Fachhochschule Burgenland GmbH
Steinamangerstraße 21
A-7423 Pinkafeld

# Eisspeichersysteme in Gewerbe und Industrie

**Masterarbeit zur Erlangung des akademischen Grades**
**Diplom-Ingenieur für technisch-wissenschaftliche Berufe**

Betreuer: Dipl.-Ing. (FH) Christoph Urschler
Eingereicht von: Georg Rabenreither, B.Eng.
Personenkennzeichen: 1510400015
Datum: 1. März 2019

# Vorwort

An dieser Stelle möchte ich mich bei meiner Familie und Freunden für die Unterstützung während meines Studiums und dieser Masterarbeit bedanken.

Vielen Dank auch an die Firma Viessmann, welche mir immer kompetent Hilfestellung geleistet hat.

Ein großer Dank gilt auch meinem Betreuer Herr Dipl.-Ing. (FH) Christoph Urschler, welcher mir bei der Erstellung dieser Diplomarbeit stets unterstützend zu Seite stand.

Georg Rabenreither
Gaaden, 1. März 2019

# Kurzfassung Deutsch

In den Zeiten des Klimawandels gewinnen erneuerbare Energien immer mehr an Bedeutung. Die Sonne liefert genug Energie um komplett auf fossile Energieträger zu verzichten. Der Nachteil liegt jedoch in der Nutzbarmachung dieser Energie und in der zeitlichen Verfügbarkeit. Ein Weg zur Lösung dieses Problems können Energiespeicher sein. Eisspeicher stellen Energie mittels Solarthermie und Wärmepumpen das ganze Jahr zum Heizen und Kühlen bereit.

Zielsetzung dieser Arbeit ist es, Eisspeichersysteme hinsichtlich ihres Einsatzes in Gewerbe und Industrie zu bewerten. Das System soll technisch und wirtschaftlich betrachtet werden. Weiters wird die $CO_2$-Einsparung gegenüber herkömmlichen Wärmesystemen verglichen und analysiert.

Zuerst werden die Grundlagen dieser Technologie dargestellt. Bauteile wie Energiespeicher, Wärmepumpe und Solarthermie werden erklärt. Weiters wird das Projekt „Audio Tuning", welches 2016 umgesetzt wurde, untersucht. Es wird technisch analysiert und eine Simulation mittels Simulationsprogramm „Polysun" durchgeführt. Anschließend wird das Projekt mit anderen Energiesystemen wirtschaftlich und ökologisch verglichen.

Die Ergebnisse zeigen, dass das System technisch funktioniert; dies ist jedoch nur bei höheren Preisen von fossilen Energien wirtschaftlich. Es bietet allerdings einige Vorteile, welche monetär nur schwer bewertet werden können. Weiters wird der $CO_2$-Ausstoß und damit das Treibhauspotential mit dieser Technologie reduziert.

# Abstract

In times of climate change, renewable energies are becoming more important. The sun provides enough energy to completely abandon fossil fuels. The disadvantage, however, is the utilization of this energy and in the availability over time. One way to solve this problem is to store the energy. Ice storage can use solar thermal systems and heat pumps to generate energy for heating and cooling throughout the year.

The aim of this work is to evaluate ice storage systems in terms of their use in trade and industry. The system should be considered technically and economically. Furthermore, the $CO_2$ savings, compared to conventional heating systems, are compared and analyzed.

At first, the basics of this technology are presented. Components such as energy storage, heat pump and solar thermal are explained. Furthermore, the project "Audio Tuning", which was implemented in 2016, is being investigated. It will be technically analyzed and carried out a simulation using a simulation program "Polysun". Afterwards the project will be compared with other energy systems economically and ecologically.

The results show that the system works technically, but only at higher prices of fossil fuels is economical. However, it offers some advantages that are difficult to assess in monetary terms. Furthermore, the $CO_2$ emissions and thus the global warming potential are reduced with this technology.

# Inhaltsverzeichnis

**1 Einleitung ... 1**
1.1 Einleitung ... 1
1.2 Zielsetzung ... 2
**2 Grundlagen der verwendeten Technologien ... 3**
2.1 Arten von Energiespeicher ... 3
2.2 Eisspeicher ... 5
2.2.1 Sensible Energiespeicher ... 5
2.2.2 Latente Energiespeicher ... 6
2.2.3 Eisspeicherarten ... 6
2.2.4 Hydraulische Einbindung ... 12
2.2.5 Vor- und Nachteile des Eisspeichers ... 15
2.3 Wärmepumpe ... 18
2.3.1 Jahresarbeitszahl ... 20
2.3.2 COP ... 21
2.4 Solarthermie ... 22
**3 Analyse Projekt „Audio Tuning 2139 Wilfersdorf" ... 24**
3.1 Technische Analyse ... 29
3.1.1 Heizen mit Solarthermie ... 29
3.1.2 Heizen mit Eisspeicher ... 30
3.1.3 Kühlen mit Eisspeicher ... 31
3.1.4 Kühlen mit Wärmepumpe ... 32
3.1.5 Regenerieren des Eisspeichers ... 33
3.2 Simulation ... 34
3.2.1 Systemübersicht ... 36
3.2.2 Solar-Luft-Kollektoren ... 37
3.2.3 Sole-Wärmepumpe ... 43
3.2.4 Eisspeicher ... 44
3.3 Wirtschaftliche Analyse ... 45
3.3.1 Kapitalgebundene Kosten ... 46
3.3.2 Barwerte ... 54
3.4 Vergleich des $CO_2$ Ausstoßes zu anderen Technologien ... 56
3.4.1 Treibhauspotential ... 56
**4 Zusammenfassung ... 61**
**5 Verzeichnisse ... 64**
5.1 Literaturverzeichnis ... 64
5.2 Abbildungsverzeichnis ... 66
5.3 Tabellenverzeichnis ... 67
**6 Anhang ... 68**

# 1 Einleitung

## 1.1 Einleitung

Wie wandelt man am besten Energie so um, dass sie für Arbeit und Wärmebereitstellung genutzt werden kann? Das ist eine Frage, die seit der französischen Revolution immer wichtiger geworden ist; seitdem sind Maschinen im Einsatz. Als Hauptrohstoff wurde damals Kohle verwendet. Kohle wurde eingesetzt, um Dampf zu erzeugen und damit Maschinen anzutreiben um so die Arbeit effizienter zu gestalten.

Der nächste Schritt der Energieerzeugung war Erdöl, das ist seit vielen tausend Jahren bekannt ist. So haben schon die Menschen vor 120.000 Jahren im Orient damit hantiert. Da Erdöl eine geringere Dichte als Wasser hat, kann es vorkommen, dass es in Form einer teerartigen Substanz an die Erdoberfläche tritt. (Brökelmann, 2010)

Erdöl hat einige Vorteile zu bieten. Einfache Gewinnung oder eine hohe Energiedichte, hat es möglich gemacht, sich seit einigen Jahrzehnten zu einer der meistgenutzten Rohstoffe der Welt durchzusetzen. Die Folgen der Nutzung dieses Rohstoffes sind für den Planeten aber verheerend.

Doch gibt es eine Energiequelle, die billiger und umweltfreundlicher zu nutzen ist als Erdöl – die Sonne!

Die Sonne selbst hat eine Abstrahlleistung von $63{,}5*10^6$ W/m$^2$. Nach Passieren der Atmosphäre ist die max. Einstrahlungsintensität ca. 1kW/m$^2$ in Österreich. (Kaltschmitt, 2005)

Diese Zahlen zeigen deutlich, welch enormes Potential in der Energiequelle Sonne steckt. Doch es gibt auch einen Grund, warum es nicht ganz einfach ist, die Energie der Sonne zu nutzen. Einerseits sind es die thermodynamischen Grundgesetze, andererseits die Verluste, welche bei Umwandlung von Energie entstehen. Die Thermodynamik spielt vor allem bei der Speicherung eine große Rolle, denn die Nachfrage nach Energie ist nicht immer am größten, wenn sie gerade zur Verfügung steht. Im Sommer besteht ein Überangebot an Wärmestrahlung, wo sich hingegen im Winter ein Defizit an Strahlungsenergie bemerkbar macht.

Die Erhöhung des Anteils von erneuerbarer Energie ist auch politisch ein wichtiger Punkt. So hat die EU in den letzten Jahren einige Verordnungen und Richtlinien zur nachhaltigen Entwicklung erneuerbarer Energien beschlossen.

Die Europäische Union setzte im Jahr 2008 drei wesentliche Ziele fest:

- 20% Erneuerbare Energie bis 2020
- 20% Einsparung des Energieverbrauchs bis 2020
- 20% Reduktion der CO2-Emissionen

(Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2009)

Österreich hat sich, neben weiteren Zielen, die Erhöhung des Anteils von erneuerbarer Energie auf 34% des Gesamtenergieverbrauchs vorgenommen.

Diese Ziele können nicht nur durch die Einsparung von Energie im privaten Sektor erreicht werden, sondern auch in Industrie und Gewerbe. Ein Eisspeicher kann hier dazu beitragen, den Anteil an erneuerbarer Energie zu erhöhen.

## 1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es, das Eisspeichersystem sowohl technisch, als auch wirtschaftlich darzustellen. Anhand eines real durchgeführten Projektes soll die Sinnhaftigkeit eines Eisspeichers erörtert werden. Gerade bei großen Projekten spielt die Wirtschaftlichkeit oft größere Rolle, als die Einsparung von Schadstoffen. Die derzeitige Fördersituation soll daher auch durchleuchtet werden.

# 2 Grundlagen der verwendeten Technologien

Im Allgemeinen werden Energiespeicher benötigt, um Angebot und Nachfrage von Energie ausgleichen zu können. Die Abbildung 1 zeigt die konkrete jahreszeitliche Verschiebung zwischen Solarstrahlung und Wärmebedarf am Standort Wiener Neustadt. Man kann erkennen, dass der Wärmebedarf (QHZWW) in den Wintermonaten höher ist als im Sommer, wobei in den Sommermonaten mehr Wärme (Qsol) zur Verfügung steht.

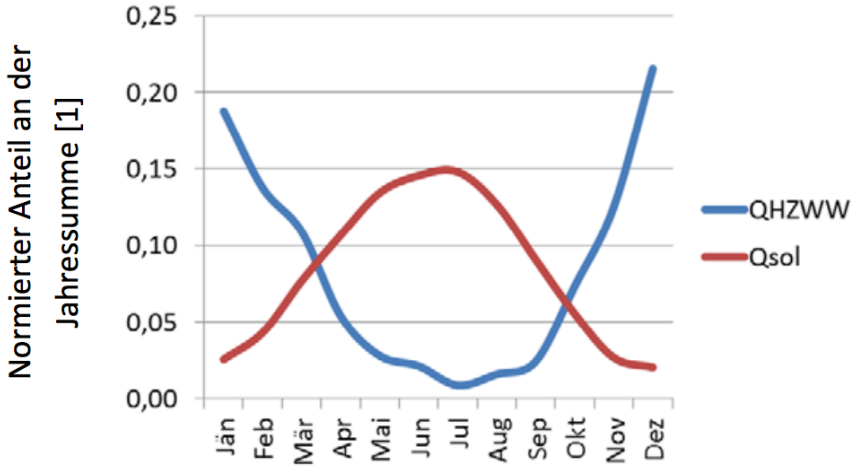



Abbildung 1: Jahreszeitliche Verschiebung zwischen Solarstrahlung und Wärmebedarf (GeoSol Endbericht, 2013)

Dieses einfache Beispiel macht die Sinnhaftigkeit eines Energiespeichers deutlich.

Nachfolgend werden die Grundlagen der benötigten Bauteile für ein Eisspeichersystem beschrieben.

## 2.1 Arten von Energiespeicher

Die Einteilung von Energiespeichern kann auf mehrere Arten erfolgen. Im Folgenden wird nur auf thermische Speicher eingegangen.

In Abbildung 2 ist eine mögliche Aufteilung thermischer Speicher zu sehen.

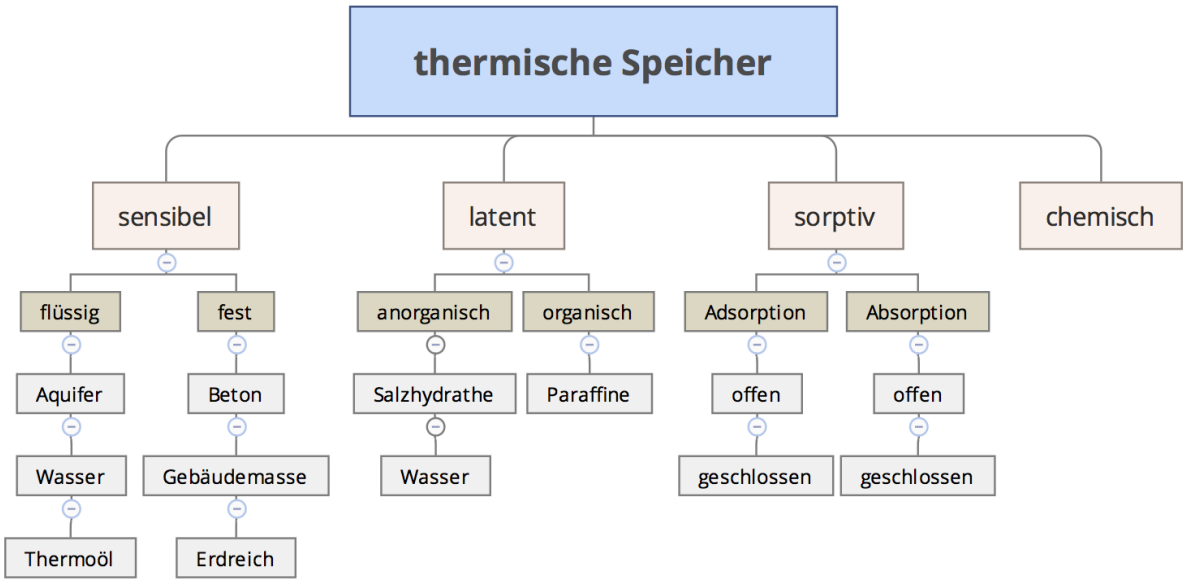



Abbildung 2: Einteilung thermischer Energiespeicher (Schossig 2010, modifiziert)

Der wohl am weitest verbreiteten Speichertyp ist der Wasserspeicher, da Wasser einige Vorteile gegenüber anderen Medium bietet:

- preisgünstig
- hohe spezifische Wärmekapazität (4,18 kJ/(kg*K))
- relativ niedrige Viskosität (1,004 $10^{-6}$ $m^2$ $s^{-1}$, bei 20 °C)
- einfache Handhabung

Die wichtigsten Anforderungen an einen Speicher sind:

- hohe Energiedichte, um das benötigte Volumen möglichst gering zu halten und damit den Verlust von nutzbarem Raum zu minimieren
- geringe Verluste bei Stillstand
- möglichst gleich hohe Temperatur bei Ladung und Entladung des Speichers
- ausreichend hohe Lade- und Entladeleistung, um die vom Erzeuger bereitgestellte und vom Verbraucher geforderte Wärmeleistung liefern zu können

(Schossig, 2010)

## 2.2 Eisspeicher

Vergleicht man nun die Unterteilung der Speicherarten von sensibel und latent an, so wird man bemerken, dass ein Eisspeicher in beide Kategorien hineinfällt.

Zuerst muss erklärt werden, was der Unterschied zwischen latent und sensibel bedeutet, danach wird die Funktionsweise des Eisspeichers erläutert und es ist somit klar, wieso er nicht nur in eine Kategorie fällt.

### 2.2.1 Sensible Energiespeicher

Sensibel bedeutet, dass die Wärmespeicherung fühlbar ist. Die Aufnahme und Abgabe von Energie erfolgt proportional zu einer Temperaturänderung des Speichermediums. (Schossig, 2010)

$$Q_{speicher} = m * cp * (T1 - T2) \tag{2.1}$$

| | |
|---|---|
| $Q_{speicher}$ | (nutzbare) Wärmemenge des Speichers in [J] |
| m | effektive Masse des Speichermediums in [kg] |
| cp | spezifische Wärme des Speichermediums in [J/kgK] |
| T1 | Temperatur des Speichermediums in [°C] |
| T2 | Nutzungs-Bezugstemperatur in [°C] |

Durch die Errechnung von $Q_{speicher}$ (2.1) lassen sich einige wichtige Auswahlkriterien der Wahl des Speichermediums treffen. Hierbei ist die spezifische Wärme des Speichermediums ein wichtiger Teil. Ist cp groß, so kann viel Energie, bezogen auf das Gewicht des Mediums, aufgenommen werden.

Wasser hat eine spezifische Wärmekapazität von 4,18kJ/kgK und ist einer der am besten geeigneten Stoffe für dieses Einsatzgebiet. Je geringer die spez. Wärmekapazität ist, desto mehr Stoffmenge muss eingesetzt werden, um auf die gleiche Speicherkapazität zu kommen.

Doch die Nachteile bestehen in den auftretenden Wärmeverlusten. Aus diesem Grund müssen sensible Speicher einerseits gut gedämmt werden und andererseits ein kleines Oberfläche-Volumen-Verhältnis aufweisen. Der Idealfall wäre ein kugelförmiger Behälter. Da dies schwer technisch und massentauglich auszuführen ist, haben sich zylinderförmige Speicher durchgesetzt. Bei kleineren Speichern ist oft das Verhältnis nicht optimal ausgeführt, dies ist jedoch vernachlässigbar. (Oertl, 2008)

### 2.2.2 Latente Energiespeicher

Im Gegensatz zu sensiblen Speichern wird bei latenten Speichern der Phasenübergang von Aggregatzuständen ohne Temperaturänderung zur Energiegewinnung genützt. Dabei profitiert man von der Kristallisationswärme. Aufgrund des Energieerhaltungssatzes ist beim Schmelzen eines Stoffes genau die gleiche Energiemenge vonnöten, wie beim Erstarren frei wird.

Für die Anwendung von Niedertemperaturwärmespeichern wird ausschließlich der Phasenwechsel von fest zu flüssig genützt; dieser ist einfacher zu handhaben. Bei dem Phasenwechsel von flüssig zu gasförmig entstehen große Druck- oder Volumenänderungen.

Ein großer Vorteil von latenten Speichern gegenüber sensiblen Speicher ist der geringe Verlust durch Wärmeübertragung an die Umgebung. Weiters ist die hohe Energiedichte bei kleinen Temperaturspreizungen vorteilhaft, die damit ein kleines Speichervolumen möglich machen.

