0,80	1,41	2,28	3,22	4,36
24	--	--	--	--	0,07	0,34	0,67	1,34	2,08	3,15	4,22
25	--	--	--	--	0,07	0,13	0,54	1,01	1,88	2,81	3,95
26	--	--	--	--	0,07	0,20	0,47	1,07	1,88	2,88	4,09
27	--	--	--	--	--	0,13	0,47	1,07	1,88	2,95	4,15
28	--	--	--	--	--	0,07	0,27	0,80	1,47	2,41	3,48
29	--	--	--	--	0,07	0,13	0,34	0,67	1,41	2,35	3,42
30	--	--	--	--	--	0,07	0,27	0,74	1,41	2,28	3,42
31	--	--	--	--	--	0,07	0,20	0,60	1,34	2,28	3,28
32	--	--	--	--	--	0,07	0,27	0,67	1,34	2,28	3,48
33	--	--	--	--	0,07	0,07	0,34	0,87	1,74	2,81	4,02
34	--	--	--	0,07	--	0,20	0,47	1,07	1,94	3,08	4,36
35	--	--	--	--	0,07	0,20	0,60	1,21	2,14	3,35	4,69
36	--	--	--	--	0,07	0,27	0,74	1,47	2,48	3,82	5,29
37	--	--	--	0,07	0,20	0,47	1,01	1,88	3,02	4,36	5,83
38	--	--	0,07	0,13	0,34	0,80	1,47	2,61	3,82	5,36	6,97
39	--	--	--	0,07	0,40	0,87	1,74	2,81	4,22	5,83	7,57
40	--	0,07	0,13	0,34	0,60	1,27	2,08	3,35	4,96	6,63	8,58
41	--	0,07	0,20	0,47	0,80	1,61	2,75	4,15	5,76	7,71	9,65
42	0,07	0,07	0,27	0,67	1,41	2,61	4,09	5,83	7,77	9,78	11,93
43	--	0,07	0,27	0,67	1,41	2,55	4,09	5,90	7,97	10,12	12,46
44	0,07	0,27	0,67	1,27	2,28	3,69	5,49	7,17	9,78	12,19	14,61
45	0,20	0,47	0,94	1,88	3,28	5,09	7,10	9,38	11,73	14,20	16,75
46	0,34	0,74	2,14	2,68	4,42	6,43	8,78	11,19	13,80	16,48	19,16
47	0,67	1,27	2,28	3,62	5,43	7,50	9,85	12,40	14,94	17,55	20,23
48	0,67	1,21	2,14	3,69	5,63	7,97	10,39	12,93	15,61	18,22	20,84
49	1,01	1,21	3,15	4,96	7,04	9,45	12,06	14,74	17,35	20,10	22,85
50	1,41	2,35	3,75	5,43	7,57	9,92	12,46	15,08	17,76	20,30	22,91
51	2,14	3,28	4,82	6,77	8,71	11,46	13,94	16,48	19,03	21,71	24,25
52	2,48	3,55	5,09	6,97	9,18	11,59	14,20	16,82	19,56	22,18	24,86
Summe	31,62	51,32	80,80	120,87	171,79	233,29	305,25	386,93	476,97	573,32	674,56

01.07.97

zuständig LK Hamburg/Sollmann

Tabelle 5: Gesamtwärmebedarf eines Gewächshauses in kWh/m<sup>2</sup> mit Abzug von 33%

Mit Hilfe dieser Tabelle kann überprüft werden, wie hoch der Energiebedarf für einzelne Gewächshäuser bei bestimmten Treibhaus Innentemperaturen ist.

### A.3.1 Heizenergiebetrag Betrieb 1

Die nachfolgende Tabelle zeigt die benötigten Heizleistung für Betrieb 1 im Jahresverlauf.

In den Wochen 24 bis 33 sowie in Woche 35 und 36 wird nicht geheizt.

Woche	6°C	Betrieb1	Woche	6°C	Betrieb1
1	7,64	9,12	27	--	--
2	8,17	9,76	28	--	--
3	7,77	9,28	29	--	--
4	5,56	6,64	30	--	--
5	6,77	8,08	31	--	--
6	6,70	8,00	32	--	--
7	7,64	9,12	33	--	--
8	5,83	6,96	34	0,07	0,08
9	5,23	6,24	35	--	--
10	4,49	5,36	36	--	--
11	4,02	4,80	37	0,07	0,08
12	3,02	3,60	38	0,13	0,16
13	2,28	2,72	39	0,07	0,08
14	1,61	1,92	40	0,34	0,40
15	1,41	1,68	41	0,47	0,56
16	1,07	1,28	42	0,67	0,80
17	0,87	1,04	43	0,67	0,80
18	0,47	0,56	44	1,27	1,52
19	0,20	0,24	45	1,88	2,24
20	0,20	0,24	46	2,68	3,20
21	0,13	0,16	47	3,62	4,32
22	0,13	0,16	48	3,69	4,40
23	0,07	0,08	49	4,96	5,92
24	--	--	50	5,43	6,48
25	--	--	51	6,77	8,08
26	--	--	52	6,97	8,32
			Summe	120,87	144,39

Tabelle 6: Benötigte Energie pro m<sup>2</sup> für Betrieb 1

### A.3.2 Heizenergiebetrag Betrieb 2

Die nachfolgende Tabelle zeigt die benötigten Heizleistung für Betrieb 2 im Jahresverlauf.

Woche	12°C	Betrieb2	Woche	12°C	Betrieb2
1	15,21	15,52	27	0,47	0,48
2	15,54	15,86	28	0,27	0,27
3	15,01	15,32	29	0,34	0,34
4	12,73	12,99	30	0,27	0,27
5	13,80	14,09	31	0,20	0,21
6	13,87	14,15	32	0,27	0,27
7	14,61	14,91	33	0,34	0,34
8	12,33	12,58	34	0,47	0,48
9	11,06	11,28	35	0,60	0,62
10	10,12	10,33	36	0,74	0,75
11	9,85	10,05	37	1,01	1,03
12	8,11	8,27	38	1,47	1,50
13	7,24	7,39	39	1,74	1,78
14	5,56	5,68	40	2,08	2,12
15	5,03	5,13	41	2,75	2,80
16	4,02	4,10	42	4,09	4,17
17	3,75	3,83	43	4,09	4,17
18	2,75	2,80	44	5,49	5,61
19	1,74	1,78	45	7,10	7,25
20	1,94	1,98	46	8,78	8,96
21	1,61	1,64	47	9,85	10,05
22	1,47	1,50	48	10,39	10,60
23	0,80	0,82	49	12,06	12,31
24	0,67	0,68	50	12,46	12,72
25	0,54	0,55	51	13,94	14,22
26	0,47	0,48	52	14,20	14,50
			Summe	305,25	311,54

Tabelle 7: Benötigte Energie pro m<sup>2</sup> für Betrieb 2

### A.3.3 Heizenergiebetrag Betrieb 3

Die nachfolgende Tabelle 8 zeigt den Heizbedarf von Betrieb 3 im Jahresverlauf.