Ein wichtiges Thema bei latenten Speichern ist das Wärmespeichermaterial. Neben dem klassischen Wärmespeichermedium Wasser, wie im Eisspeicher, haben sich organische Paraffine und anorganische Salzhydrate etabliert. (Schossig, 2010)

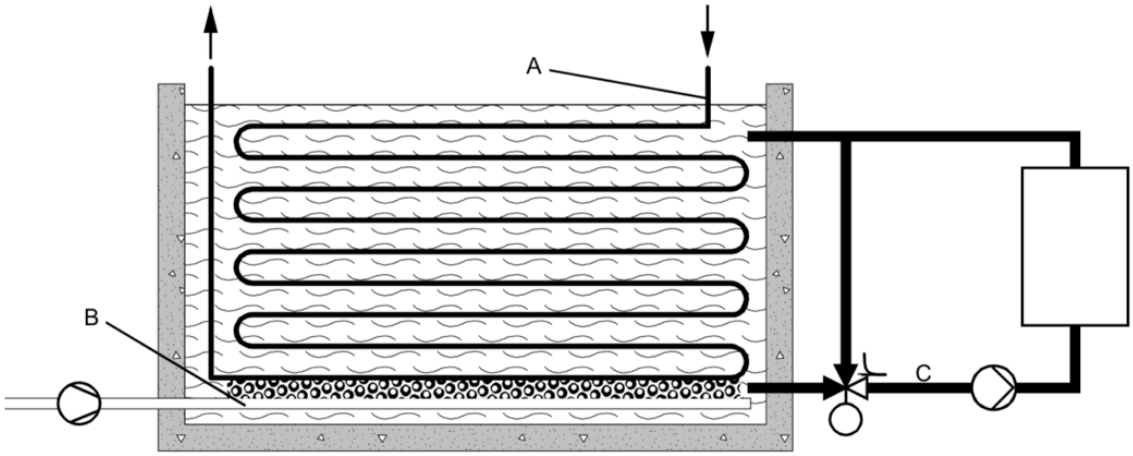
### 2.2.3 Eisspeicherarten

Es gibt eine Reihe von Aufbauten von Eisspeichern. Hauptsächlich werden jedoch drei Bauarten unterschieden:

- Direktverdampfersysteme
- Eisspeicher mit wassergefüllten Kunststoffkugeln
- Eisspeicher mit spiralförmig angeordneten Wärmetauscherrohren

## Direktverdampfersysteme

Direktverdampfersysteme in Eisspeichern sind sehr ähnlich dem klassischen Direktverdampfersystem (Verdampfer horizontal im Erdreich). Hier wird der Verdampfer mit Kältemittel durchströmt und im Eisspeicher verlegt. Der Vorteil liegt darin, dass auf einen weiteren Trenntauscher und dem einhergehenden Energieverlust verzichtet werden kann. Um hier einen gleichmäßigen Eisansatz zu gewährleisten, muss das Wasser mit Pumpen umgerührt oder mit Einblasen von Luft am Boden des Tanks umgewälzt werden, wie in Abbildung 3 ersichtlich ist.



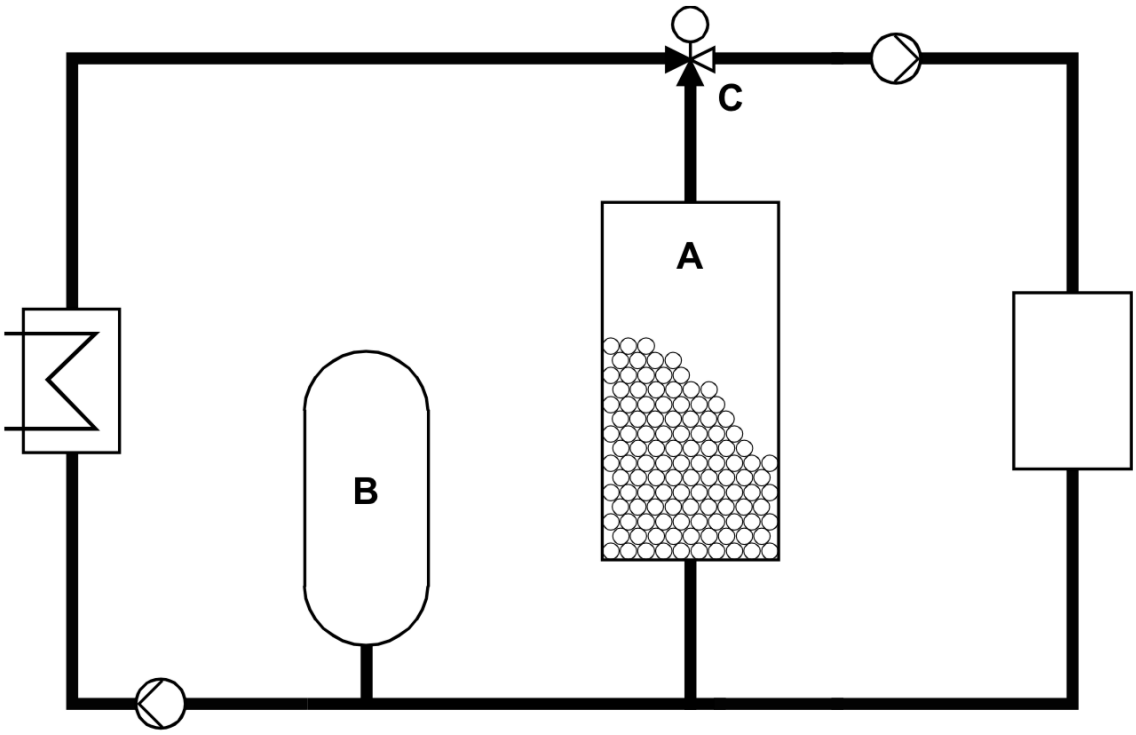

Direktverdampfersystem
A Direktverdampfer mit Kältemittel
B Lufteinperlung
C Kühlwasserkreis

Abbildung 3: Eisspeicher Direktverdampfersystem (Siemens Schweiz AG, 2017)

(Siemens Schweiz AG, 2017)

## Eisspeicher mit wassergefüllten Kunststoffkugeln

Bei diesem System ist der Eisspeicher mit speziellen, wassergefüllten Kunststoffkugeln zu 50-70% gefüllt und in den Solekreis eingebunden. Die Kugeln sind so designt, dass sie sich beim Gefrieren ausdehnen können und die Energie speichern. In Abbildung 4 erkennt man die Anordnung eines solchen Eisspeichers.




Eisspeicher mit Kunststoffkugeln in Solekreislauf eingebunden
A Eisspeicher
B Ausdehnungsgefäss
C Umstellventil

Abbildung 4: Eisspeicher mit Kunststoffkugeln (Siemens Schweiz AG, 2017)

(Siemens Schweiz AG, 2017)

## Eisspeicher mit spiralförmig angeordneten Wärmetauscherrohren

Dieser Eisspeicher weist eine einfachere Konstruktion auf und wird daher oft eingesetzt. Mit dem Eisspeicher ist Kühlen und Heizen möglich. Diese Arbeit bezieht sich in weiterer Folge auch auf dieses System.

Der Eisspeicher besteht aus einem Behälter der meist aus Stahlbeton oder faserverstärktem Kunststoff hergestellt ist. In diesem sind Regenerations- und

Entzugswärmetauscher in kreisförmiger Anordnung verbaut, wie in Abbildung 5 ersichtlich.

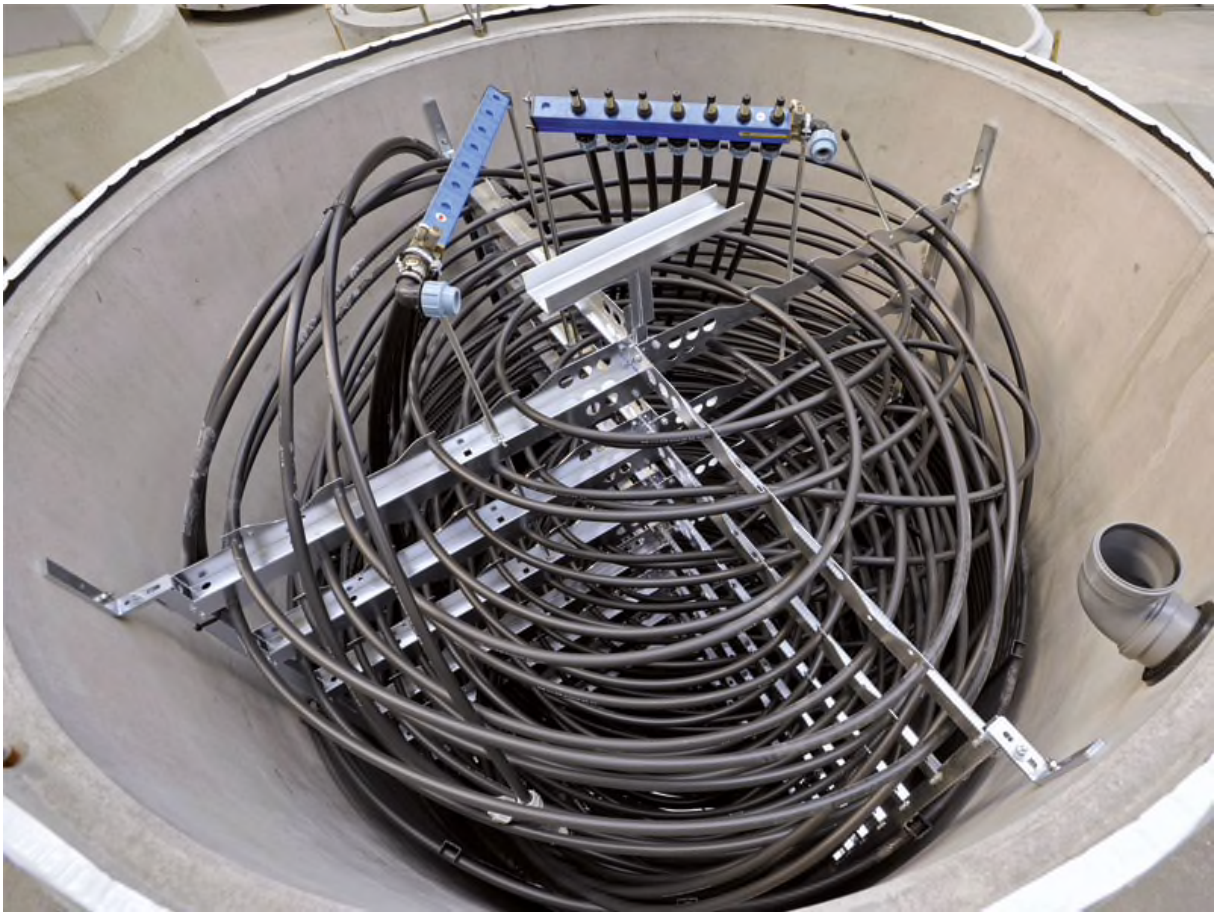


Abbildung 5: Wärmetauscher in einem Eisspeicher (Viessmann, 2018)

Der Entzugswärmetauscher ist Teil des Primärkreises der Wärmepumpe. Hier wird dem Eisspeicher die Energie entzogen und der Wärmepumpe zugeführt. Dabei wird, über die Zeit, dem Wasser so viel Energie entzogen, dass ein Phasenwechsel von flüssig zu fest stattfindet. Hierbei ist es wichtig, dass das Wasser von innen nach außen gefriert um Frostsprengungen auszuschließen. In Abbildung 6 wird dargestellt, in welchen Temperaturbereichen ein Eisspeicher arbeitet. Dabei wird auch wieder dargestellt, wieso ein Eisspeicher als latenter und sensibler Speicher klassifiziert wird.

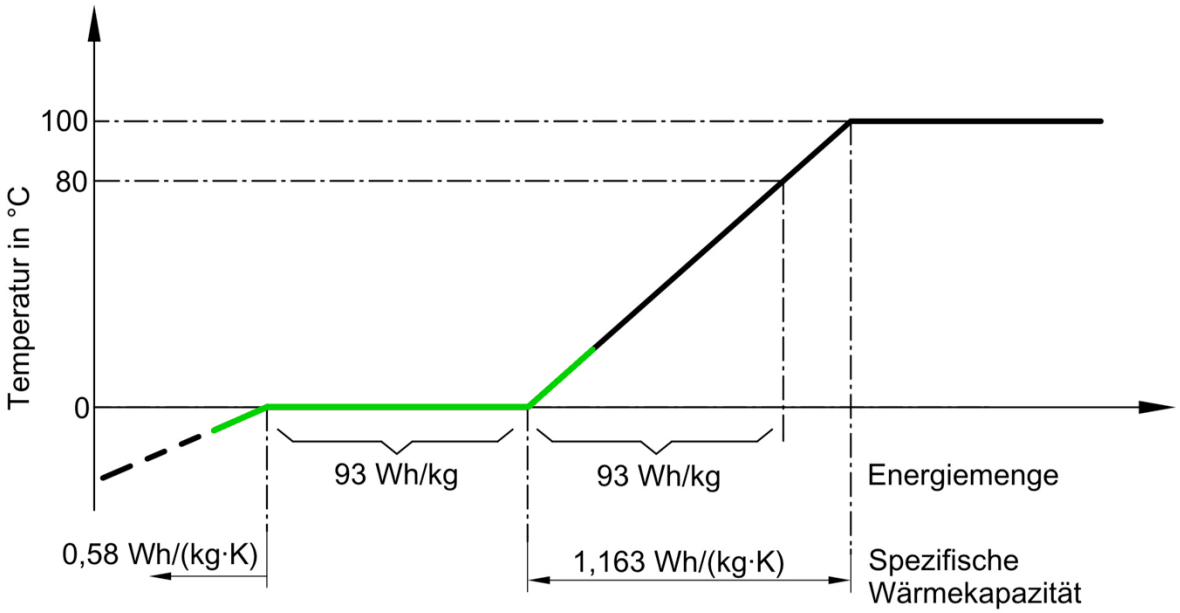



Abbildung 6: Arbeitsbereich eines Eisspeicher, grün markierter Bereich (Viessmann, bearbeitet, 2018)

Der Regenarationswärmetauscher hingegen führt dem Eisspeicher die Energie wieder zu. Dies kann beispielsweise über eine Solarthermieanlage erfolgen. Eine weitere Energiequelle ist das umliegende Erdreich um den Eisspeicher. Hierbei ist wichtig, dass die Wände nicht thermisch isoliert werden.

## Material des Wärmetauschers

Die spiralförmigen Wärmetauscher sind in der Praxis meist aus PP (Polyprobylen) gefertigt.
Hier kommt die Frage auf, wieso die Wärmetauscher nicht aus Kupfer hergestellt werden. In Abbildung 7 ist ersichtlich, dass ein Kupferrohr mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten von 1500 $W/m^2K$ (Innendurchmesser 50mm, Wandstärke 1mm) am besten geeignet wäre. Da PP-Rohre (Innendurchmesser 50mm, Wandstärke 5mm) auch eine schlechtere Belastbarkeit aufweisen, muss die Wandstärke dicker ausgeführt werden, was noch einmal zu einem schlechteren Wärmeübertrag führt. Jedoch ist der Preis von Kupfer um ein vielfaches höher, als der von PP, was die Wirtschaftlichkeit wiederum stark beeinträchtigen würde. Aus diesem Grund wird ein Kompromiss mit PP-Rohren eingegangen. (Philippen, 2012)

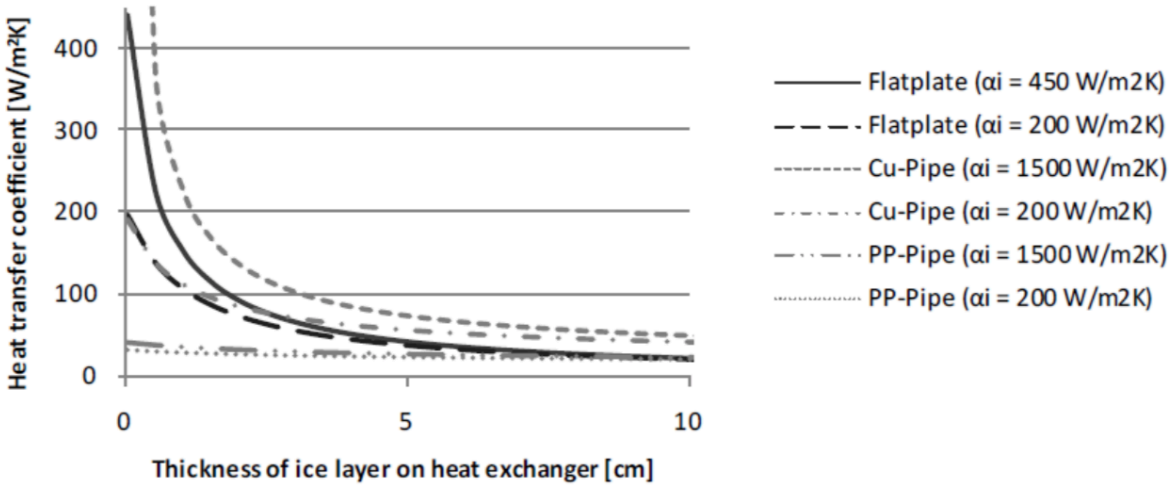



Abbildung 7: Wärmedurchgangskoeffizient in Abhängigkeit der Eisschicht (Philippen, 2012)

## Wachstum der Eisschicht

Die Wirtschaftlichkeit von Eisspeichern hängt unter anderem auch von dem Zusammenhang von Geschwindigkeit der Eisbildung und der Medientemperatur ab. Auf der einen Seite bieten tiefe Temperaturen eine schnelle Eisbildung, was für mehr Energiespeicherung sorgt, andererseits sind tiefe Temperaturen kontraproduktiv für die Effizienz der Wärmepumpe.
In Abbildung 8 ist das zeitliche Wachstum der Eisschicht auf einer Ebene ersichtlich. Hier erkennt man, dass je niedriger die Soletemperatur ist, desto schneller die Schichtdicke s[m] wächst. (Dohmann, 2016)

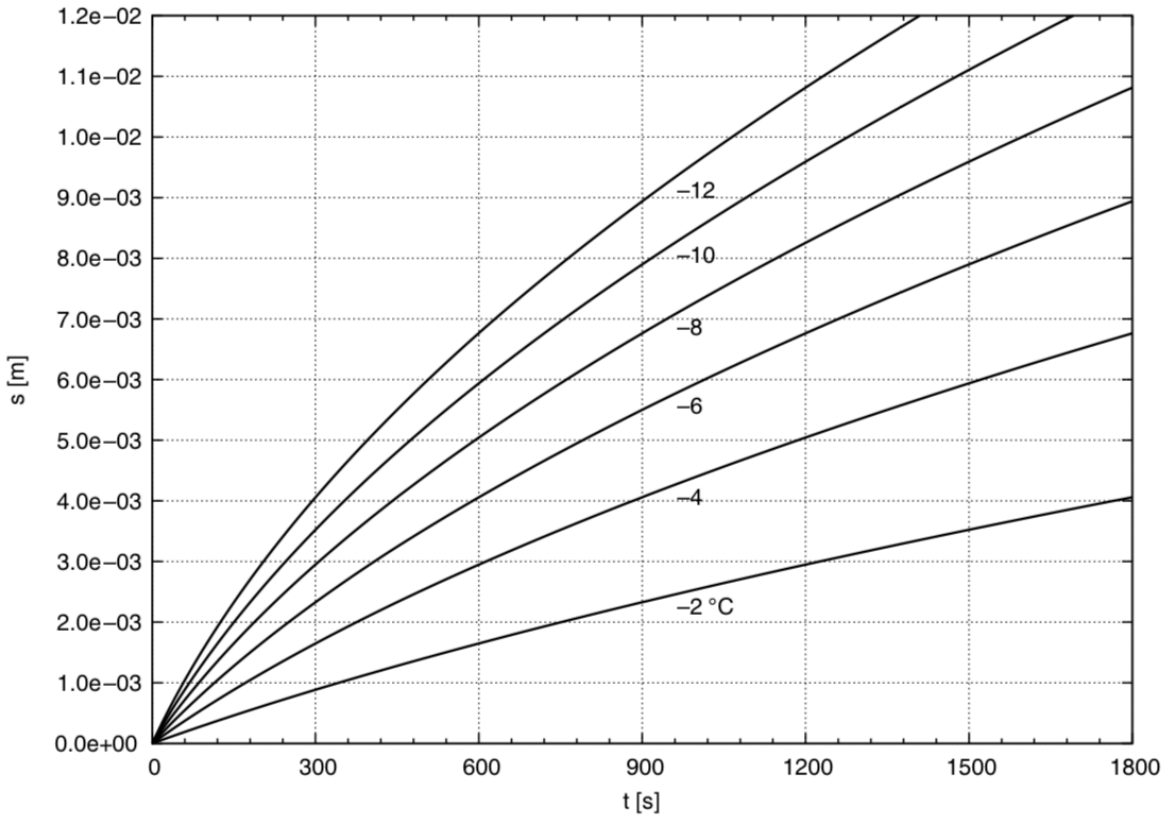



Abbildung 8: zeitliches Wachstum Eisschicht (Dohmann, 2016)

Mithilfe dieser Zusammenhänge werden die Bedingungen für den Betrieb angepasst, um damit den Zeitpunkt der Schichtdicke zu bestimmen. Hierbei kann somit die Einsparung von Energie und damit auch die Einsparung von Betriebskosten erreicht werden.
Je nach Größe des Speichers, werden Eisspeicher auch als saisonale Speicher genutzt.

### 2.2.4 Hydraulische Einbindung

Im Folgenden wird die typische hydraulische Einbindung eines Eisspeichers aufgezeigt und beschrieben. Die Hydraulik ist in den Grundzügen leistungsunabhängig. Das hydraulische Schema ist in Abbildung 9 und Abbildung 10 dargestellt und wird anschließend erläutert.

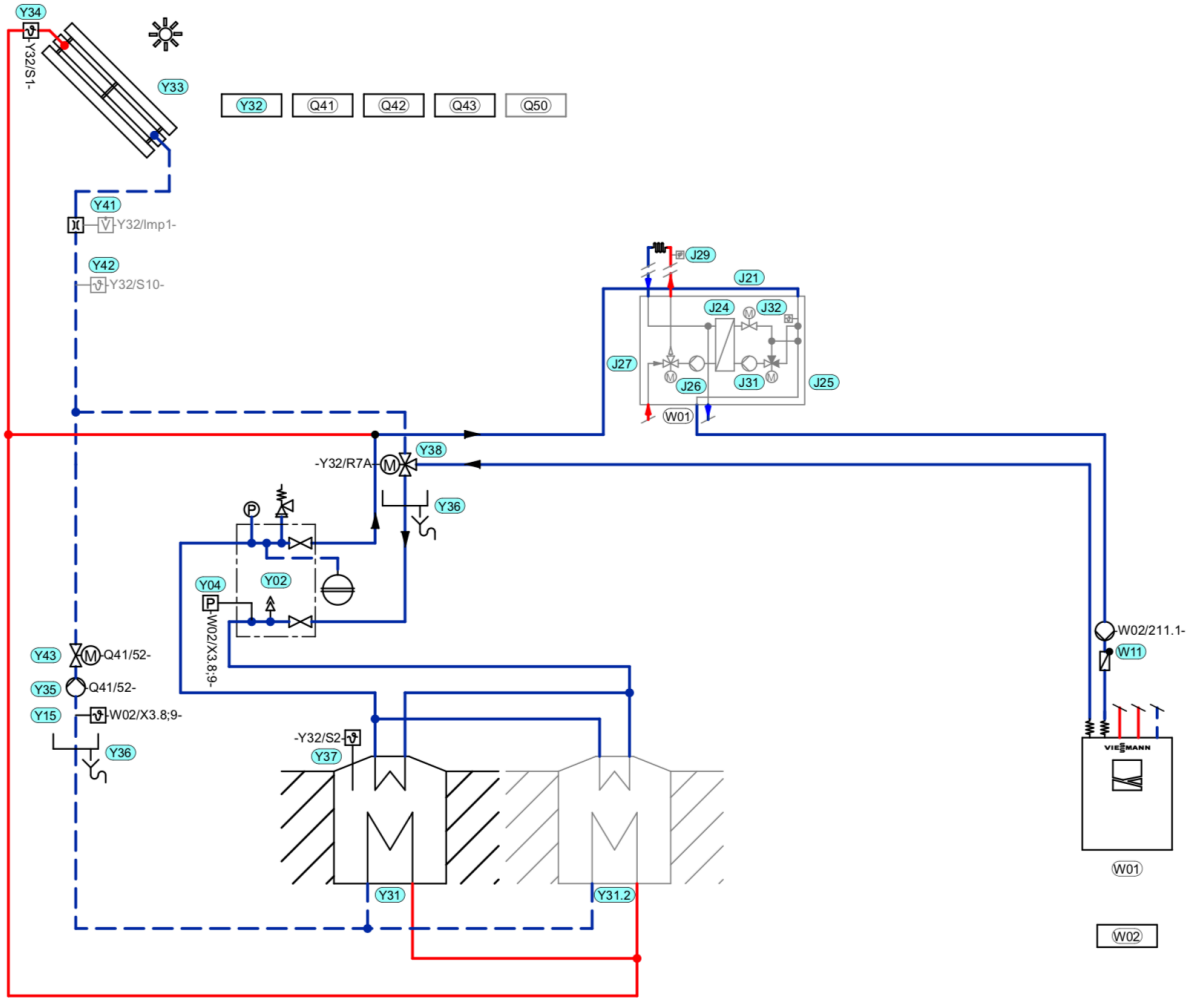



Abbildung 9: hydraulisches Schema Einbindung Eisspeicher (Viessmann, 2018)

**Wärmepumpe**

| Pos. | Bezeichnung |
|---|---|
| W01 | Sole-/Wasser-Wärmepumpe Vitocal 222-G/333-G/300-G |
| W02 | Wärmepumpenregelung Vitotronic 200, Typ WO1C |
| W11 | Primärpumpe |

**Primärkreis**

| Pos. | Bezeichnung |
|---|---|
| Y02 | Sole-Zubehörpaket |
| Y04 | Druckwächter Primärkreis |
| Y15 | Frostschutzwächter |
| Y31 | Eisspeicher |
| Y31.2 | Eisspeicher (optional) |
| Y32 | Regelung des/der Eisspeicher, Vitosolic 200, Typ SD4 |
| Y33 | Luftabsorber |
| Y34 | Absorbertemperatursensor |
| Y35 | Absorberkreispumpe |
| Y36 | Kondensat-Auffangwanne |
| Y37 | Eisspeicher-Temperatursensor |
| Y38 | Umschaltventil Beladung Eisspeicher |
| Y41 | Volumentromgeber Imp1 (optional, bauseits zur Bilanzierung auf den max. Volumenstrom ausgelegt) |
| Y42 | Temperatursensor S10 (optional) |
| Y43 | 2-Wege-Motorkugelventil |

**Kühlkreis**

| Pos. | Bezeichnung |
|---|---|
| J21 | NC-Box (optional) |
| J24 | Plattenwärmetauscher "natural cooling" |
| J25 | 3-Wege-Mischer |
| J26 | Sekundäre Kühlkreispumpe |
| J27 | 3-Wege-Umschaltventil |
| J29 | Feuchteanbauschalter 24 V |
| J31 | Primäre Kühlkreispumpe |
| J32 | 2-Wege-Motorventil (stromlos geschlossen) |

**Systemzubehör**

| Pos. | Bezeichnung |
|---|---|
| Q41 | Hilfsschütz Q1 |
| Q41 | Hilfsschütz K1 |
| Q42 | Hilfsschütz K2 |
| Q43 | Hilfsschütz K3 |
| Q50 | KM-Bus-Verteiler (optional, nur bei Verwendung der Kühlfunktion NC) |

Abbildung 10: hydraulisches Schema Einbindung Eisspeicher Legende (Viessmann, 2018)

Die Wärmepumpe nutzt entweder den Solar-Luftabsorber oder den Eisspeicher als Primärquelle. In einem einstellbaren Temperaturbereich dient immer der Solar-Luftabsorber als Primärquelle. In diesem Fall befindet sich das 3-Wege- Umschaltventil "Eisspeicher" in der Stellung "Solar-Luftabsorber".

Unterhalb des angegebenen Temperaturbereichs werden die Temperaturen von Solar-Luftabsorber und Eisspeicher von der Regelung verglichen. Falls die

Absorbertemperatur höher liegt als die Eisspeichertemperatur, wird weiterhin der Solar-Luftabsorber als Primärquelle verwendet, ansonsten der Eisspeicher. Bei Absorbertemperaturen oberhalb von jener maximalen Temperatur, die die Wärmepumpe verarbeiten kann, ist immer der Eisspeicher die Primärquelle.

Bei der Regeneration des Eisspeichers wird von der Absorberkreispumpe Wärme vom Solar-Luftabsorber in den Eisspeicher gebracht. Dieser Prozess ist nur möglich, wenn die Wärmepumpe den Solar-Luftabsorber nicht als Primärquelle nutzt oder die Kühlfunktion nicht eingeschaltet ist. Die Regeneration beginnt, wenn die Temperaturdifferenz zwischen Absorber und Eisspeicher den vorgegebenen Sollwert überschreitet. Die Absorbertemperatur muss hierbei innerhalb eines eingestellten Temperaturbereichs liegen.

### 2.2.5 Vor- und Nachteile des Eisspeichers

Im nachfolgenden Abschnitt soll ein Überblick gegeben werden, welche Argumente für und welche gegen ein Eisspeichersystem sprechen können.

#### Nicht nur sensible Wärme wird genutzt

Wie in Kapitel 2.2.3 kurz beschrieben, wird bei einem Eisspeicher nicht nur sensible, sondern auch latente Wärme genützt. Folgendes Zahlenbeispiel (2.1) soll die freiwerdende Wärmemenge der Zustandsänderung aufzeigen.

Um 1 kg Wasser um 1 K zu erwärmen sind 4,18 kJ/kgK (von 20,5 °C auf 21,5 °C) vonnöten. Erwärmt man nun 1000 kg (also 1 $m^3$) Wasser von 0 °C auf 80 °C benötigt man ca. 334.400 kJ.

$$Q = m * c * \Delta T \tag{2.2}$$

$$Q = 1000\ kg * 4{,}18\ \frac{kJ}{kg * K} *\ 80\ K$$

$$Q = 334.400\ kJ$$

$$\frac{334.400\ kJ}{3600\ s} = 92{,}89\ kWh$$

Für das Umwandeln von 0 °C Eis in 0 °C Wasser müssen ca. 334 kJ/kg eingesetzt werden.

Das heißt also, dass bei der Zustandsänderung von Wasser von fest zu flüssig die gleiche Energiemenge frei wird, wie bei der Erwärmung von Wasser um oben genannten Wert. Wandelt man nun 334.400 kJ in kWh um, so erhält man 92,89 kWh.

Zum Vergleich hat 1 Liter Heizöl EL einen Heizwert von ca. 10,0 kWh. Also entspricht die Energiemenge beim Phasenübergang von 1 $m^3$ Wasser dem Energieinhalt von ca. 10 Liter Heizöl.

## Kein Einfluss auf das umliegende Erdreich

Beim Einsatz von Tiefensonden kann es vorkommen, dass das umliegende Erdreich vereist oder austrocknet. Dies passiert, wenn entweder zu viel Energie aus dem Erdreich entzogen wird oder das Solegemisch mit einer zu hohen Temperatur in die Sonden geleitet werden. In Tabelle 2-1 ist die Bodentemperatur über das Jahr gemittelt ersichtlich. Diese Ergebnisse stammen aus der Simulation des Projektes „Audio Tuning" (welches ab Kapitel 3 beschrieben wird). Daran wird sichtbar, dass sich die Temperaturen des Erdreichs mit Eisspeicher nicht gravierend zu jenen ohne Eisspeicher ändern.

Tabelle 2-1: Bodentemperaturen um den Eisspeicher

| | Temperatur umliegendes Erdreich ohne Eisspeicher | Temperatur umliegendes Erdreich mit Eisspeicher |
|---|---|---|
| maximal | 15,1°C | 14,6 |
| minimal | 4,8°C | -0,1°C |

## Es können auch kältere Temperaturniveaus genutzt werden

Bei der Regeneration eines Eisspeichers werden Fluide mit niedrigen bis mittleren Temperaturniveaus genutzt. Die Temperaturen können Einfachabsorber, wie sie oft eingesetzt werden, aber auch Abwasser oder ähnliches generieren. Wichtig ist dabei jedoch, dass die Temperatur dauerhaft zur Verfügung steht und zum richtigen Zeitpunkt verwendet werden kann.

## Neue Technologie kann zu Werbezwecken verwendet werden

Wie das Projekt „Audio Tuning" zeigt, können neue Technologien dazu verwendet werden, mediale Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen. Beispielsweise berichteten in der

Vergangenheit Medien wie derStandard[1], Bezirks Blätter[2], buildingtimes[3], Report[4] oder der Installateur[5] über dieses Projekt. Die Berichterstattung solcher Projekte ist Werbung für einerseits das Unternehmen, aber auch für die Technologie selbst. Hier wird klar, dass diese Art von Wärme- und Kältebereitstellung noch keine breite Bekanntheit erlangt hat.

## Wasserrechtliche Genehmigungen sind nicht erforderlich

Eine wasserrechtliche Genehmigung ist bei einem saisonalen Eisspeichersystem, bei dem der Eisspeicher in der Erde vergraben wird, nicht nötig, da der Behälter oberflächennahe installiert wird. Im Gegensatz hierzu kann es vorkommen, dass beim Einsatz von Tiefensonden oder Wasser/Wasser-Wärmepumpen diese Bewilligung erforderlich ist. So ist beispielsweise in Niederösterreich ein Antrag zu stellen, wenn sich die Bohrungen innerhalb wasserrechtlich besonders geschützter Gebiete, in einem geschlossenen Siedlungsgebiet ohne zentrale Trinkwasserversorgung oder innerhalb von Gebieten mit gespannten und artesisch gespannten Grundwasservorkommen befindet. (Land Niederösterreich, 2018).

## Teurer als herkömmliche Systeme

Eisspeichersysteme sind durch ihren Aufbau und einhergehende Einbringung oft teurer als herkömmliche Wärmepumpensysteme. Tiefenbohrungen sind zwar auch bei Ihrer Installation kostspielig, jedoch in der Regel günstiger als Eisspeicher mit Solar-Luftkollektoren.

---

[1]https://derstandard.at/2000066171905/Pro-Ject-im-Weinviertel-Autarkes-Betriebsgebaeude-mit-Sektkuehlschrank

[2]https://www.meinbezirk.at/mistelbach/c-wirtschaft/weltmarktfuehrer-audio-tuning-zieht-ins-weinviertel-spatenstich-fuer-neues-headquarter-und-logistikzentrum_a1737087

[3]https://buildingtimes.at/allgemein/heizen-mit-eis/

[4]http://www.report.at/index.php/energie/produkt-a-technik/item/92682-autarker-eisspeicher

[5]https://www.derinstallateur.at/detail/article/eisspeicher-in-der-praxis/

### Aufbau komplexer als herkömmliche Wärmepumpensysteme

Der Aufbau und vor allem die Regelung von Eisspeichersystemen ist umfangreicher und komplexer als die eines reinen Wärmepumpensystems. Bei letzterem kann die Regelung der Wärmepumpen das Wärmequellenmanagement oft selbst übernehmen. Wo hingegen das Schalten diverser Umschalt- und 2-Wege-Ventile, Pumpen und ähnliches aufwändiger ist und oft ein externer Schaltschrank eingerichtet werden muss.

### Aufwändige Einbringung

Die Betonbehälter eines Eisspeichersystems können nur bis zu einer gewissen Größe vorgefertigt werden. Schon die Einbringung solcher kleineren Becken ist nicht immer einfach und oft mit erhöhten Aufwand verbunden. Ab einem bestimmten Heiz- bzw. Kühlbedarf ist das erforderliche Wasservolumen so groß, dass nur mehr ein Ortbeton Becken möglich ist. Bei Speicher, welche vor Ort gegossen werden, muss anschließend der Regenerations- und Entzugswärmetauscher im Becken verlegt werden und kann nicht, wie bei kleineren Tanks möglich, im Werk vorgefertigt und einfach eingesetzt werden.

## 2.3 Wärmepumpe

Schon 1853 wurde die Wärmepumpe von Peter von Rittinger erfunden. In diesem Jahr meldete er ein „Abdampfverfahren", welches er für den Salzsiedeprozess der Saline Ebensee erfunden hatte, zum Patent an. 1858 gab man aber diese Erfindung auf, da sie nicht wie gewünscht beim Sole-Dampfverfahren funktionierte. Man wusste nur noch nicht, dass er damit die Wärmepumpe erfunden hatte. (Jankowsky, 2000)

Eine Wärmepumpe ist eine Maschine, welche die ihr zugeführte Temperatur eines Mediums mit Zufuhr von Antriebsarbeit auf ein höheres Temperaturniveau anhebt. In Abbildung 11 ist dies mit Hilfe der Energiebilanz dargestellt. Die Antriebsenergie kann durch einen Verdichter erbracht werden, welcher strom- oder gasbetrieben ist.

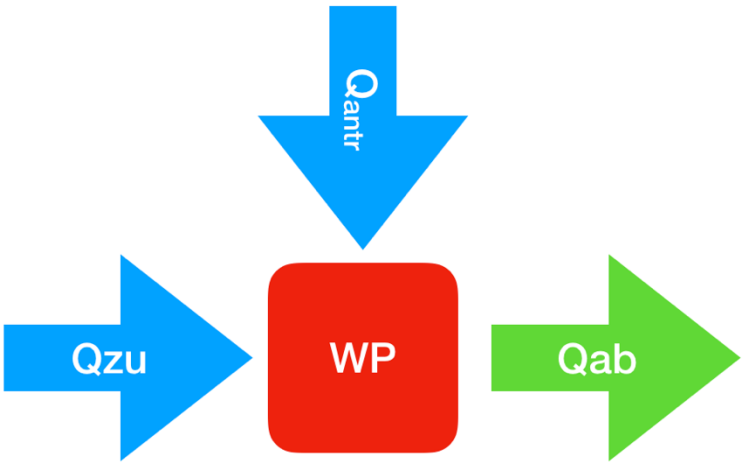



Abbildung 11: Energiefluss Wärmepumpe

Prinzipiell gibt es drei Arten von Wärmepumpen:

- Kompressionswärmepumpe
- Absorbtionswärmepumpe
- Adsorbtionswärmepumpe

Das am weitesten verbreitete Verfahren ist die Kompression.
In Abbildung 12 ist die technische Umsetzung der Kompressionswärmepumpe veranschaulicht.