Woche	12°C	Betrieb3	Woche	12°C	Betrieb3
1	15,21	14,93	27	0,47	0,46
2	15,54	15,26	28	0,27	0,26
3	15,01	14,74	29	0,34	0,33
4	12,73	12,50	30	0,27	0,26
5	13,80	13,55	31	0,20	0,20
6	13,87	13,62	32	0,27	0,26
7	14,61	14,34	33	0,34	0,33
8	12,33	12,10	34	0,47	0,46
9	11,06	10,85	35	0,60	0,59
10	10,12	9,93	36	0,74	0,72
11	9,85	9,67	37	1,01	0,99
12	8,11	7,96	38	1,47	1,45
13	7,24	7,11	39	1,74	1,71
14	5,56	5,46	40	2,08	2,04
15	5,03	4,93	41	2,75	2,70
16	4,02	3,95	42	4,09	4,01
17	3,75	3,68	43	4,09	4,01
18	2,75	2,70	44	5,49	5,39
19	1,74	1,71	45	7,10	6,97
20	1,94	1,91	46	8,78	8,62
21	1,61	1,58	47	9,85	9,67
22	1,47	1,45	48	10,39	10,20
23	0,80	0,79	49	12,06	11,84
24	0,67	0,66	50	12,46	12,24
25	0,54	0,53	51	13,94	13,68
26	0,47	0,46	52	14,20	13,95
			Summe	305,25	299,73

Tabelle 8: Benötigte Energie pro m<sup>2</sup> für Betrieb 3

## **A.4 Lösungsmöglichkeiten**

Die nachfolgenden drei Tabellen zeigen auf, wie hoch der solare Deckungsanteil und Solarertrag für die drei Betriebe ist.

### **Betrieb 1**

Für Betrieb 1 wurde eine Kollektorfläche von 10 m<sup>2</sup> und 5 m<sup>2</sup> angenommen. Wie die Tabelle aufweist, ist in Woche 24-33 sowie in Woche 35 und 36 kein Solarertrag eingespeist worden. Dies entsteht, da kein Wärmebedarf vorhanden ist. Im Winter liegt bei beiden Anlagen die solare Deckung bei gleich Null. In der anderen Zeit des Jahres, in der Energie benötigt wird, liegt die maximale solare Deckung bei 83,1% bzw. bei 41,5%. Insgesamt liegt der Solarertrag bei der Solaranlage mit 10 m<sup>2</sup> bei 6.436 kWh und bei der Solarthermieanlage mit 5 m<sup>2</sup> bei 3.218 kWh.

Woche	Solare Deckung bei 10m <sup>2</sup>	Solarertrag in kWh	Solare Deckung bei 5m <sup>2</sup>	Solarertrag in kWh	Woche	Solare Deckung bei 10m <sup>2</sup>	Solarertrag in kWh	Solare Deckung bei 5m <sup>2</sup>	Solarertrag in kWh
1	0,1%	27	0,0%	14	27	--	--	--	--
2	0,1%	31	0,0%	15	28	--	--	--	--
3	0,2%	62	0,1%	31	29	--	--	--	--
4	0,2%	41	0,1%	21	30	--	--	--	--
5	0,2%	38	0,1%	19	31	--	--	--	--
6	0,2%	50	0,1%	25	32	--	--	--	--
7	0,2%	65	0,1%	32	33	--	--	--	--
8	0,4%	89	0,2%	44	34	60,4%	152	30,2%	76
9	0,4%	77	0,2%	39	35	--	--	--	--
10	0,6%	93	0,3%	47	36	--	--	--	--
11	0,5%	77	0,3%	38	37	51,1%	128	25,5%	64
12	0,9%	106	0,5%	53	38	34,4%	173	17,2%	86
13	1,8%	157	0,9%	79	39	35,1%	88	17,5%	44
14	2,7%	163	1,4%	82	40	8,1%	102	4,1%	51
15	3,5%	185	1,8%	92	41	6,3%	111	3,2%	56
16	3,9%	158	2,0%	79	42	3,2%	82	1,6%	41
17	5,7%	186	2,8%	93	43	2,8%	70	1,4%	35
18	9,3%	164	4,7%	82	44	1,9%	91	0,9%	45
19	17,1%	129	8,6%	65	45	1,1%	80	0,6%	40
20	34,4%	259	17,2%	130	46	0,2%	16	0,1%	8
21	48,7%	245	24,4%	122	47	0,2%	26	0,1%	13
22	41,1%	206	20,5%	103	48	0,3%	40	0,1%	20
23	83,1%	209	41,5%	104	49	0,1%	13	0,0%	6
24	--	--	--	--	50	0,1%	24	0,1%	12
25	--	--	--	--	51	0,1%	32	0,1%	16
26	--	--	--	--	52	0,1%	23	0,0%	12
					Gesamt	1,4%	6.436	0,7%	3.218

Tabelle 9: Solarer Ertrag Betrieb 1

## Betrieb 2

Für Betrieb 2 wurde eine Kollektorfläche von 40 m<sup>2</sup> und 26 m<sup>2</sup> angenommen. Die Solaranlage mit 40 m<sup>2</sup> hat einen solaren Deckungsüberschuss in Woche 30 bis 32. In der 1. Woche liegt der Solarertrag bei 108 kWh und damit ergibt sich eine solare Deckung von 0,2%. Die solare Deckung der Solarthermieanlage mit 26 m<sup>2</sup> liegt in der Woche 31 bei 99,8% und hat einen Solarertrag von 591 kWh. Insgesamt liegt der Solarertrag bei der Solarthermieanlage mit 40 m<sup>2</sup> bei 25.734 kWh und bei der Solaranlage mit 26 m<sup>2</sup> bei 16.734 kWh woraus sich eine solare Deckung von 2,8% bzw. 1,9% ergibt.

Woche	Solare Deckung bei 40m <sup>2</sup>	Solarer-ertrag in kWh	Solare Deckung bei 40m <sup>2</sup>	Solarer-ertrag in kWh	Solare Deckung bei 26m <sup>2</sup>	Solarer-ertrag in kWh
1	0,2%	108	0,2%	108	0,2%	70
2	0,3%	122	0,3%	122	0,2%	80
3	0,6%	250	0,6%	250	0,4%	162
4	0,4%	166	0,4%	166	0,3%	108
5	0,4%	154	0,4%	154	0,2%	100
6	0,5%	199	0,5%	199	0,3%	129
7	0,6%	259	0,6%	259	0,4%	168
8	1,0%	355	1,0%	355	0,6%	231
9	0,9%	310	0,9%	310	0,6%	201
10	1,2%	372	1,2%	372	0,8%	242
11	1,1%	307	1,1%	307	0,7%	200
12	1,8%	425	1,8%	425	1,2%	276
13	2,9%	629	2,9%	629	1,9%	409
14	4,0%	653	4,0%	653	2,6%	424
15	5,0%	739	5,0%	739	3,2%	480
16	5,3%	634	5,3%	634	3,5%	412
17	6,7%	744	6,7%	744	4,4%	484
18	8,1%	655	8,1%	655	5,3%	426
19	10,0%	516	10,0%	516	6,5%	335
20	18,1%	1.037	18,1%	1.037	11,8%	674
21	20,7%	979	20,7%	979	13,4%	636
22	19,0%	826	19,0%	826	12,3%	537
23	35,2%	835	35,2%	835	22,9%	543
24	42,6%	842	42,6%	842	27,7%	548
25	47,5%	751	47,5%	751	30,9%	488
26	60,0%	830	60,0%	830	39,0%	540
27	72,9%	1.008	72,9%	1.008	47,4%	655
28	79,9%	631	79,9%	631	51,9%	410
29	82,4%	814	82,4%	814	53,5%	529
30	103,3%	816	100,0%	790	67,1%	530
31	153,5%	910	100,0%	593	99,8%	591
32	107,2%	847	100,0%	790	69,7%	551
33	74,1%	732	74,1%	732	48,2%	476
34	43,9%	607	43,9%	607	28,5%	395
35	35,9%	638	35,9%	638	23,3%	415
36	29,8%	648	29,8%	648	19,4%	421
37	17,3%	514	17,3%	514	11,3%	334
38	15,9%	691	15,9%	691	10,3%	449
39	6,9%	353	6,9%	353	4,5%	229
40	6,7%	408	6,7%	408	4,3%	265
41	5,5%	444	5,5%	444	3,6%	289
42	2,7%	326	2,7%	326	1,8%	212
43	2,3%	278	2,3%	278	1,5%	181
44	2,2%	362	2,2%	362	1,5%	236
45	1,5%	322	1,5%	322	1,0%	209
46	0,2%	62	0,2%	62	0,2%	41
47	0,4%	106	0,4%	106	0,2%	69
48	0,5%	161	0,5%	161	0,3%	105
49	0,1%	50	0,1%	50	0,1%	33
50	0,3%	96	0,3%	96	0,2%	62
51	0,3%	130	0,3%	130	0,2%	84
52	0,2%	94	0,2%	94	0,1%	61
Gesamt	2,9%	25.745	2,8%	25.345	1,9%	16.734

Tabelle 10: Solarer Ertrag Betrieb 2

### **Betrieb 3**

Die nachfolgende Tabelle 11 gibt einen Überblick über die solare Deckung und den Solarertrag von Betrieb 3 berechnet für zwei Solaranlagen mit einer Kollektorfläche von 120 m<sup>2</sup> bzw. 83 m<sup>2</sup>. Die Solarthermieanlage mit 120 m<sup>2</sup> hat einen Wärmeüberschuss in Woche 31 von 824 kWh und in Woche 32 von 3 kWh. Insgesamt liegt die solare Deckung bei 2,7%. Dies ist ein Solarertrag von 77.234 kWh. Die Solaranlage mit 83 m<sup>2</sup> hat keinen Wärmeüberschuss im Sommer. Der höchste Solarertrag entsteht in der Woche 20 mit 2.151 kWh, der geringste Solarertrag wird in der Woche 49 mit 105 kWh erbracht. Insgesamt deckt die Solaranlage den Energiebedarf mit 1,8% ab, das sind 53.420 kWh.

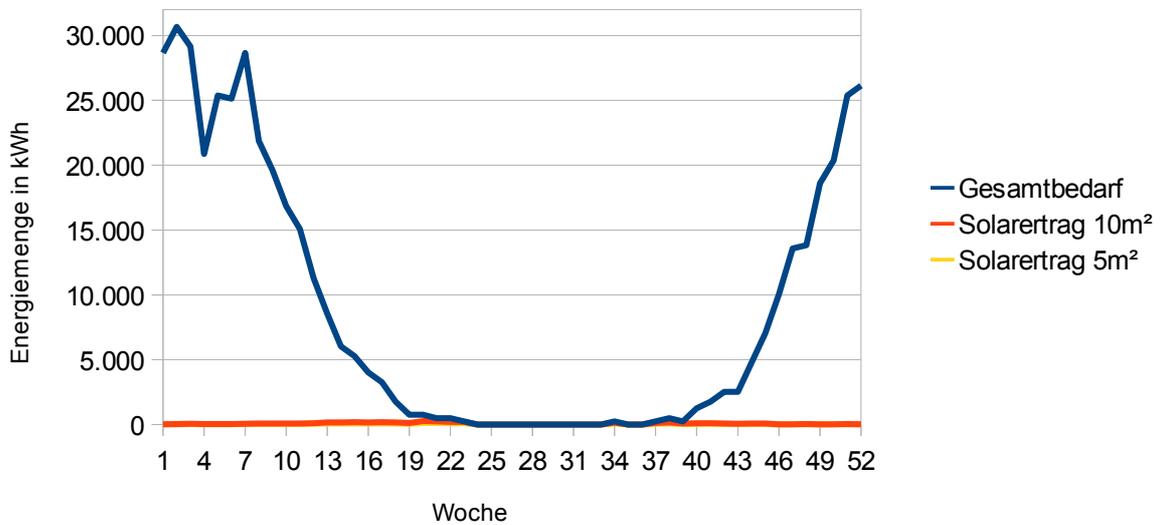
Woche	Solare Deckung bei 120m²	Solarer-ertrag in kWh	Solare Deckung bei 120m²	Solarer-ertrag in kWh	Solare Deckung bei 83m²	Solarer-ertrag in kWh
1	0,2%	324	0,2%	324	0,2%	224
2	0,2%	367	0,2%	367	0,2%	254
3	0,5%	749	0,5%	749	0,4%	518
4	0,4%	497	0,4%	497	0,3%	344
5	0,4%	461	0,4%	461	0,2%	319
6	0,5%	598	0,5%	598	0,3%	413
7	0,6%	778	0,6%	778	0,4%	538
8	0,9%	1.066	0,9%	1.066	0,6%	737
9	0,9%	929	0,9%	929	0,6%	642
10	1,2%	1.116	1,2%	1.116	0,8%	772
11	1,0%	922	1,0%	922	0,7%	637
12	1,7%	1.274	1,7%	1.274	1,1%	881
13	2,8%	1.886	2,8%	1.886	1,9%	1.305
14	3,7%	1.958	3,7%	1.958	2,6%	1.355
15	4,7%	2.218	4,7%	2.218	3,2%	1.534
16	5,0%	1.901	5,0%	1.901	3,5%	1.315
17	6,3%	2.232	6,3%	2.232	4,3%	1.544
18	7,6%	1.966	7,6%	1.966	5,2%	1.360
19	9,4%	1.548	9,4%	1.548	6,5%	1.071
20	16,9%	3.110	16,9%	3.110	11,7%	2.151
21	19,3%	2.938	19,3%	2.938	13,3%	2.032
22	17,7%	2.477	17,7%	2.477	12,3%	1.713
23	32,9%	2.506	32,9%	2.506	22,7%	1.733
24	39,8%	2.527	39,8%	2.527	27,5%	1.748
25	44,4%	2.254	44,4%	2.254	30,7%	1.559
26	56,1%	2.491	56,1%	2.491	38,8%	1.723
27	68,0%	3.024	68,0%	3.024	47,1%	2.092
28	74,6%	1.894	74,6%	1.894	51,6%	1.310
29	76,9%	2.441	76,9%	2.441	53,2%	1.688
30	96,4%	2.448	96,4%	2.448	66,7%	1.693
31	143,3%	2.729	100,0%	1.905	99,1%	1.887
32	100,1%	2.542	100,0%	2.539	69,2%	1.758
33	69,2%	2.196	69,2%	2.196	47,9%	1.519
34	41,0%	1.822	41,0%	1.822	28,4%	1.260
35	33,5%	1.915	33,5%	1.915	23,2%	1.325
36	27,8%	1.944	27,8%	1.944	19,3%	1.345
37	16,2%	1.541	16,2%	1.541	11,2%	1.066
38	14,8%	2.074	14,8%	2.074	10,3%	1.434
39	6,4%	1.058	6,4%	1.058	4,4%	732
40	6,2%	1.224	6,2%	1.224	4,3%	847
41	5,1%	1.332	5,1%	1.332	3,5%	921
42	2,5%	979	2,5%	979	1,7%	677
43	2,2%	835	2,2%	835	1,5%	578
44	2,1%	1.087	2,1%	1.087	1,4%	752
45	1,4%	965	1,4%	965	1,0%	667
46	0,2%	187	0,2%	187	0,2%	129
47	0,3%	317	0,3%	317	0,2%	219
48	0,5%	482	0,5%	482	0,3%	334
49	0,1%	151	0,1%	151	0,1%	105
50	0,2%	288	0,2%	288	0,2%	199
51	0,3%	389	0,3%	389	0,2%	269
52	0,2%	281	0,2%	281	0,1%	194
Gesamt	2,7%	77.234	2,6%	76.408	1,8%	53.420