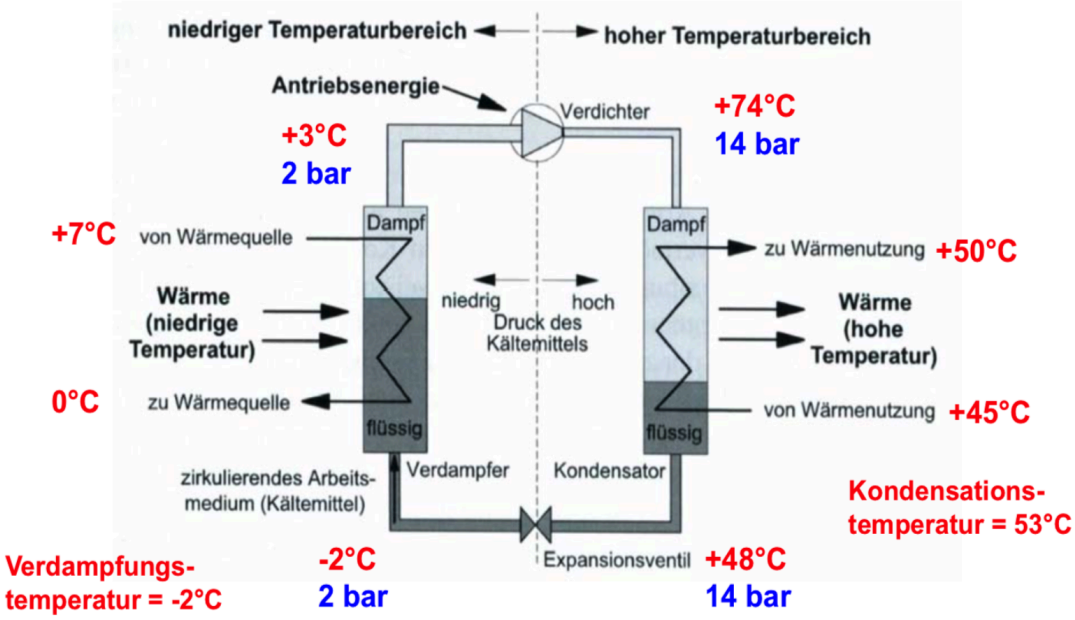



Abbildung 12: Arbeitsweise der Kompressionswärmepumpe (Biermayr, 2014)

Die hier dargestellten Temperaturen und Drücke sind zur Veranschaulichung und variieren je nach Aufbau der Wärmepumpe. Nachdem das Kältemittel Energie aus der Wärmequelle aufgenommen hat, wird es durch den Verdichter auf ein Vielfaches seines Drucks gebracht. Bei diesem Vorgang entsteht Wärme. Diese Wärme wird mittels eines Wärmetauschers zur Nutzung abgegeben. Wird das Kältemittel durch den Rücklauf des Wärmeverteilsystems wieder abgekühlt, wechselt es in einen flüssigen Aggregatzustand. Im Expansionsventil senkt sich der Druck schlagartig, dadurch senkt sich die Temperatur des Kältemittels ab. Das flüssige Kältemittel wird wieder der Wärmequelle zugeführt und der Kreislauf beginnt von Neuem.

Auch bei der Kompressionswärmepumpe gibt es verschiedene Bauformen. Am wichtigsten ist die Unterscheidung der Wärmequellen:

- Luftwärmepumpen
- Solewärmepumpen

Luftwärmepumpen sind die am weitest verbreiteten Wärmepumpen am Markt (vgl. Biermayr, 2013). Sie haben den Vorteil, dass sie relativ kompakt sein können und sich sowohl für den Neubau als auch für die Sanierung eines Gebäudes gut eignen. Kompaktluftwärmepumpen sind platzsparend, da alle Bauteile bereits im Gerät integriert sind.
Doch das große Problem bei einer Luftwärmepumpe ist, dass die Wärme nicht zur Gänze gebraucht wird, wenn sie am effizientesten arbeiten würde (also bei höheren Außentemperaturen).

Im Gegenzug zu Luftwärmepumpen ist die Temperatur der Wärmequelle bei Solewärmepumpen annähernd über das Jahr gleichbleibend. Der Vorteil von Erdwärmepumpen liegt im Allgemeinen bei einer besseren Jahresarbeitszahl, insbesondere bei Erdsonden, da ab einer Tiefe von 15m fast konstante Temperaturen herrschen. Erdsonden sind jedoch teurer in der Installation und setzen oft ein geologisches Gutachten voraus, benötigen aber weniger Freifläche als horizontale Erdkollektoren.
Eisspeichersysteme, welcher in dieser Arbeit tiefer behandelt werden, dienen als Energiequelle für eine Solewärmepumpe.

### 2.3.1 Jahresarbeitszahl

Die Jahresarbeitszahl (JAZ) (2.3) ist das Verhältnis von Wärme, die eine Wärmepumpe abgibt, zum Strom, den sie zum Betrieb aufnehmen muss, über ein Jahr gesehen.

$$Jahresarbeitszahl = \frac{jährliche\ Nutzwärme}{jährlich\ zugeführte\ elektrische\ Energie} \tag{2.3}$$

Das heißt also, wenn eine Wärmepumpe eine JAZ von beispielsweise 3 hat, so kann sie aus jeder Kilowattstunde elektrischer Energie 3 Kilowattstunden thermische Energie erzeugen. Damit lassen sich Rückschlüsse auf Betriebskosten, Emissionserzeugung, usw. schließen. Um die JAZ zu messen, bedarf es eines Wärmemengen- und Stromzählers.
Die Jahresarbeitszahl hängt sowohl vom Temperaturniveau der Umweltwärme ab, als auch von der erforderlichen Heizmittel-Austrittstemperatur. Daraus lässt sich schließen, dass Wärmepumpen eine höhere Leistungsarbeitszahl erreichen werden, wenn die durchschnittliche Temperatur der Umweltwärme hoch und die Austrittstemperatur niedrig ist.
Abbildung 13 zeigt die Auswirkung der JAZ im Bezug auf verschiedener Vorlauftemperaturen anhand einer 8kW Sole-Wärmepumpe[6]

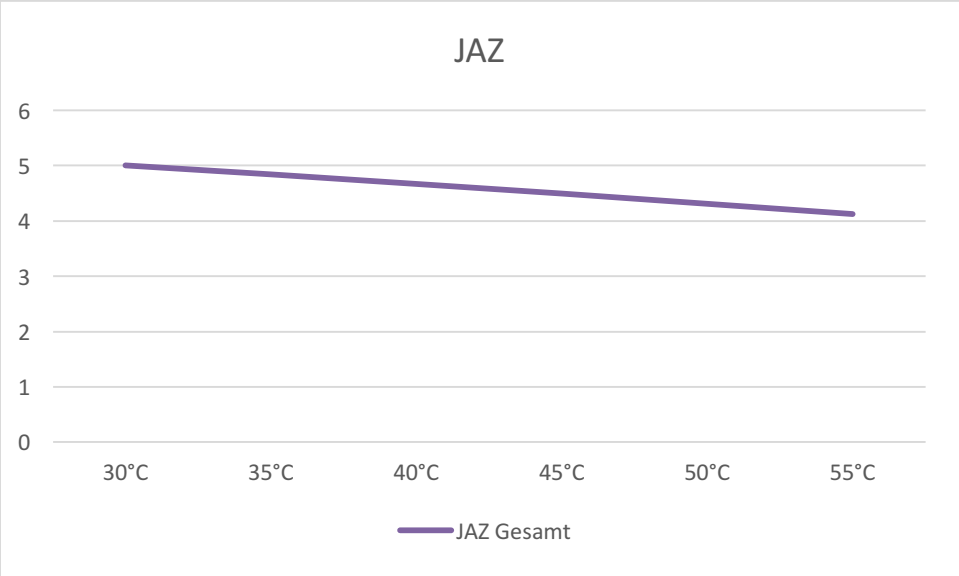



Abbildung 13: fallende JAZ in Bezug auf steigende Vorlauftemperatur

Hier ist klar erkennbar, dass eine niedrige Vorlauftemperatur, beispielsweise mit Fußboden/Wandheizung, beim Einsatz von Wärmepumpe angestrebt werden sollte.

### 2.3.2 COP

Neben der JAZ ist der COP (Coefficient Of Performance, auch Leistungszahl ε) eine wichtige Angabe zur Vergleichbarkeit von Wärmepumpen. Die Leistungszahl sagt aus,

[6] Viessmann Vitocal 300-G BWC 301.B08

wie effizient eine Wärmepumpe bei einem Betriebszustand am Prüfstand arbeitet. Bei Angaben des COP muss aber immer der Betriebspunkt bekannt sein, in welchem die Wärmepumpe arbeitet.

## 2.4 Solarthermie

Die Energie der Sonne wurde schon vor einigen tausend Jahren benutzt, um Räume zu erhellen oder Wasser zu erwärmen. Das Prinzip hat sich seit damals kaum verändert. Energie der Sonne bzw. der Umgebungstemperatur wird genützt, um einen Wärmeträger, welcher den Kollektor durchströmt, auf ein nutzbares Temperaturniveau zu heben.
Die verschiedenen Bauarten von Solarkollektoren, auf die nachstehend kurz eingegangen wird, haben alle die Eigenschaft, dass bei zunehmender Kollektortemperatur der Wirkungsgrad sinkt. Dies ist den Abstrahlverlusten des heißen Kollektors zur kühleren Umgebungstemperatur geschuldet. Je nach Einsatzgebiet des Kollektors kann der Wärmeverlust durch Maßnahmen verringert werden. Hier gilt: je höher die gewünschten Temperaturen, desto teurer und aufwändiger sind die Maßnahmen, um diese zu erreichen.
Wie bereits erwähnt, gibt es verschieden Kollektorbauarten, welche in Abbildung 14 dargestellt werden.

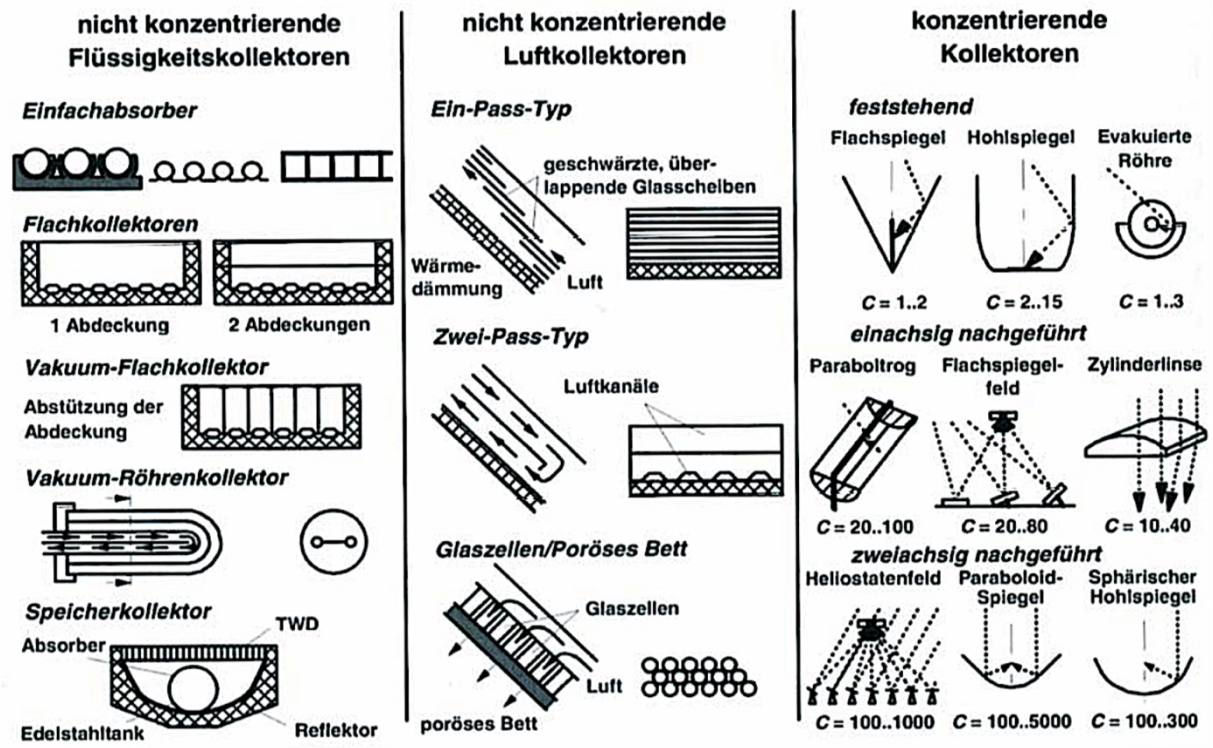


Abbildung 14: Kollektorbauarten (Kaltschmitt, Streicher, Wiese, 2005)

Die Bauart des Kollektors hängt vorrangig von der gewünschten Endtemperatur des Wärmeträgers ab. So sind Einfachabsorber günstiger in der Anschaffung und erreichen Temperaturen von 20-60°C. Konzentrierende Kollektoren hingegen sind im Aufbau komplexer, können aber auch für Prozesswärme eingesetzt werden. Die Tabelle 2-2 zeigt die typischen Einsatzbereiche und Kollektortemperaturen.

Tabelle 2-2: Kollektortypen mit ihren typischen Einsatzbereichen und Temperaturen

| **Kollektortyp** | **Einsatzbereich** | **Temperaturbereich** |
|---|---|---|
| Einfachabsorber („Schwimmbadkollektor") | Schwimmbad, Niedertemperaturanwendung | 20-60°C |
| **Flachkollektor verglast, selektiv** | Heizungsunterstützung, BWW-Erwärmung | 70-100°C |
| **Vakuumröhrenkollektor** | Heizungsunterstützung, BWW-Erwärmung, Prozesswärme | 50-120°C |
| **Konzentrierende Kollektoren** | Prozesswärme | 100- >300°C |

Da bei Eisspeichern ein niedriger Temperaturbereich herrscht, werden häufig einfache unverglaste Kunststoffabsorber verwendet. Diese sind einfach in der Herstellung und Einbringung und günstig in der Herstellung. Die Wirkungsgrade solcher Kollektoren sind aufgrund des niedrigen Temperaturbereiches sehr gut. Einfachabsorber können auch schwache Sonneneinstrahlung bzw. diffuse Strahlung nutzen. Werden sie allerdings mit Schnee bedeckt, so ist der Ertrag stark beeinträchtigt.

(Technologiestudie Energie Schweiz, 2014)

# 3 Analyse Projekt „Audio Tuning 2139 Wilfersdorf"

Im Folgenden wird ein Eisspeichersystem anhand eines 2016 ausgeführten Projektes technisch sowie wirtschaftlich dargestellt.

Die Firma AUDIO TUNING Vertriebs GmbH, ansässig in 2139 Wilfersdorf, ist seit 25 Jahren Österreichs größtes Vertriebsunternehmen im Bereich hochwertiger Audio & Videoprodukte. Audio Tuning stellt unter anderem „Pro-Ject"-Plattenspieler her, welche ausschließlich in Europa produziert und in über 80 Ländern weltweit verkauft werden.

Auch das neue Büro-, Produktions- und Lagergebäude sollte höchsten Ansprüchen gerecht werden. Dies zeigt sich einerseits am äußeren Erscheinungsbild des Gebäudes (Abbildung 15) als auch an der nachhaltigen Energieversorgung mittels Eisspeicher. Auch eine 50kWp PV-Anlage ist auf dem Gebäude installiert. Diese wird jedoch in dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

Abbildung 15: Produktionsgebäude Audio Tuning (https://derstandard.at/2000066171905/Pro-Ject-im-Weinviertel-Autarkes-Betriebsgebaeude-mit-Sektkuehlschrank)

Da bei der Errichtung des Gebäudes auf höchste Standards gesetzt und auf Nachhaltigkeit Wert gelegt wurde, kam auch bei der thermischen Versorgung nur eine Wärmepumpe in Frage. Da der Bauherr selbst technisch affin ist, lag auch ein Eisspeicher in der engeren Auswahl der Möglichkeiten. Flächenkollektoren kamen aufgrund der unzureichenden Fläche nicht in Frage. Tiefenbohrungen wären hier eine Möglichkeit gewesen, die benötigte Energie bereitzustellen. Wie in Tabelle 3-1 zu sehen ist, wären auch die Randbedingungen gegeben.

Tabelle 3-1: Berechnung Tiefenbohrung

| Wärme-leistung WP B0/W35 [W] | Leistungs-aufnahme WP elektr. [W] | Entzugs-leistung Boden [W/m] | Verdampfer-leistung [W] | erforderliche Bohrung [m] | Länge einer Bohrung [m] | Anzahl Bohrungen [Stk.] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 222.000 | 47.000 | 70 | 175.000 | 2.500 | 150 | 17 |

Da jedoch bei diesem Projekt der Eisspeicher einen zusätzlichen Marketingnutzen darstellen soll, wurde zugunsten dessen entschieden.

Die thermische Energie wird nur für die Temperierung des Gebäudes verwendet. Da sehr wenig Warmwasserbedarf besteht, wird dieser von Durchlauferhitzern unter den Zapfstellen gedeckt. In Tabelle 3-2 werden die Eckdaten des Projektes aufgerührt.

Tabelle 3-2: Eckdaten Projekt Audio Tuning

| Projektname | | Audio Tuning 2193 Wilfersdorf |
|---|---|---|
| Gebäude | Heizlast | 200kW |
| | Heizungssystem | Fußbodenheizung |
| | | Kühlung über FanCoils und Kühldecke |
| Wärmepumpe | Typ | Viessmann Vitocal 300-G Pro |
| | Leistung B0/W35 | 220kW |
| Eisspeicher | Innenmaße | 25x15x3m |
| Solar-Luftabsorber | Typ | SLK-600 |
| | Anzahl | 37 |
| | Aufstellfläche | 289m2 |
| Weitere Wärmeerzeuger | Luft/Wasser Wärmepumpe (nicht im Eisspeicher eingebunden) | Viessmann Vitocal 300-A |
| | Leistung A2/W35 | 50kW |

Weiters folgen einige Impressionen, um den Umfang der Anlage zu verdeutlichen.

Auf Abbildung 16 und Abbildung 17 sind die Solar-Luft-Absorber zu erkennen. Diese sind am Dach des Gebäudes flach montiert.

Abbildung 16: Solar-Luft-Absorber Detail

Abbildung 17: Solar-Luft-Absorber Überblick

Durch einen eigenen Zugang gelangt man zu einer Seite des Eisspeichers. Hier ist ein kleines Sichtfenster installiert, um in das Innere des Eisspeichers blicken zu können. Das ist auch eine Maßnahme, um den Marketingnutzen zu steigern. Auf Abbildung 18 ist die Eisbildung und auf Abbildung 19 sind die verbauten Entzugs- und Regenerationswärmetauscher zu erkennen. Abbildung 20 zeigt die Wärmepumpe mit Teilen der hydraulischen Anschlüsse.

Abbildung 18: Eisspeicher Eisbildung

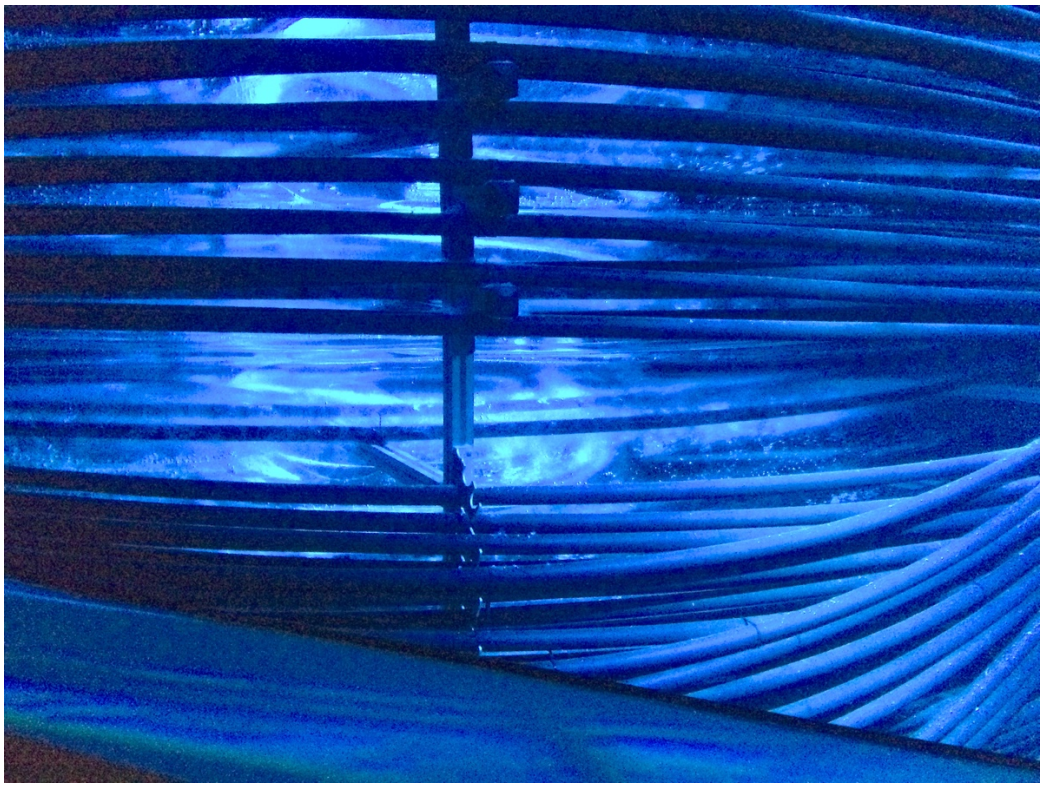


Abbildung 19: Eisspeicher Absorber

Abbildung 20: Viessmann Vitocal Wärmepumpe

## 3.1 Technische Analyse

Die technische Analyse des Projekts soll mit Hilfe des hydraulischen Schemas durchgeführt werden, welches passend zu den einzelnen Zuständen farblich markiert ist. Zur besseren Übersicht ist das unveränderte Schema in Anhang B zu finden.

Die Schaltung wird in folgende Zustände unterteilt:

- Heizen mit Solarthermie
- Heizen mit Eisspeicher
- Kühlen mit Eisspeicher
- Kühlen mit Wärmepumpe
- Regenerieren des Eisspeichers

### 3.1.1 Heizen mit Solarthermie

Die Wärmepumpe nutzt primär die Energie aus den Solar-Luftabsorbern (wie in Abbildung 21 ersichtlich), wenn die Temperatur einen Sollwert nicht überschreitet. Die maximale Vorlauftemperatur der Sole liegt bei 20°C. Nachdem die 2-Wege-Ventile geöffnet bzw. geschlossen haben, wird das Solegemisch von der Primärpumpe W66 in die Wärmepumpe geleitet. Mithilfe des Mischers Z26 wird sichergestellt, dass die Vorlauftemperatur den Schwellenwert der max. Soletemperatur nicht übersteigt und mischt ggf. kalten Rücklauf hinzu. Auf der Sekundärseite wird ein 4.000l Heizpufferspeicher mit dem Heizungswasser beschickt und die Energie anschließend an das Wärmeverteilsystem abgeben. Die Temperatursensoren W73 geben unter anderem der Regelung vor, ob die Wärmepumpe angefordert wird oder nicht. Der im Rücklauf sitzende Wärmetauscher ist ein zusätzlicher Rückkühler, welcher jedoch nicht umgesetzt wurde. Der Rückkühler kann als weitere Energiequelle der Wärmepumpe eingesetzt werden, wenn beispielsweise der Platz für die Solar-Luft-Kollektoren nicht ausreicht.

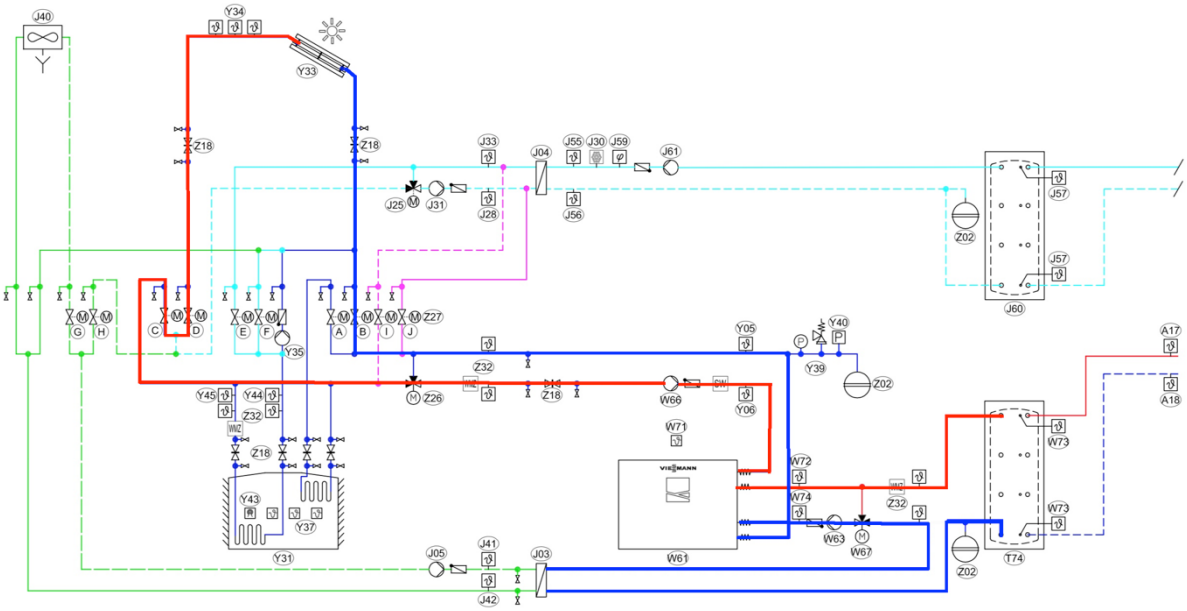



Abbildung 21: Energieertrag für WP aus Solarkollektoren

## 3.1.2 Heizen mit Eisspeicher

Liegt die Temperatur am Kollektor tiefer als jene im Eisspeicher, so wird die Energie aus dem Eisspeicher gewonnen. Wie in Abbildung 22 ersichtlich, fördert hier ebenso die Pumpe W66 die Sole zur Wärmepumpe, welche Energie durch den Eisspeicher über den Entzugswärmetauscher aufgenommen hat. Nach dem Wärmepumpenprozess wird auch hier der Pufferspeicher beladen und die Energie an das Wärmeverteilsystem abgegeben.

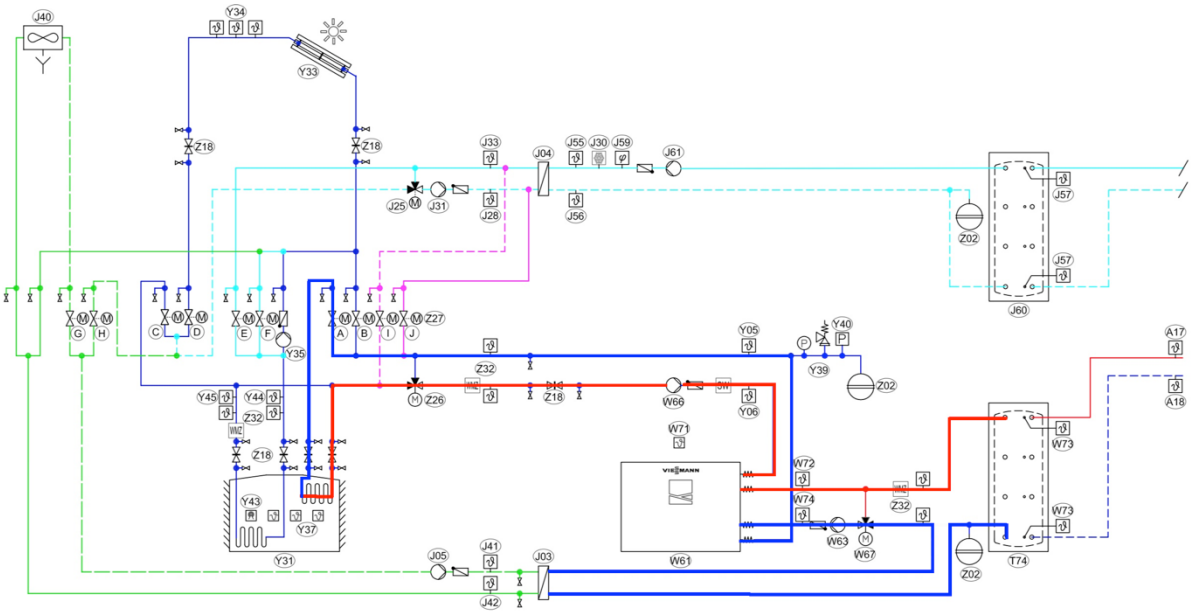



Abbildung 22: Energieertrag für WP aus dem Eisspeicher

### 3.1.3 Kühlen mit Eisspeicher

Hat der Eisspeicher eine Temperatur erreicht, welche zur Kühlung verwendet werden kann, so wird die Energie direkt aus dem Eisspeicher in den 2.000l Kühlpuffer geleitet und in den Kühlverteilkreis abgegeben, wie in Abbildung 23 zu erkennen ist. Dies wird über das Öffnen und Schließen diverser 2-Wege-Ventile, als auch über die Pumpen J31 und J61 realisiert. Zur Trennung der zwei unterschiedlichen Medien dient ein Plattenwärmetauscher. Der warme Rücklauf vom Wärmetauscher J04 wird wieder in den Eisspeicher geleitet.

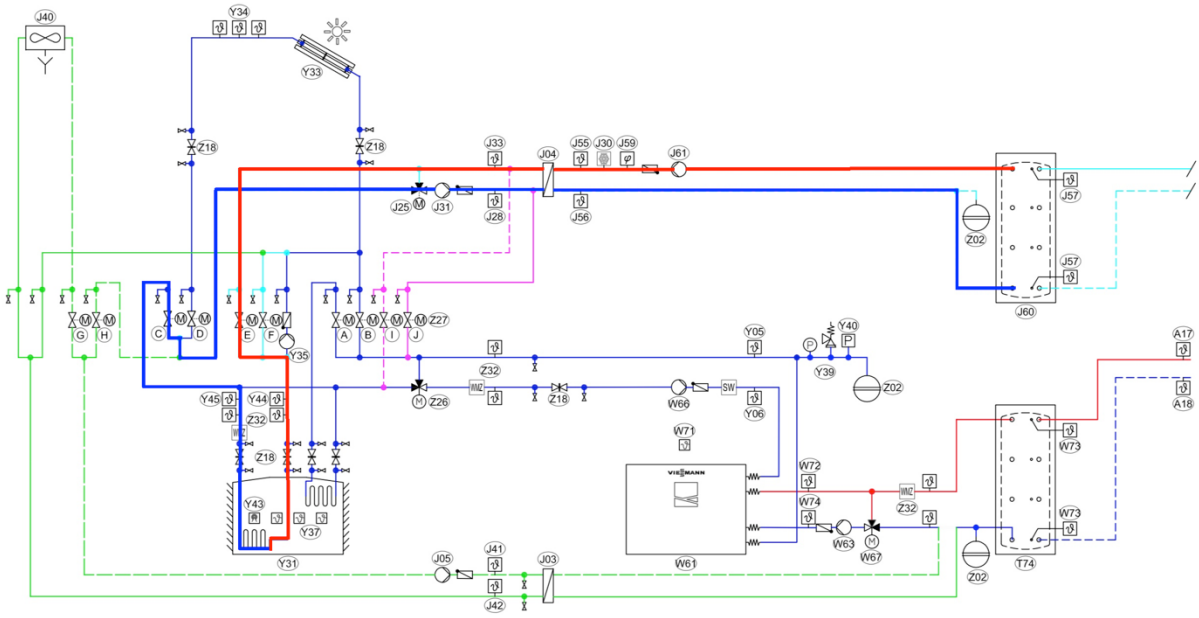



Abbildung 23: freie Kühlung über Eisspeicher

### 3.1.4 Kühlen mit Wärmepumpe

In Abbildung 24 ist die hydraulische Verschaltung für das Kühlen mit der Wärmepumpe ersichtlich. Reicht die Kühlleistung der freien Kühlung nicht mehr aus, so kann über die Wärmepumpe („active cooling") gekühlt werden. Die Wärmepumpe geht in Betrieb, die kalte Seite (Primärkreislauf) und die warme Seite (Sekundärkreislauf) werden umgeschaltet. Die erzeugte Kälte wird wie in Kapitel 3.1.3 an den Puffer abgegeben. Die Wärme, die hierbei erzeugt wird, wird über die Solar-Luftkollektoren an die Umgebung abgegeben. Würde ein großer Warmwasserbedarf bestehen, könnte man die Wärme auch zur Erwärmung eines Trinkwasserspeichers nutzen. Nachdem bei Fa. Audio Tuning das Warmwasser nicht über die Wärmepumpe generiert werden muss, ist diese Lösung nicht notwendig.

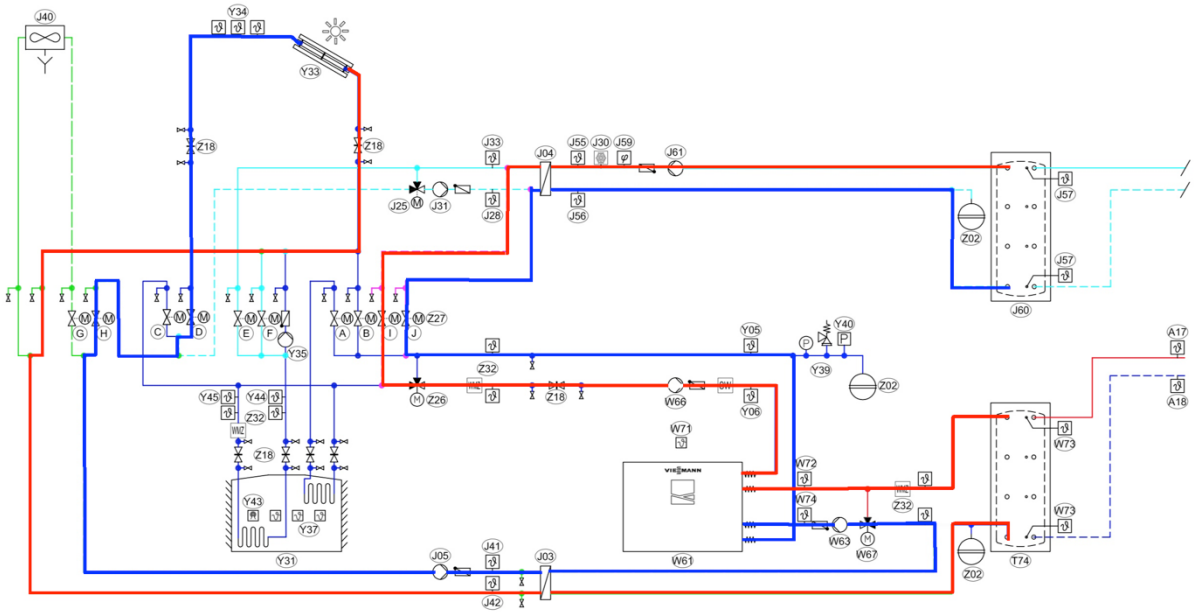



Abbildung 24: Kühlen mit Wärmepumpe und Abgabe der Wärme an die Umgebung

### 3.1.5 Regenerieren des Eisspeichers

Der Eisspeicher wird mithilfe drei Energiequellen regeneriert:

- umliegendes Erdreich
- dem Gebäude entzogene Wärme durch das freie Kühlen
- direkte Regeneration durch die Solar-Luftkollektoren

In Abbildung 25 ist die direkte Regeneration durch die Solar-Luftkollektoren dargestellt. Die Sole wird durch die Pumpe Y35 in die Kollektoren geleitet und durch die richtige Verschaltung der 2-Wege-Ventile gelangt das aufgewärmte Fluid in den Eisspeicher über den Regenerationswärmetauscher.

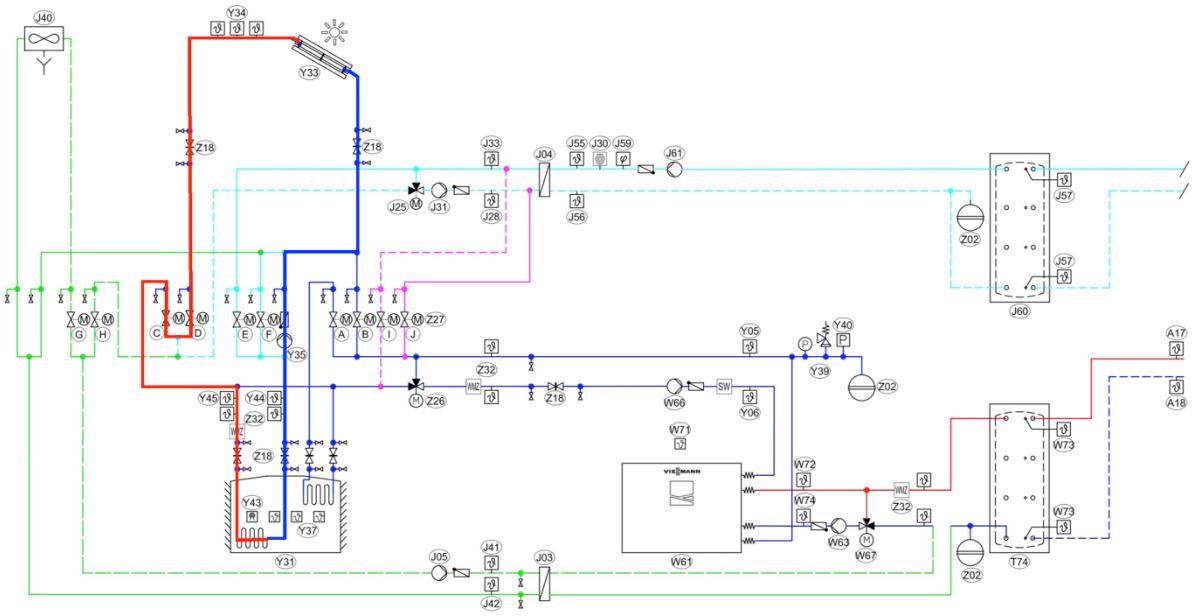



Abbildung 25: Regenerieren des Eisspeichers

## 3.2 Simulation

Um komplexere Anlagen in der Planungsphase auszulegen und zu berechnen, wird oftmals eine Simulation durchgeführt. Da ein Eisspeicher viele Zustände aufweisen kann und die Komponenten richtig zusammenspielen müssen, wurde bei dem Projekt „Audio Tuning" eine solche durchgeführt. Dies wurde mit Polysun der Firma Vela Solaris AG mit Sitz in der Schweiz realisiert. Polysun ist ein renommiertes Planungs- und Simulationstool, welches viele verschiedene Energiesysteme bewerten lässt. Die Simulation wurde mit Hilfe und Zusammenarbeit mit Firma Viessmann ausgearbeitet.