Tabelle 11: Solarer Ertrag Betrieb 3

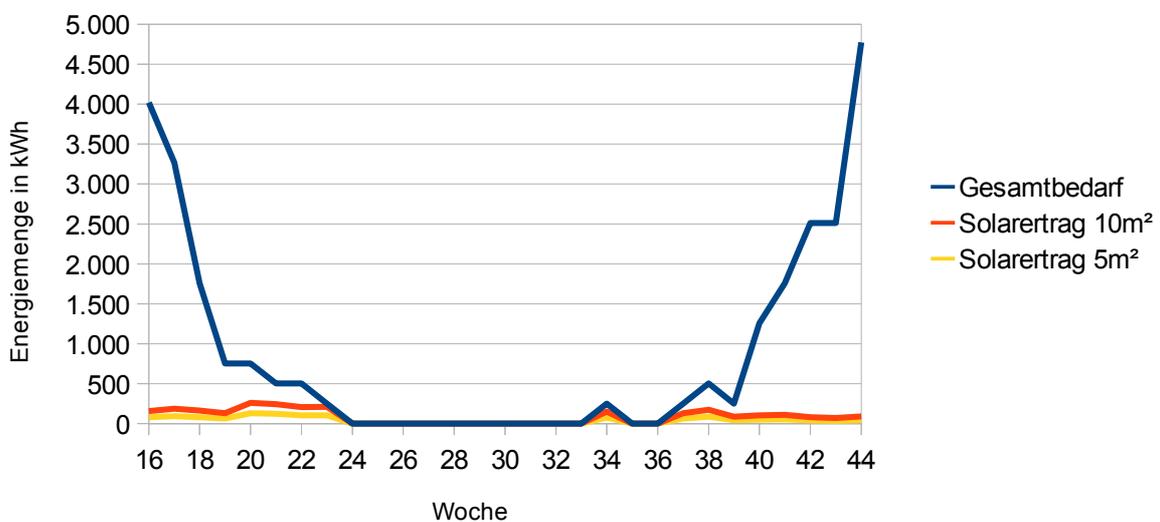
In den folgenden Abbildungen wird der Heizbedarf und der Solarertrag abgebildet. In Abbildung 1,4 und 7 ist der Heizbedarf und der Solarertrag zu sehen. In den restlichen Abbildungen wird der Gesamtheizbetrag aufgeteilt auf den vorhandenen Brennstoffeinsatz und den Solarertragsanteil veranschaulicht. Dabei ist zu erkennen, dass bei allen Betrieben die Solarthermieanlage einen niedrigen Deckungsanteil ausmacht. Im Sommer wird der Wärmebedarf von der Solaranlage abgedeckt.