In Abbildung 26 ist das Schema aus Polysun ersichtlich, welches anschließend nach den Bauteilen beschrieben wird.

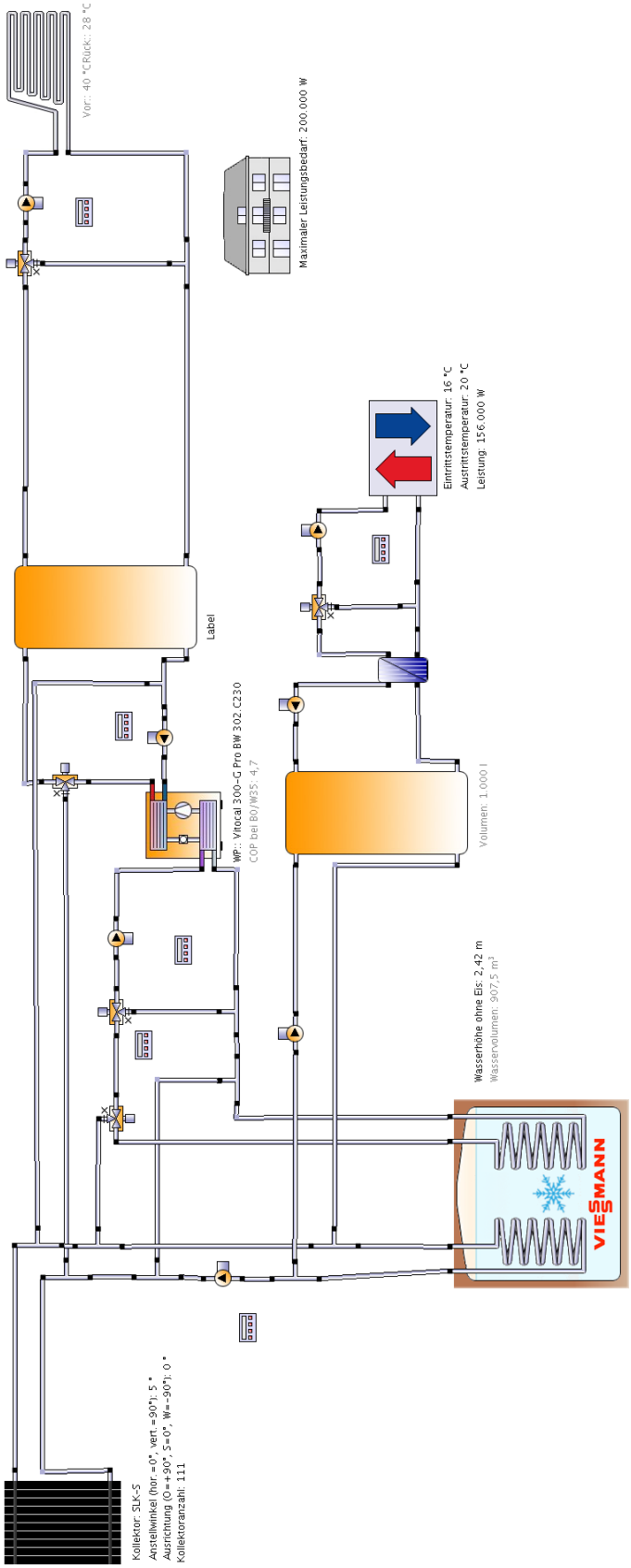



Abbildung 26: Simulationsschema

Im Anhang A ist der komplette Report dieses Schemas zu finden. Weiters wird untersucht, welche Auswirkung die Änderung der verschiedenen Elemente auf die gesamte Anlage hat.
Angemerkt sei noch, dass die $CO_2$-Einsparungen in einem extra Kapitel berechnet aber in der Eingabe der Simulationsdaten in Polysun nicht berücksichtigt wurden.

### 3.2.1 Systemübersicht

Einer der wichtigsten Parameter einer Anlage ist der Energieverbrauch. Dieser beläuft sich bei dieser Simulation auf 160.253 kWh. Da es nur einen Wärmeerzeuger gibt, bezieht sich der gesamte Brennstoff- und Strom-Verbrauch des Systems (Etot) auf den Stromverbrauch und ist damit ident mit Ecs, wie in Abbildung 27 dargestellt.

Es werden 340.075 kWh an Nutzenergie (Quse) von allen Wärmeverbrauchern bezogen. Dies beinhaltet sowohl Heizen als auch Kühlen.

| Systemübersicht (Jahreswerte) | |
|---|---|
| Gesamter Brennstoff- und Strom-Verbrauch des Systems [Etot] | 160.253 kWh |
| Gesamter Stromverbrauch [Ecs] | 160.253 kWh |
| Gesamter Fernwärmeverbrauch [EdistHeat] | 226.369 kWh |
| Nutzenergie [Quse] | 340.075 kWh |
| Systemjahresarbeitszahl (SJAZ) | 2,1 |
| Anlagenaufwandszahl | 0,47 |
| Komfortanforderungen | Energiebedarf ist gedeckt |

Abbildung 27: Systemübersicht Simulation

EdisHeat beschreibt den Eintrag durch die Kühlung in den Speicher Kühlpuffer. Fernwärme daher, da es die Energiesenke- / quelle ist.
Bei der Systemjahresarbeitszahl (SJAZ) wird die gesamte an die Wärmeverteilung abgegebene Wärmemenge im Verhältnis zur erforderlichen Strommenge bilanziert. Etwaige Speicherverluste werden ebenfalls berücksichtigt. Der Stromverbrauch für die Heizungsumwälzpumpe und die Zirkulationspumpe werden nicht berücksichtigt. Die SJAZ liegt bei 2,1.

Die Anlagenaufwandszahl wurde zum Vergleich unterschiedlicher Anlagenvarianten eingeführt. Sie beschreibt das Verhältnis zwischen dem Aufwand an Primärenergie und der tatsächlich erzeugten Wärme für Warmwasser und Heizung. Das bedeutet: je niedriger die Zahl desto besser. Die Anlagenaufwandszahl <1 ist durch den Einsatz von ausschließlich regenerativen Energien zu begründen. (Usemann, 2005)

### 3.2.2 Solar-Luft-Kollektoren

Insgesamt wurden 37 Stück SLK-600 Solar-Luft-Kollektoren verbaut, welche flach (in einem Winkel von 5 °) auf dem Flachdach aufliegen. In der Simulation hingegen werden 111 SLK-S Kollektoren verwendet. Sowohl die Wirkungsweise als auch die Absorberfläche ist jedoch die gleiche, wie bei den real eingebauten Kollektoren. Dies ergibt eine gesamte Absorberfläche von rund 282 $m^2$. In der Simulation (Abbildung 28) ist ein negativer Kollektorfeldertrag (Qsol) von -112.918 kWh angeführt, da (wie in Abbildung 30 zu erkennen ist) bei der Kühlung sehr viel Energie aus dem System an die Umgebung abgegeben wird. Aus diesem Grund ergibt sich auch ein negativer Wirkungsgrad von -33,7 %.

| **Kollektor Regenerations- und Wärmequelle** | **SLK-S** | |
|---|---|---|
| Datenquelle | | u145274 |
| Kollektoranzahl | | 111 |
| Parallele Abschnitte | | 111 |
| Bruttogesamtfläche | m² | 284,16 |
| Gesamte Aperturfläche | m² | 282,384 |
| Gesamte Absorberfläche | m² | 282,38 |
| Anstellwinkel (hor.=0°, vert.=90°) | ° | 5 |
| Ausrichtung (O=+90°, S=0°, W=-90°) | ° | 0 |
| Kollektorfeldertrag [Qsol] | kWh | -112.918,5 |
| Einstrahlung in Kollektorebene [Esol] | kWh | 335.398 |
| Kollektorwirkungsgrad [Qsol / Esol] | % | -33,7 |
| Direktstrahlung nach IAM | kWh | 167.220 |
| Diffusstrahlung nach IAM | kWh | 145.779 |

Abbildung 28: Simulationsausschnitt Solar-Luft-Absorber

Die tägliche Maximaltemperatur ist in Abbildung 29 dargestellt. Hier ist zu sehen, dass sich selbst einfache Solar-Luft-Kollektoren auf bis zu 60 °C erwärmen können. Diese Temperaturen entstehen, wenn aktiv gekühlt und die überschüssige Energie über die Kollektoren abgeführt wird.

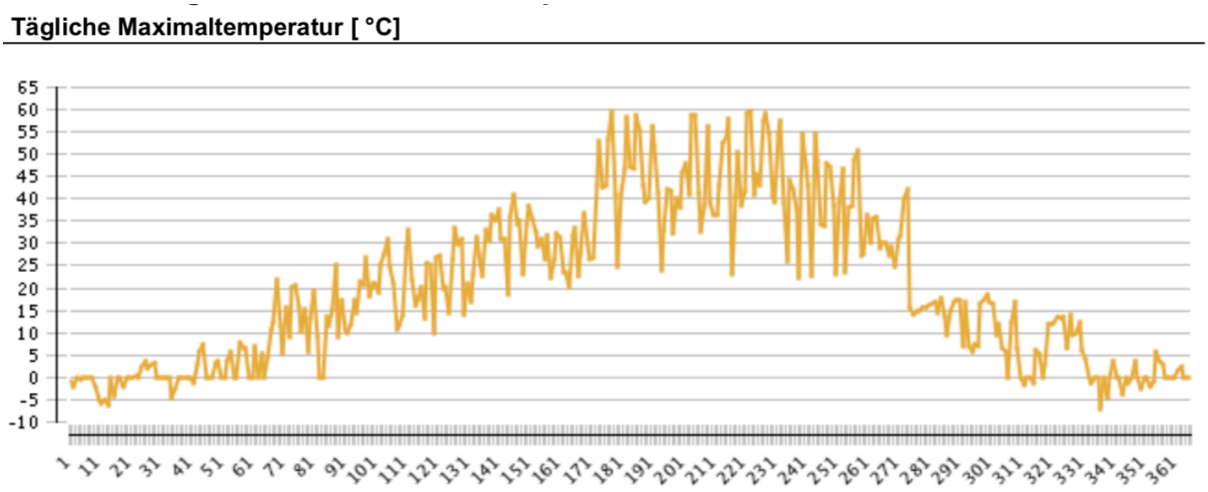



Abbildung 29: Kollektor Regenerations- und Wärmequelle

Die Abbildung 30 zeigt den Eintrag solarthermischer Energie an das System. Hier ist ersichtlich wieso in dem Simulationsausschnitt (Abbildung 28) ein negativer Kollektorfeldertrag angeführt ist. In den Wintermonaten werden demnach 156.746 kWh in den Eisspeicher eingebracht, wohingegen in den Sommermonaten 269.802 kWh an die Umgebung abgegeben werden.

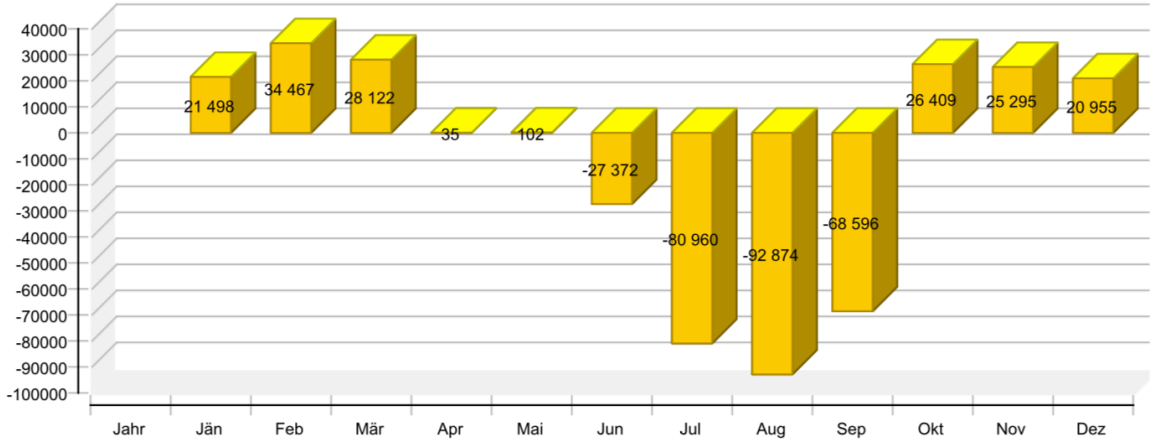



Abbildung 30: solarthermische Energie an das System

Nun liegt die Frage nahe, welche Auswirkungen es hätte, die Solarthermieanlage größer bzw. kleiner zu dimensionieren. Die Anzahl der Solar-Kollektoren wurde verdoppelt bzw. halbiert, wobei die restlichen Anlagenteile unverändert blieben.

In Tabelle 3-3 ist ersichtlich, dass sich sowohl die System-Jahresarbeitszahl als auch die Anlagenaufwandszahl nicht in großen Maße ändert. Der Kollektorwirkungsgrad sinkt, da die Temperaturen im Kollektor steigen (dadurch entstehen höhere Abstrahlverluste). Dies ist der reduzierten Kollektorfläche geschuldet. Auch der maximale Vereisungsgrad sinkt, wenn die Solarthermieanlage größer wird, da mehr Energie von der Solaranlage bereitgestellt wird und nicht aus dem Eisspeicher gezogen wird.

Tabelle 3-3: Übersicht Solar-Luft-Kollektor-Größen

| gesamte Absorber-fläche [$m^2$] / Anzahl Kollektoren | SJAZ | Kollektor-wirkungsgrad [%] | Anlagenauf-wandszahl | max. Vereisungsgrad des Eisspeichers [%] | Stromver-brauch gesamt [kWh] |
|---|---|---|---|---|---|
| 127,2 / 50 | 2,1 | -88,4 | 0,48 | 86,36 | 164.871 |
| 282,38 / 111 | 2,1 | -33,7 | 0,47 | 46,55 | 160.253 |
| 564,77 / 222 | 2,33 | -13,0 | 0,44 | 26,17 | 149.835 |

Vergleicht man nun die zeitlichen Verläufe der Vereisungsgrade und die täglichen Maximaltemperaturen der Kollektoren (Abbildung 31), stellt man fest, dass bei kleineren Absorberflächen die Temperaturen in den wärmeren Tagen sehr hoch sind. Wohingegen bei passendem Verhältnis von Kollektoren zu Eisspeichergröße die Temperaturen nicht extrem ansteigen und der Vereisungsgrad moderat ansteigt und wieder fällt. Der Stromverbrauch steigt bei der Halbierung der Solar-Luft-Kollektoren um ca. 4600 kWh. Bei der Verdoppelung der Kollektoren sinkt er nur um ca. 10.400 kWh und würde sich wirtschaftlich mit den Mehrkosten der Kollektoren nicht rechnen.

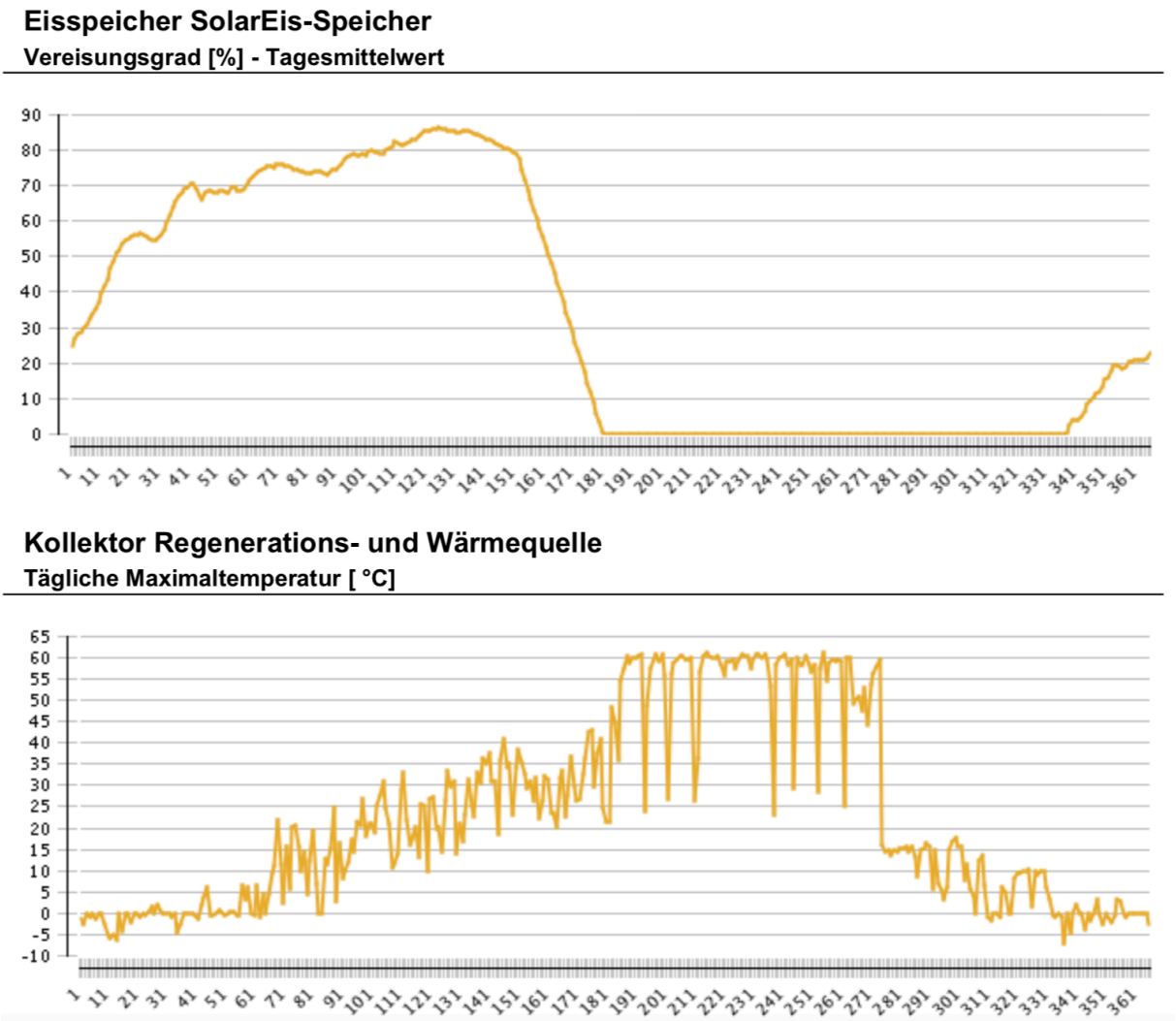



Abbildung 31: Vereisungsgrad und Maximaltemperaturen 50 Solar-Luft-Kollektoren

Sieht man sich den Vereisungsgrad des Eisspeichers und die Maximaltemperaturen der halbierten Solar-Luft-Kollektoranzahl an (Abbildung 31), so ist die extreme und sehr schnelle Vereisung des Speichers zu erkennen. Hier ist die Kollektorfläche zu gering um als Quellentemperatur für die Wärmepumpe zu dienen und es wird vorrangig der Eisspeicher als Quelle genutzt. Dies spiegelt sich auch im Energieverbrauch wieder. Eine Vereisung über ca. 65 % ist technisch nur schwierig umsetzbar, da es zu kompliziert wäre die Wärmetauscher so zu legen, damit ein höherer Vereisungsgrad gewährleistet werden kann. Die Unregelmäßigkeiten bei den Maximaltemperaturen im Bereich von Tag 200 bis Tag 280 ist der Regelung geschuldet. Hier ist es dem System nicht möglich die Energie, welche beim Kühlen entsteht, kontinuierlich über die Kollektoren abzugeben. Daher wird die Kühlung für einige Zeit unterbrochen.