### Betrieb1

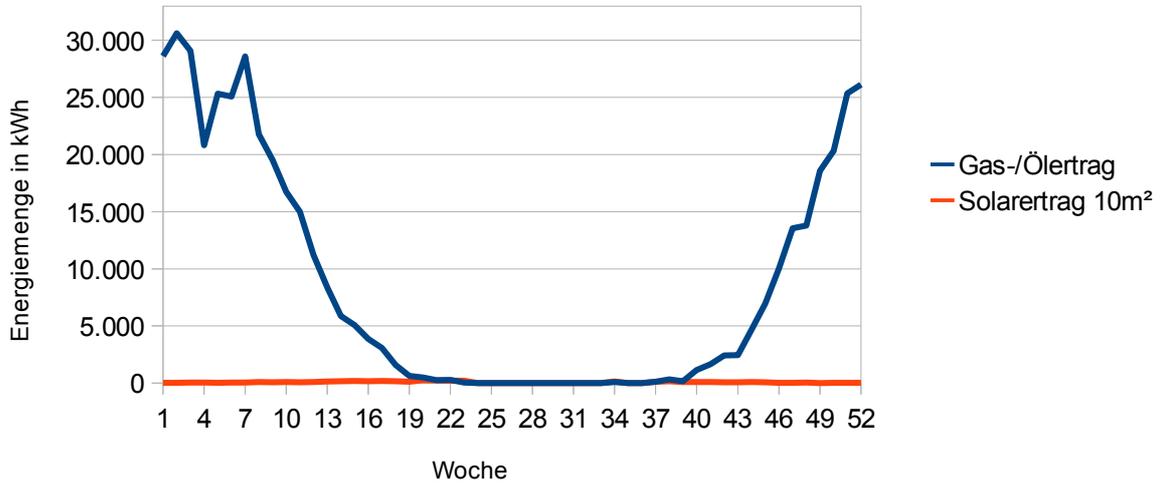
Betrieb1 Heizbedarf/Solarertrag



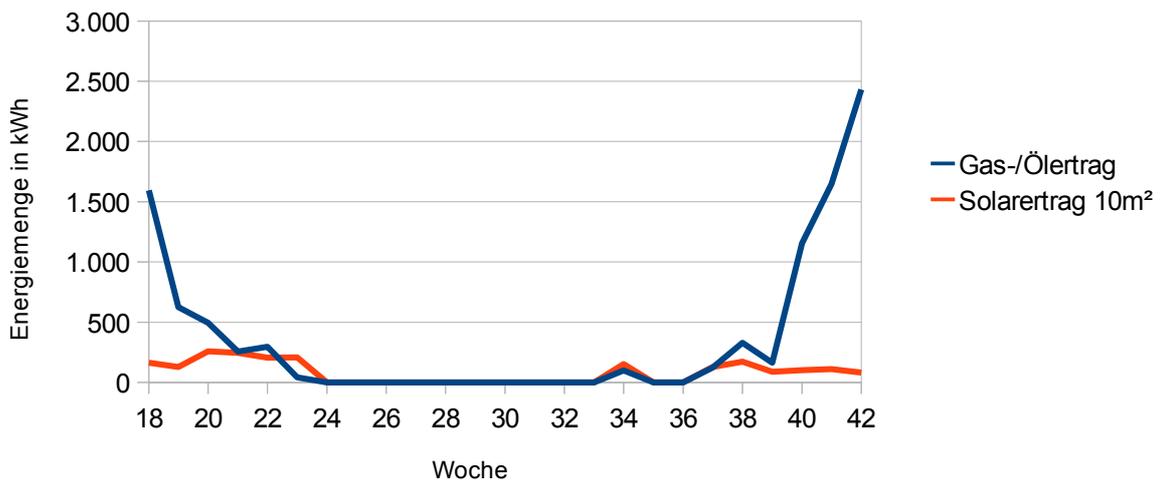
Betrieb1 Heizbedarf/Solarertrag Woche 16-44



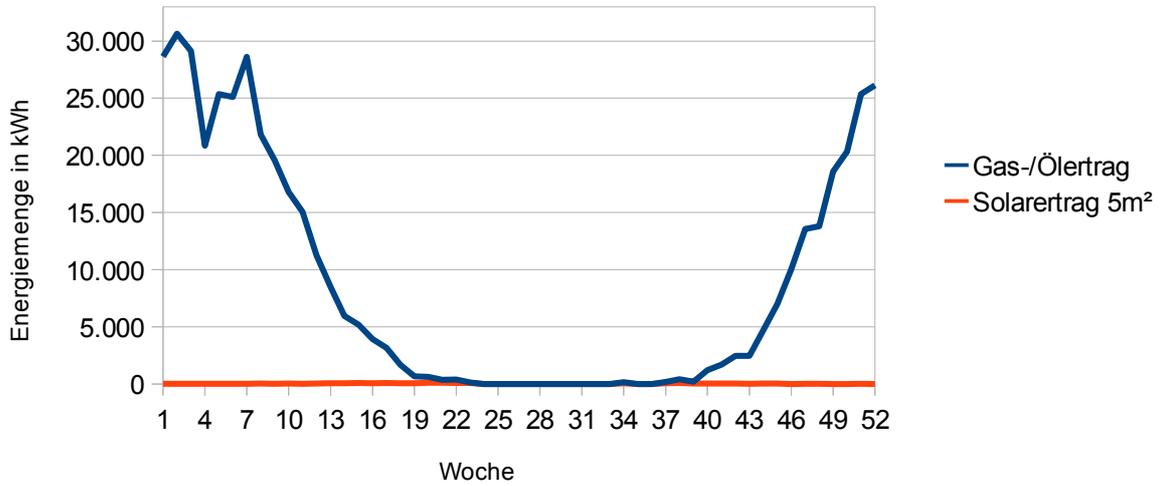
Gesamtheizbetrag aufgeteilt auf Gas-/Öl- und Solarertrag mit 10m<sup>2</sup> Kollektorfläche Betrieb1



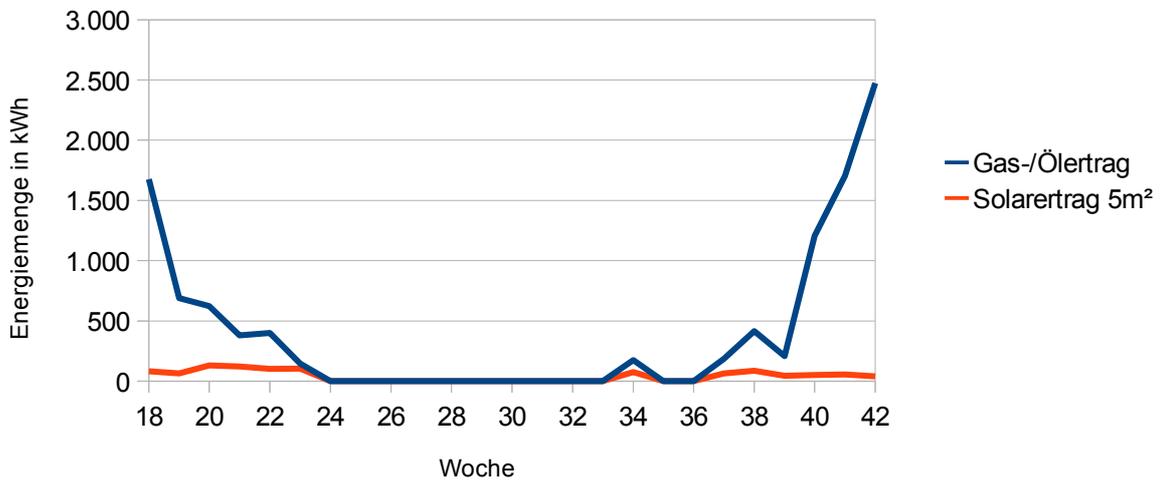
Gesamtheizbetrag aufgeteilt auf Gas-/Öl- und Solarertrag mit 10m<sup>2</sup> Kollektorfläche Betrieb1 in Woche 18-42



Gesamtheizbetrag aufgeteilt auf Gas-/Öl- und Solarertrag  
mit 5m<sup>2</sup> Kollektorfläche Betrieb1