Betrachtet man nun Abbildung 32 so erkennt man, dass sich der Vereisungsgrad in einem akzeptablen Bereich bewegt. Auch die Maximaltemperaturen bewegen sich, im Gegensatz zu 50 Kollektoren, in einem annehmbaren homogenen Bereich. Hier ist auch erkennbar, dass von Tag 280 bis 350 die Solar-Luft-Kollektoren als Quelle genutzt werden und der Eisspeicher erst danach zum Einsatz kommt.

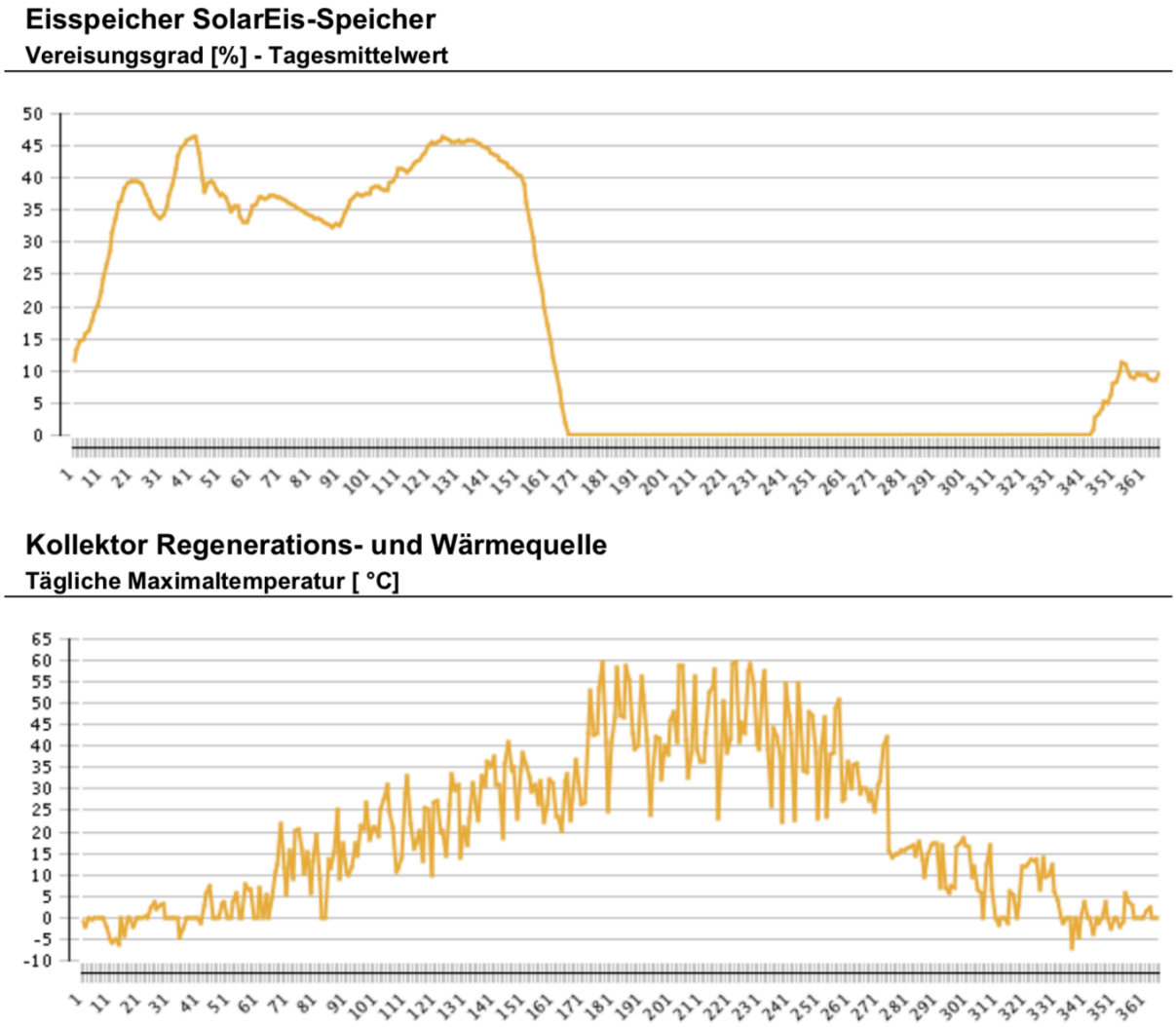



Abbildung 32: Vereisungsgrad und Maximaltemperaturen 111 Solar-Luft-Absorber

Erhöht man die Kollektoranzahl auf das doppelte, nämlich auf 222 Stück, so sieht man in Abbildung 33 wie wenig der Eisspeicher genutzt wird. Dies hat zur Folge, dass weniger Energie zur Kühlung aus dem Speicher gewonnen werden kann. Sieht man sich jedoch den Stromverbrauch an, so sinkt dieser über das gesamte Jahr, da die Solaranlage eine höhere Primär-Vorlauftemperatur für die Wärmepumpe generiert.

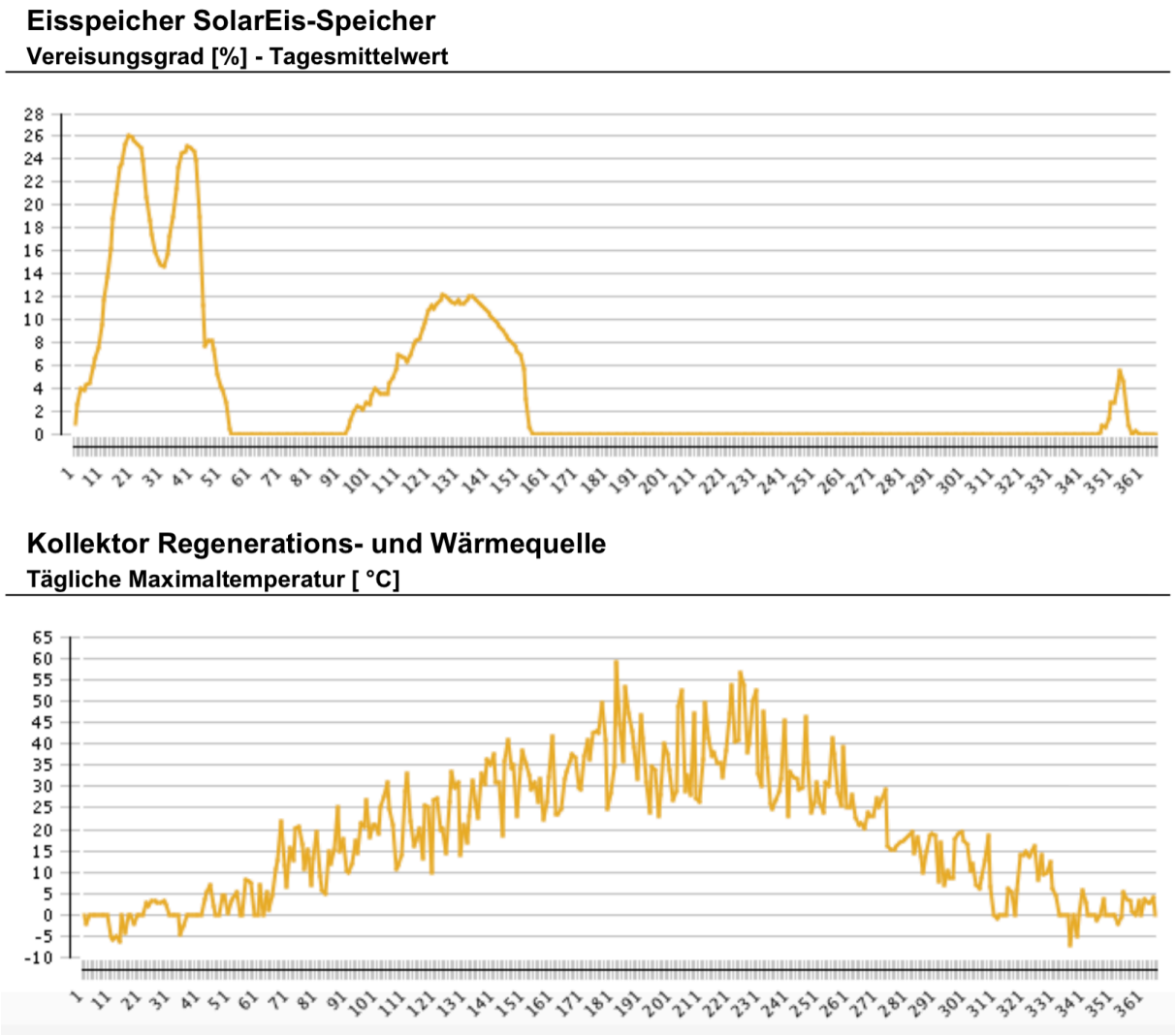



Abbildung 33: Vereisungsgrad und Maximaltemperaturen 222 Solar-Luft-Absorber

Bei dem Vergleich dieser Varianten wird ersichtlich, dass nicht nur der technische, also ob die Temperierung des Gebäudes gegeben ist oder nicht, als auch der wirtschaftliche Aspekt eine große Rolle bei der Bemessung der Bauteilgrößen spielt.

### 3.2.3 Sole-Wärmepumpe

Als Wärmepumpe wurde eine Viessmann Vitocal 300-G Pro BW 302.C230 mit 2 Verdichterstufen eingesetzt und einer Leistung (B0/W35) von 222 kW. Nach der Simulation, Abbildung 34, erreicht diese eine JAZ von 3,83. Der Hauptanteil des Stromverbrauchs von 159.670 kWh wird von der Wärmepumpe verbraucht.

| S/W oder W/W-Wärmepumpe 1 | Vitocal 300-G Pro BW 302.C230 | |
|---|---|---|
| Jahresarbeitszahl (ohne Pumpenleistung) | | 3,83 |
| Energie vom/zum System [Qaux] | kWh | 610.831 |
| CO2 Emission | kg | 85.647 |
| Brennstoff- und Strom-Verbrauch [Eaux] | kWh | 159.670 |

Abbildung 34: Simulationsausschnitt Wärmepumpe

Auch hier stellt sich die Frage ob es einen wirtschaftlichen Gewinn erbringt, die Wärmepumpe größer bzw. kleiner zu dimensionieren. Dies ist in Tabelle 3-4 ersichtlich. Es wurde nur die Leistung der Wärmepumpe verändert, die restlichen Bauteile wurden in ihrer Größe und Anordnung nicht verändert.

Tabelle 3-4: Übersicht versch. Wärmepumpenleistungen

| Wärmepumpenleistung (B0/W35) [kW] | JAZ | Strom-verbrauch [Wh] | Anlagenaufwands-zahl | max. Vereisungsgrad des Eisspeichers [%] |
|---|---|---|---|---|
| 110 | 4,55 | 125.656 | 0,38 | 32,07 |
| 160 | 4,23 | 141.304 | 0,42 | 44,62 |
| 222 | 3,83 | 159.670 | 0,47 | 46,55 |
| 300 | 3,65 | 171.811 | 0,51 | 49,11 |
| 500 | 3,32 | 195.038 | 0,57 | 49,91 |

Wie zu erkennen ist, nimmt die JAZ mit der Größe der Wärmepumpen ab, da mehr Strom aufgenommen wird. Demnach wird auch die Anlagenaufwandszahl größer. Der maximale Vereisungsgrad des Eisspeichers ist zwischen 160 und 500 kW relativ ähnlich. Unter 160 kW nimmt er hingegen rapide ab. Die Wärmepumpe muss jedoch auf die in der Heizlastberechnung benötigte Leistung ausgelegt werden. Es ist auch nicht sinnvoll die Wärmepumpe größer zu dimensionieren.

### 3.2.4 Eisspeicher

Der Eisspeicher selbst beinhaltet etwas über 900 $m^3$ normales Trinkwasser. In Abbildung 35 sind die Eckdaten des Speichers, welcher in der Simulation eingesetzt wurde, ersichtlich.

| Eisspeicher SolarEis-Speicher | Kopie Isocal Eisspeicher | |
|---|---|---|
| Eisspeicherform | | Quader |
| Wasservolumen [VH2O] | m³ | 907,5 |
| Eisspeicherlänge | m | 25 |
| Eisspeicherbreite | m | 15 |
| Wasserhöhe ohne Eis | m | 2,42 |
| Vereisungsgrad (Maximum) | % | 46,554 |

Abbildung 35: Simulationsausschnitt Eisspeicher

Der maximale Vereisungsgrad beträgt 46,55 %. Der max. Vereisungsgrad hängt vorwiegend von den konstruktiven Gegebenheiten ab. Da in der Mitte der Entzugswärmetauscher und am Rand des Eisspeichers der Regenerationswärmetauscher sitzt, kann der Vereisungsgrad von 100 % in der Praxis nicht erreicht werden.
Die Abbildung 36 zeigt den Verlauf von Eisspeichertemperatur und Vereisungsgrad über ein Jahr.

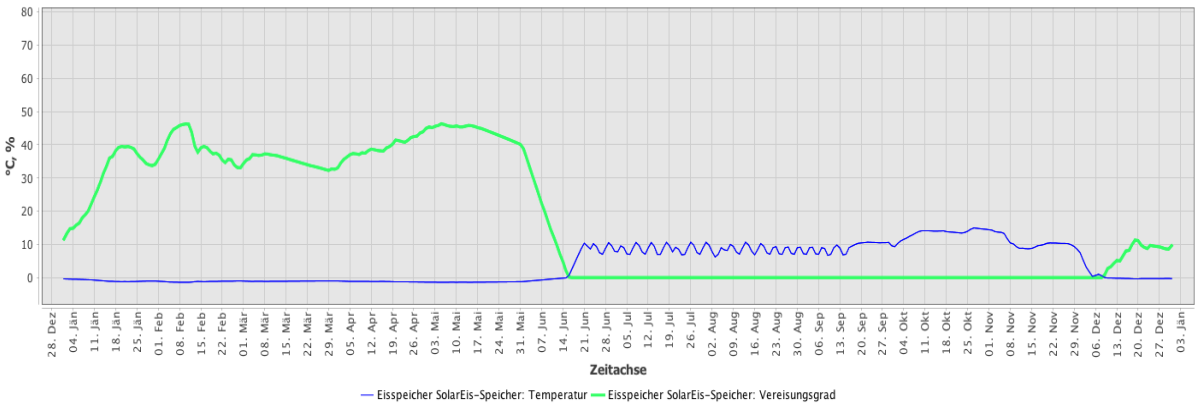



Abbildung 36: Eisspeichertemperatur und Vereisungsgrad über das Jahr

Der Vereisungsgrad in % (grüne Linie) nimmt bis Mitte Mai fast kontinuierlich zu. Ab Mitte Mai ist die Kühlung freigegeben und der Vereisungsgrad sinkt. Auch nach der Kühlphase dauert es bis Anfang Dezember, bis der Speicher wieder zu vereisen beginnt, da hier noch einiges an Energie über die Kollektoren aus der Umgebung gewonnen werden kann.

Dem einher verhält sich auch die Kurve der Speichertemperatur. Diese ist bis zur Kühlsaison 0 °C bzw. unter 0 °C und steigt auf bis zu 15 °C an. Zwischen Mitte Juni und Mitte September schwankt die Temperatur des Eisspeichers zwischen ca. 6 °C und 10 °C. Die Schwankungen sind auf ein Takten der Regelung zurückzuführen.
Im Zuge der Simulation wurde auch hier mit unterschiedlichen Größen experimentiert. In Tabelle 3-5 ist die Auswirkung der Veränderung des Eisspeichers zu sehen. Die Größe der Wärmepumpe und Anzahl der Solar-Luft-Kollektoren ist unverändert geblieben.

Tabelle 3-5: Übersicht verschiedene Eisspeichergrößen

| Wasserinhalt Eisspeicher [$m^3$] | SJAZ | Strom-verbrauch WP [Wh] | Anlagenaufwands-zahl | max. Vereisungsgrad des Eisspeichers [%] |
|---|---|---|---|---|
| 227 | 2,1 | 153.260 | 0,47 | 100,0 |
| 908 | 2,1 | 159.670 | 0,47 | 46,55 |
| 1815 | 2,0 | 169.720 | 0,50 | 15,02 |
| 3630 | 2,0 | 171.447 | 0,51 | 1,36 |

Der Energiebedarf ist nur beim Inhalt von 227 $m^3$ nicht gedeckt. Auch wenn der Eisspeicher nur um das Doppelte vergrößert wird, sinkt der maximale Vereisungsgrad um ca. 67%. Mit dieser Gegenüberstellung ist klar ersichtlich, dass es keinen Sinn machen würde, den Eisspeicher extrem groß oder extrem klein auszuführen. Es muss die Anpassung der Solar-Luft-Kollektoren immer einhergehen. Wie oben beschrieben, ist ein Vereisungsgrad von 100 % praktisch nicht möglich. In der Praxis ist der Vereisungsgrad bis ca. 70 % möglich. Wird mehr Energie benötigt, wird der Eisspeicher einfach größer dimensioniert; Vergrößerungen des Beckens machen meist nur einen sehr kleinen monetären Unterschied aus.

## 3.3 Wirtschaftliche Analyse

Ob ein Projekt durchgeführt wird oder nicht, hängt nicht zuletzt von den zu erwartenden Kosten ab. Hier stehen meist mehrere Varianten zur Auswahl, welche untereinander verglichen werden. Die Kosten werden anschließend aufgezeigt, wobei auch die Förderung eine große Rolle spielt.

Für die Kalkulation der Wirtschaftlichkeit wurde die Barwertmethode, in Anlehnung an die ÖNORM M 7140 und VDI 2067 in MS Excel, gewählt. Die Berechnung unterteilt sich in folgende Komponenten:

- Kapitalgebundene Kosten
- Verbrauchsgebundene Kosten
- Betriebsgebundene Kosten

Externe Kosten wurden nach ÖNORM nicht berücksichtigt. Weiters wird angenommen, dass über den Betrachtungszeitraum von 15 Jahren, eine Ersatzinvestition nicht nötig ist. Der kalkulatorische Zins wurde mit 5 % für die Fremdfinanzierung angenommen. Weiters wurde eine Preissteigerung von 3 % nach ÖNORM festgelegt. Es wurden für die Bauteile, welche eine längere Nutzungsdauer aufweisen Restbarwerte berücksichtigt.

Das Eisspeichersystem wird mit 2 weiteren Ausführungen verglichen:

- Eisspeichersystem
- Wärmepumpe mit Tiefensonden
- Gaskesselanlage

### 3.3.1 Kapitalgebundene Kosten

Zuerst werden die Systemkosten dargestellt, damit die kapitalgebundenen Kosten und deren Barwerte behandelt werden können. Diese sind teilweise Erfahrungswerte und teilweise Preisauskünfte der Firma Viessmann.

In Abbildung 37 werden zunächst die Kosten für das Eisspeichersystem aufgezeigt.

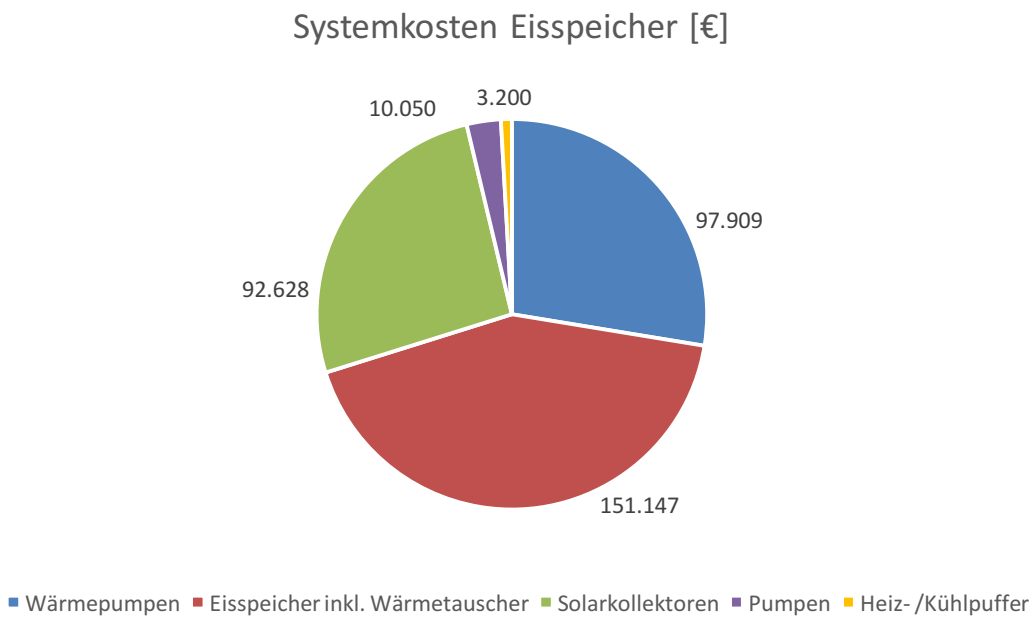



Abbildung 37: Systemkosten Eisspeicher

Hier ist ersichtlich, dass der Eisspeicher mit Entzugs- und Regenerationswärmetauscher den größten Anteil ausmachen. Gefolgt wird dieser von gleichermaßen den Solarkollektoren und den Wärmepumpen. In Summe machen die Systemkosten 405.833,60 € aus.

In Abbildung 38 ist erkennbar, dass auch bei der Variante der Wärmepumpe mit Tiefenbohrung die Herstellung der Wärmequelle einen beachtlichen Anteil der Gesamtkosten darstellt. Insgesamt jedoch kommt diese Konfiguration mit 285.220 € günstiger in den Systemkosten, als jene mit dem Eisspeicher, da hier die Solarthermieanlage entfällt.

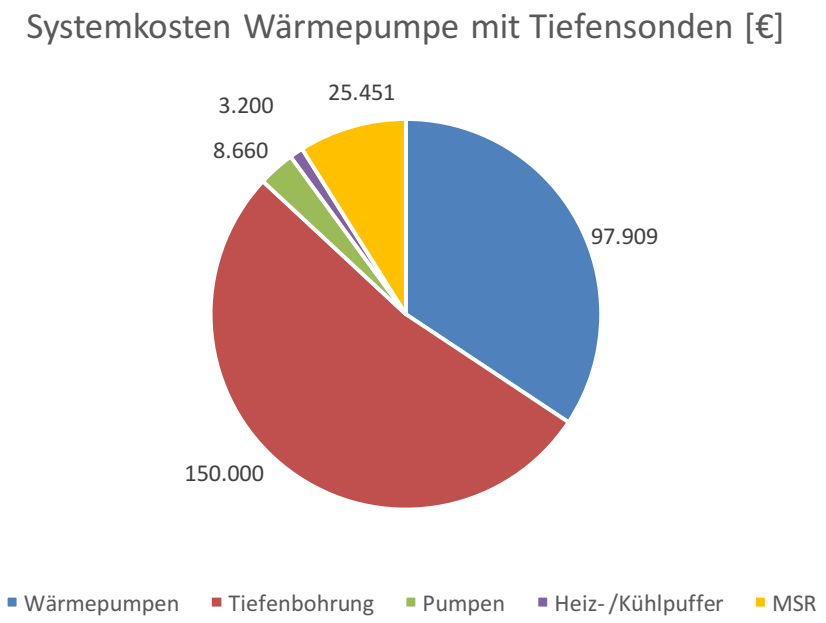



Abbildung 38: Systemkosten Wärmepumpe mit Tiefenbohrung

Bei den Systemkosten der Gaskesselanlage, wie in Abbildung 39 zu sehen ist, nimmt der Gaskessel den größten Teil ein. Bei den Anschaffungskosten liegt diese Variante mit 52.419 € am günstigsten.

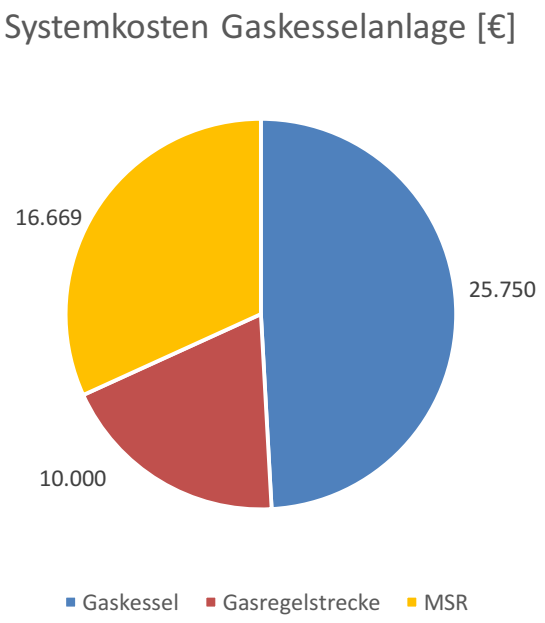



Abbildung 39: Systemkosten Gaskesselanlage

Nun werden die Fördermöglichkeiten aufgezeigt, welche einen maßgeblichen Einfluss auf die Barwerte der kapitalgebundenen Kosten haben.

## Förderungen

Da die Eisspeichertechnologie noch nicht sehr lang am Markt verfügbar ist und sich noch nicht etabliert hat, ist es oft nötig, Förderungen durch die öffentliche Hand bereitzustellen. Denn bei sehr vielen Projekten steht und fällt der Erfolg dieser mit der Wirtschaftlichkeit. Neue Technologien sind oftmals auf eine Förderung angewiesen ist.

Die folgenden Daten und Fördermöglichkeiten wurden mit Stand April 2018 erfasst. Die Aufstellung der Förderung wird anhand des Projektes dargestellt.

Der Klima- und Energiefond hat im Mai 2018 einen neuen Leitfaden für solare Großanlagen publiziert. Die verschiedenen Fördergegenstände sind in insgesamt 5 Themenfelder unterteilt. Neben solarer Prozesswärme, solare Einspeisung in netzgebundene Wärmeversorgungen, etc., kommt für das Projekt das 4. Themenfeld in Frage: „Solarthermie in Kombination mit Wärmepumpe". Die aktualisierte Förderung ist in Kapitel 3.3.1.2.1 aufgezeigt. Die Wirtschaftlichkeitsberechnung wir mit der aktuellen Förderung berechnet.

Anteile für private Nutzung gibt es bei diesem Projekt nicht.

### Wärmepumpe

Zunächst wird der Teil der Wärmepumpe dargestellt.

Der Staat Österreich bietet die Möglichkeit, Wärmepumpenanlagen, welche zur Bereitstellung von Heizwärme und/oder Warmwasser verwendet werden, zu fördern.

Prinzipiell gibt es zwei Arten von Anlagen: <400 kW und ≥400 kW thermische Leistung. Diese sind in Tabelle 3-6 dargestellt.

Tabelle 3-6: Rahmenbedingungen der Förderung
https://www.umweltfoerderung.at/fileadmin/user_upload/media/umweltfoerderung/Dokumente_Betriebe/Waermepumpen/UFI_Standardfall_Infoblatt_WAERMPU.pdf

| | Wärmepumpen < 400 $kW_{th}$ | Wärmepumpen ≥ 400 $kW_{th}$ |
|---|---|---|
| **Zeitpunkt der Antragstellung** | nach Umsetzung der Wärmepumpe, spätestens jedoch sechs Monate nach Rechnungslegung. | vor der ersten rechtsverbindlichen Bestellung von Anlagenteilen, vor Lieferung, vor Baubeginn oder vor einer anderen Verpflichtung, die die Investition unumkehrbar macht, wobei der früheste dieser Zeitpunkte maßgebend ist. |
| **Technische Voraussetzungen** | Zertifizierung nach den EU-Umweltzeichenkriterien gemäß der Richtlinie 2014/314/EU (EU Umweltzeichen) bzw. entspricht vollinhaltlich den in dieser Richtlinie festgelegten Mindestanforderungen | Mindestleistungszahl (COP, gemessen nach EN 14511) laut Herstellerangabe:<br>• 5,1 für Wasser/Wasser-Wärmepumpen bei W10/W35<br>• 4,3 für Sole/Wasser-Wärmepumpen bei B0/W35 bzw. Erdkollektor bei E4/W35<br>• 3,5 für Luft/Wasser-Wärmepumpen bei A2/W35<br>Mindestleistungszahl (COP, gemessen nach EN 15879) laut Herstellerangabe:<br>• 4,3 für Direktverdampfer-WP bei E4/W35 |
| | Niedertemperatur-Heizungssystem (Heizungsvorlauftemperatur < 40°C) | |
| **Mindest-Investition** | keine | 10.000 Euro |
| **jährl. Mindest-$CO_2$-Einsparung** | keine | 4 Tonnen |

| | Wärmepumpen < 400 $kW_{th}$ | | Wärmepumpen ≥ 400 $kW_{th}$ |
|---|---|---|---|
| **Förderungsbasis** | förderungsfähige Kosten der Umweltinvestition | | Investitionsmehrkosten für die Umweltinvestition:<br>förderungsfähige Kosten abzüglich Kosten für eine leistungsgleiche fossile Wärmeerzeugungsanlage |
| | Anteile für private Nutzung werden abgezogen. | | |
| **Wärmequelle** | Wasser/ Wasser bzw. Sole/Wasser-Wärmepumpe | Luft/Wasser-Wärmepumpe | Wärmepumpe |
| **Förderungssatz** | • 85 Euro/kW (0-80 kW) pauschal<br>• 45 Euro/kW (81-399 kW) pauschal | • 70 Euro/kW (0-80 kW) pauschal<br>• 35 Euro/kW (81-399 kW) pauschal | 15 % der Förderungsbasis<br>20% der Förderungsbasis bei Projekten, die die Auswahlkriterien für eine EU-Kofinanzierung erfüllen (Download unter: **www.umweltfoerderung.at/uploads/_efre_projektselektion.pdf**) |
| **Maximale Förderung** | Die Förderung ist mit 30 % der förderungsfähigen Kosten begrenzt. | | 675 Euro/ pro eingesparter Tonne $CO_2$<br>bzw. benötigte Investitionsförderung gemäß Online-Antrag |
| **Zuschlags-möglichkeiten** | keine | | 5 % (max. 10.000 Euro) für EMAS zertifizierte Unternehmen<br>Die Inanspruchnahme von Zuschlägen ist bis zur beihilfenrechtlichen Höchstgrenze möglich. |
| **Beihilfenrechtliche Grundlage** | Förderung nur im Rahmen von „De-minimis“ möglich | | Förderung nur im Rahmen der Allgemeinen Gruppenfreistellungsverordnung (AGVO) bzw. Agrarischen Freistellungsverordnung möglich.* |

Wie man sieht, ist die Förderung für Wärmepumpen unter 400 kW thermischer Leistung relativ simpel. Über 400 kW spielt neben dem COP und der mind. Investition auch die jährlich eingesparte Menge an $CO_2$ ein Rolle.

Anschließend wird die Höhe der Förderung für das Projekt „Audio Tuning" dargestellt.

Eckdaten Wärmepumpe:

- Viessmann Vitocal 300-G Pro 302.BS250
    - B0/W35 222 kW
- Viessmann Vitocal 300-A AWO 302.A60
    - A2/W35 50 kW

Da die Vitocal 300-G Pro eine Sole-Wärmepumpe ist und unter 400 kW Leistung hat, fällt sie also in die erste Spalte. Hierbei wird von 0-80 kW eine Pauschale von 85 €/kW und von 81-399 kW eine Pauschale von 45 € ausgezahlt.

| | |
|---|---|
| 85 €/kW * 80 kW = | 6800 € |
| 45 €/kW * 142 kW = | 6390 € |
| | Σ 13.190 € |

Das Projekt erhält nach obiger Berechnung eine Förderung der Wärmepumpe von 13.190 €. Weiters kann die Vitocal 300-A gefördert werden. Die Luft-Wärmepumpe wird mit einer Pauschale von 70 €/kW gefördert. Da diese eine Leistung von 50 kW aufweist ergibt sich eine Förderung von 3.500 €.

Für das Projekt, welches in 2193 Wilfserdorf durchgeführt wurde, gibt es vom Land Niederösterreich eine weitere Förderung, die in Anspruch genommen werden kann. Die Förderung erfolgt durch einen Zuschuss bis zu maximal 10 % (max. 20.000 €) der förderbaren Kosten. Das heißt, es kann noch einmal mit 5.426 € (Gerätekosten 54.260 €) an Förderung gerechnet werden. Auch bei der Luft-Wärmepumpe können 1660 € in Anspruch genommen werden, da der Gerätepreis 16.660 € beträgt.

Insgesamt können also für das Projekt 23.776 € für die Wärmepumpe an Förderungen generiert werden.

## Solarthermie

Da zum Eisspeichersystem des Projekts auch eine solarthermische Anlage gehört, kann diese ebenfalls zum Erhalt der Fördergelder herangezogen werden.

Gefördert werden durch den Staat thermische Solaranlagen, welche eine Bruttokollektorfläche von ≥100 $m^2$ aufweisen. Bei dem Projekt wurden insgesamt 37 Stück SLK-600 Kollektoren der Fa. Viessmann verbaut. Diese haben eine Aufstellfläche von ca. 289 $m^2$. Die Aufstellfläche wird hier mit der Absorberfläche gleichgesetzt, da (wie auf den Bildern in Kapitel 3 zu sehen ist) ansonsten die Fläche unverhältnismäßig groß wäre.

In Tabelle 3-7 ist die Bemessung der Förderung ersichtlich.

Tabelle 3-7: Bemessung der Förderung für solarthermische Anlagen
https://www.umweltfoerderung.at/betriebe/thermischesolaranlagen/navigator/gebaeude/thermische-solaranlagen-100-qm-4.html)

| | Thermische Solaranlagen ≥ 100 m² sowie Anlagen zur Kühlung |
|---|---|
| **Förderungsbasis** | Förderungsfähige Kosten der Umweltinvestition<br>Anteile für private Nutzung werden abgezogen |
| **Förderungssatz** | 20 % der Förderungsbasis<br>25 % der Förderungsbasis bei Projekten, die die Auswahlkriterien für eine EU-Kofinanzierung erfüllen (Download unter: **www.umweltfoerderung.at/uploads/_efre_projektselektion.pdf**) |
| **Maximale Förderung** | 900 Euro pro eingesparter Tonne $CO_2$<br>bzw. benötigte Investitionsförderung gemäß Online-Antrag |
| **Zuschlags-möglichkeiten** | 5 % (max. 10.000 Euro) EMAS zertifizierte Unternehmen<br>Die Inanspruchnahme von Zuschlägen ist bis zur beihilfenrechtlichen Höchstgrenze möglich. |

Die Investitionssumme der Solarthermieanlage (siehe Anhang D) beträgt 78.673 €. Davon werden 20 % gefördert. Dies ergibt also eine Summe von 15.734 €

Da das Unternehmen „Audio Tuning" nicht EMAS zertifiziert ist, kann auch kein Zuschlag von 5 % gerechnet werden.

Die Förderung von Solaranlagen durch das Land Niederösterreich ist dem der Förderung von Wärmepumpen sehr ähnlich. Auch hier werden maximal 10 % der förderbaren Kosten einer Solaranlage gefördert. Hier können 7.867 € an Fördergeld in Anspruch genommen werden.

Insgesamt kommen nun 23.608 € für die Solarthermieanlage Förderung zustande.

**Aktueller Stand August 2018**

Nun wird der aktuelle Stand August 2018 dargestellt.

Der Grund für dieses Programm ist jenes, welches schon in der Einleitung des Kapitels „Förderungen" beschrieben wurde. Es gilt hier einen Anstoß für solarthermische Großprojekte und deren Kombinationen mit anderen Technologien zu schaffen. Weiters können nur durchgeführte Projekte Daten und fundierte wissenschaftliche Erkenntnisse liefern. Die Förderungen werden ausschließlich aus nationalen Mitteln generiert.

Im Themenfeld 4 werden Kombinationen aus Wärmepumpen und Solaranlagen gefördert, welcher wieder in Zusammenstellungen unterteilt werden:

- Solarenergie direkt in Wärmeverbraucher
- Solarenergie als Quelle für die Wärmepumpe
- oder Kombination aus beiden

Wärmepumpen, welche die Wärmequelle Luft nutzen, sind hierbei ausgenommen.

Ein wesentliches Beurteilungskriterium ist der Innovationsgehalt. Hier gibt es eine Reihe von Vorschlägen, welche Elemente besonders innovativ sein könnten. Besonders erwähnenswert ist hier „Lösungen zur Nutzung oder Speicherung des solaren Überschusses in den Sommermonaten" zu nennen, da das Eisspeichersystem diesem Vorschlag nachkommt.

Im Themenfeld 4 ist die Förderung mit 750.000 € gedeckelt. Die Förderhöhe wird folgendermaßen berechnet:

$$MK = UIK - Referenzanlage \tag{3.1}$$

Die umweltrelevanten Investitionskosten (UIK) sind jene Kosten, welche eingereicht werden können. Hierbei muss die Referenzanlage (z.B. eine Gaskesselanlage mit gleicher Leistung) den UIK abgezogen werden, um die Förderbasis zu errechnen.

Bei einer Anlagengröße bis 2000 $m^2$ Absorberfläche ist eine maximale Förderung von 40 % der umweltrelevanten Mehrkosten (MK) (3.1) möglich. Hinzu kommen noch 5 % für KMU und weitere 5 % für innovative Speichersysteme. Es muss jedoch beachtet werden, dass bei Wärmepumpen, welche auch zum Kühlen eingesetzt werden, nicht die gesamten Investitionskosten gefördert werden können. Es können nur Kosten, die beim Heizbetrieb anfallen, angerechnet werden. Der Anteil ist entsprechend dem Anteil des Stromverbrauchs (welcher nur für den Heizbetrieb aufgewendet wird) zu ermitteln.

Weiters können Förderungen vom Land Niederösterreich, wie schon in der ursprünglichen Berechnung beschrieben, hinzugerechnet werden.

Wie in Anhang D zu erkennen, kommen nun insgesamt 112.323,03 € an Förderung zusammen (die Deckelung wurde nicht erreicht). Diese Summe wirkt sich gravierend auf die Wirtschaftlichkeit der Anlage aus.

Die verbrauchsgebundenen und betriebsgebundenen