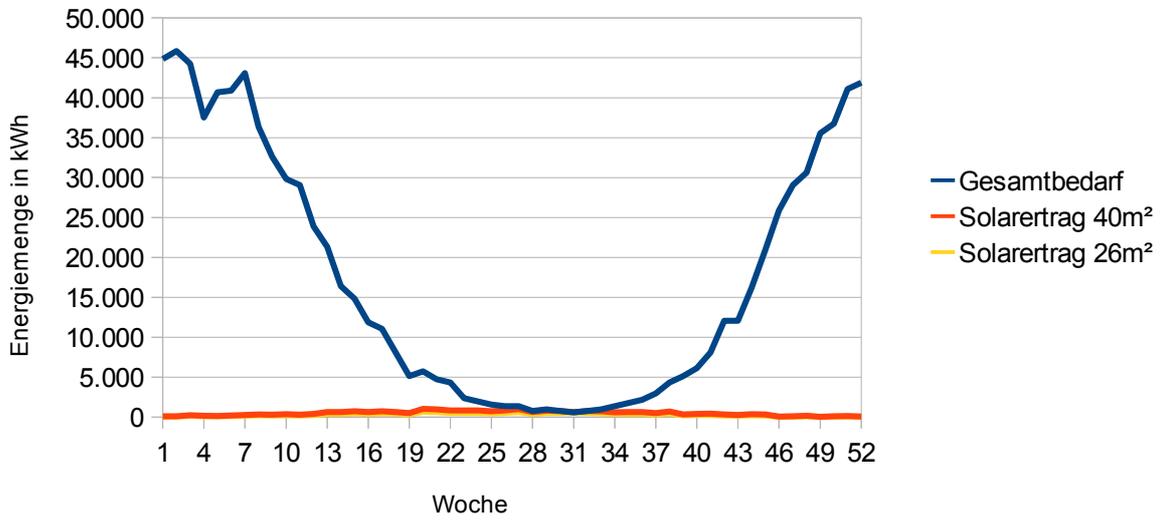


Gesamtheizbetrag aufgeteilt auf Gas-/Öl- und Solarertrag  
mit 5m<sup>2</sup> Kollektorfläche Betrieb1 in Woche 18-42

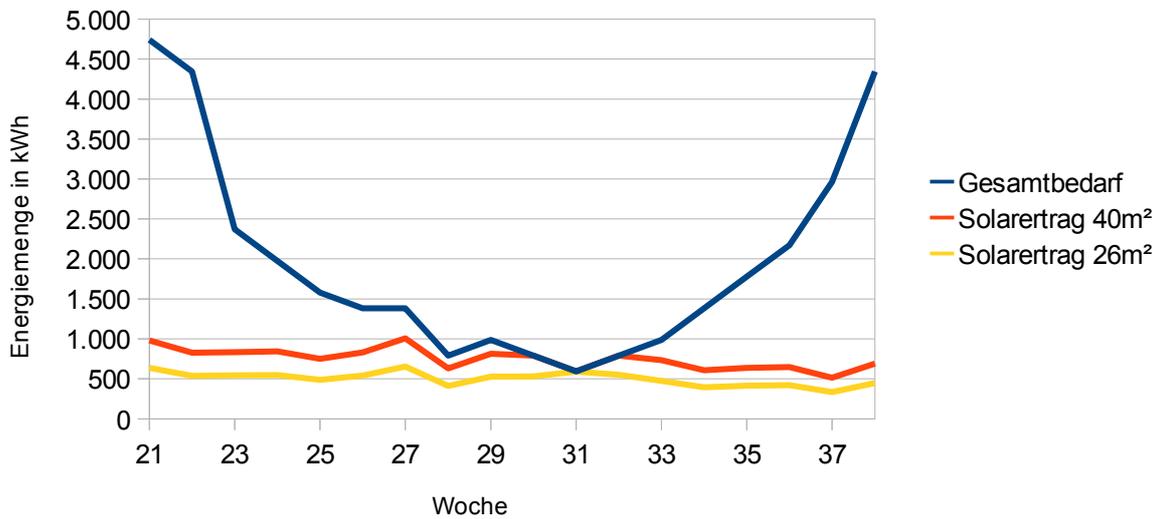


## Betrieb2

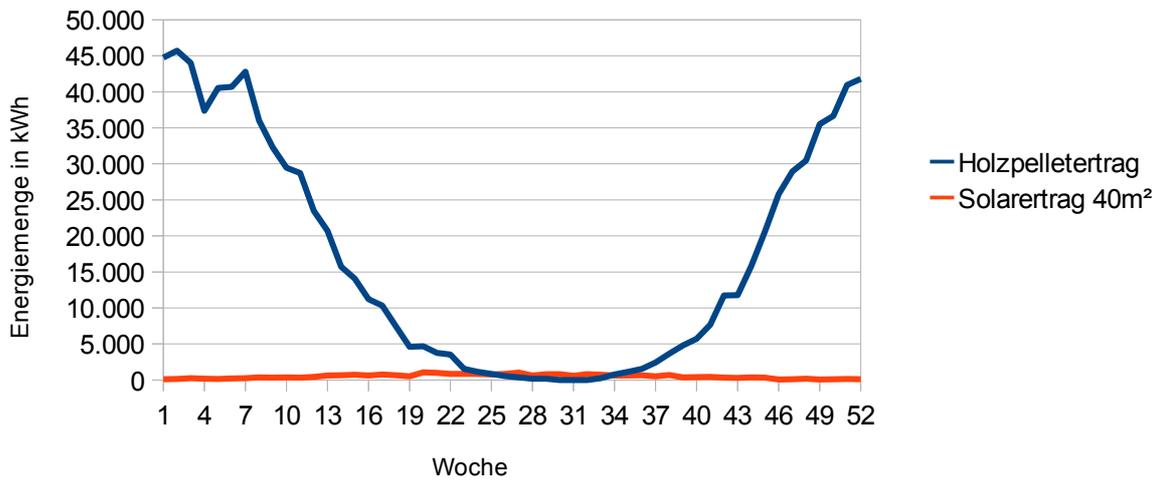
### Betrieb2 Heizbedarf/Solarertrag



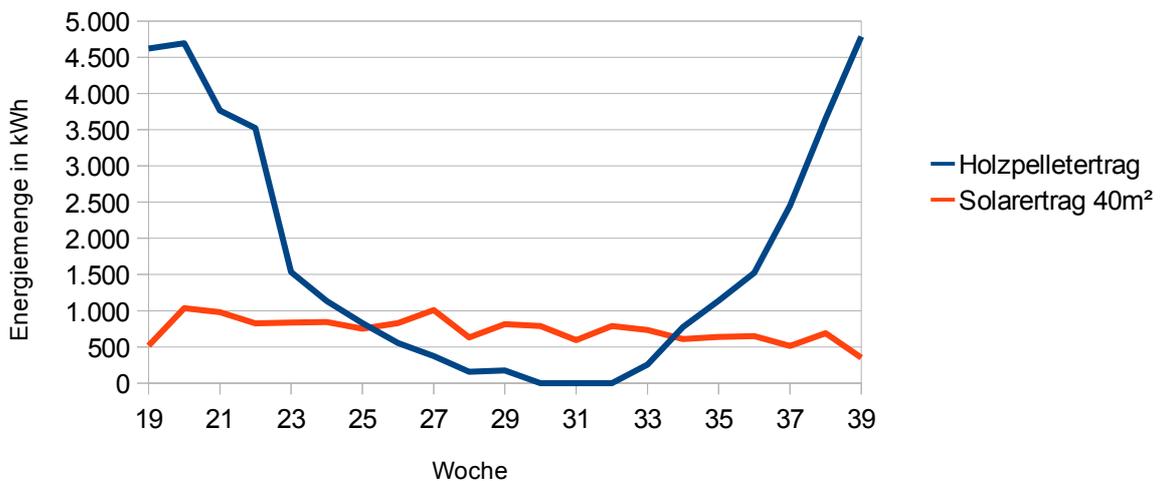
### Betrieb2 Heizbedarf/Solarertrag Woche 21-38



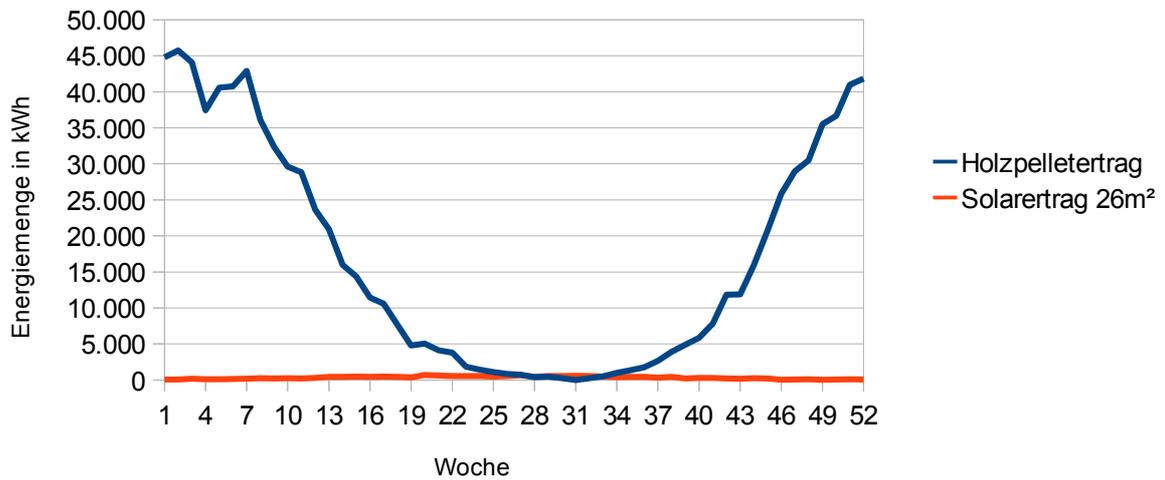
Gesamtheizbetrag aufgeteilt auf Holzpellet- und Solarertrag  
mit 40m<sup>2</sup> Kollektorfläche Betrieb2



Gesamtheizbetrag aufgeteilt auf Holzpellet- und Solarertrag  
mit 40m<sup>2</sup> Kollektorfläche Betrieb2 in Woche 19-39



Gesamtheizbetrag aufgeteilt auf Holzpellet- und Solarertrag  
mit 26m<sup>2</sup> Kollektorfläche Betrieb2

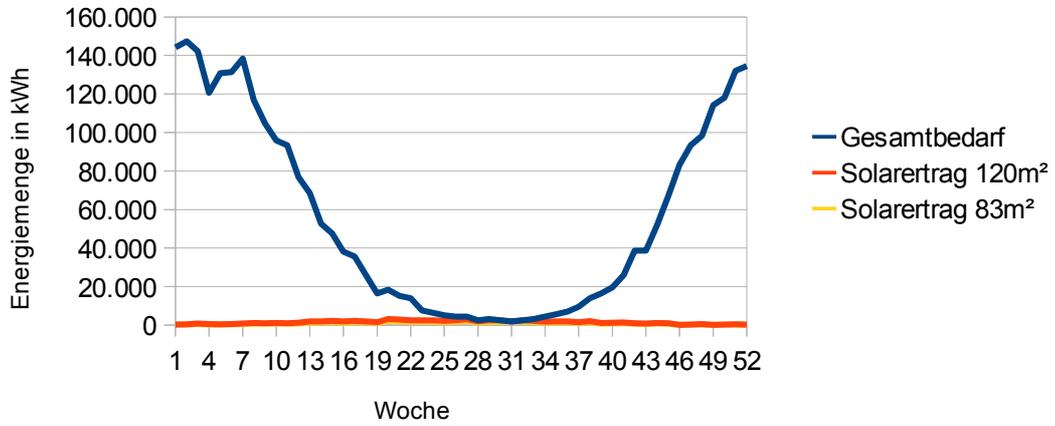


Gesamtheizbetrag aufgeteilt auf Holzpellet- und Solarertrag  
mit 26m<sup>2</sup> Kollektorfläche Betrieb2 in Woche 19-39

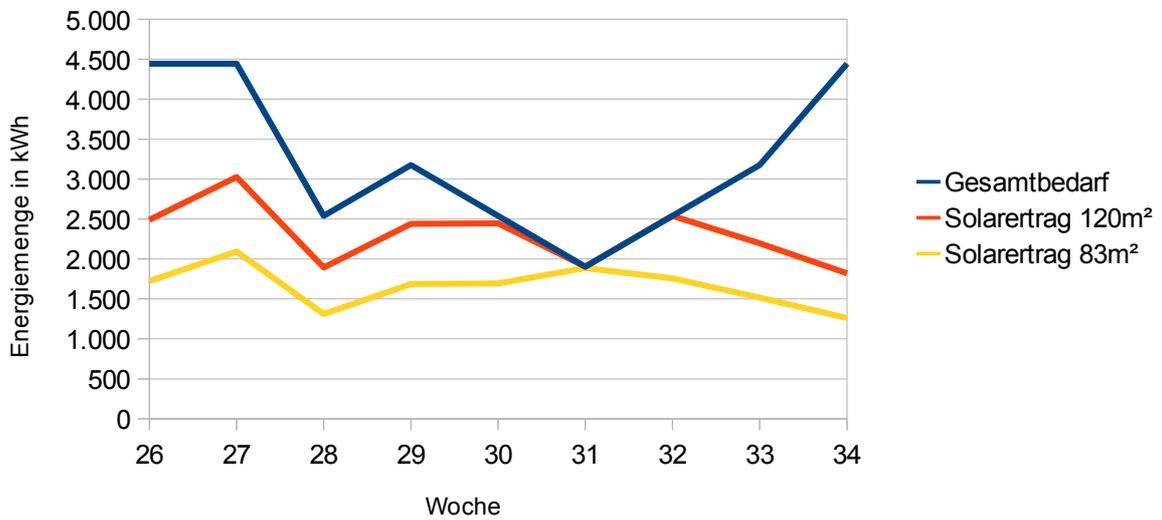


# Betrieb3

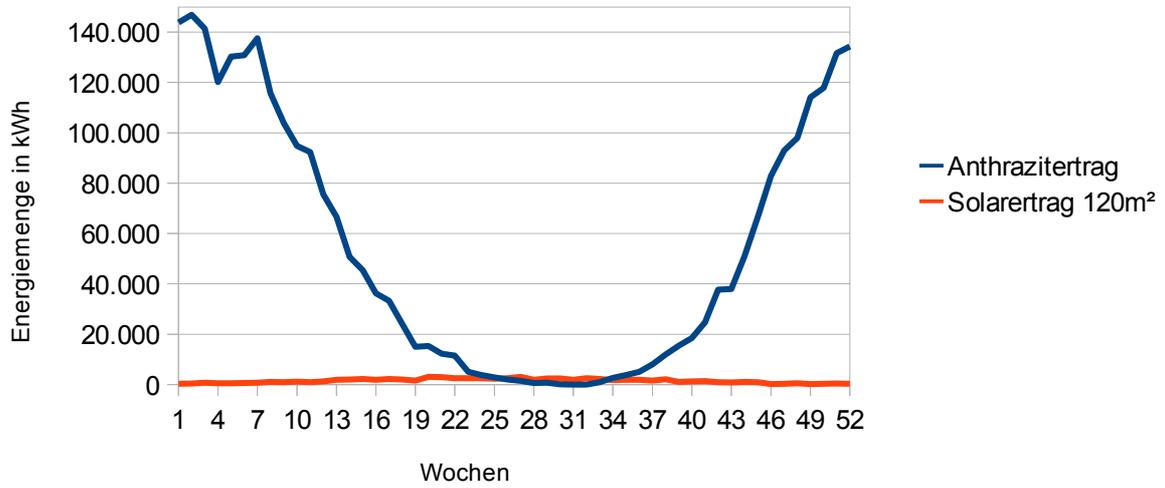
## Betrieb3 Heizbedarf/Solarertrag



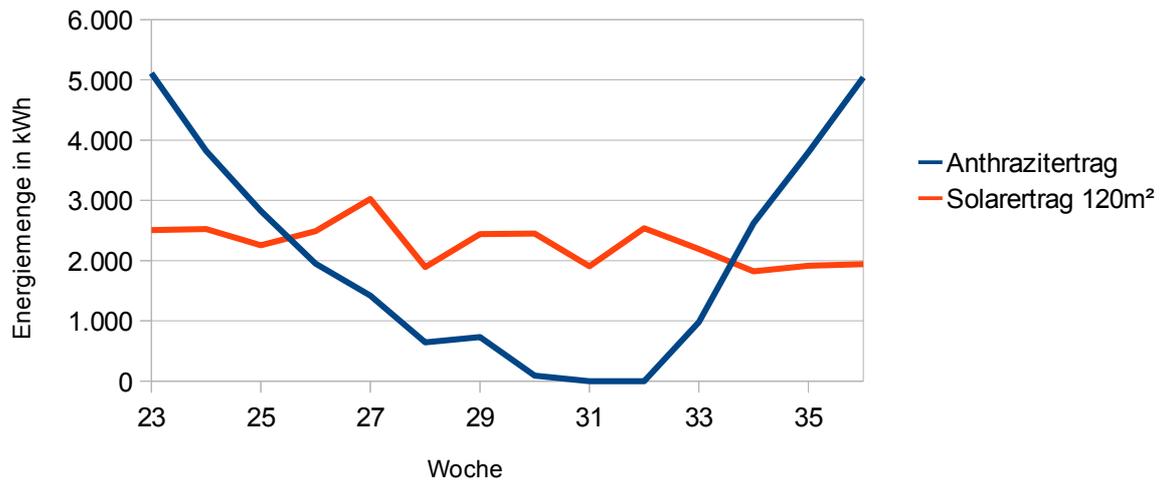
## Betrieb3 Heizbedarf/Solarertrag Woche 26-34



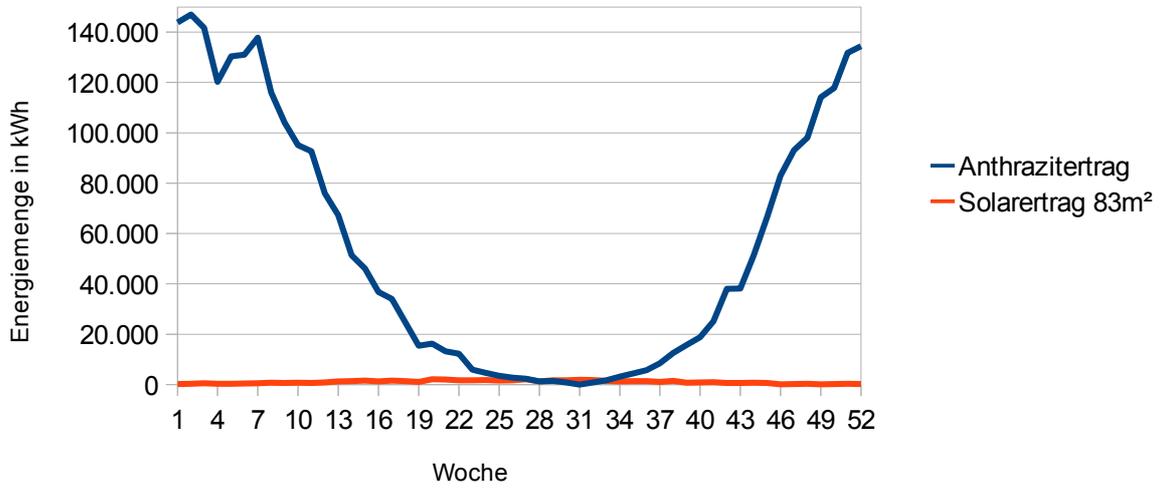
Gesamtheizbetrag aufgeteilt auf Anthrazit- und Solarertrag  
mit 120m<sup>2</sup> Kollektorfläche Betrieb3



Gesamtheizbetrag aufgeteilt auf Anthrazit- und Solarertrag  
mit 120m<sup>2</sup> Kollektorfläche Betrieb3 in Woche 23-36



Gesamtheizbetrag aufgeteilt auf Anthrazit- und Solarertrag mit 83m<sup>2</sup> Kollektorfläche Betrieb3



Gesamtheizbetrag aufgeteilt auf Anthrazit- und Solarertrag mit 83m<sup>2</sup> Kollektorfläche Betrieb3 in Woche 23-36

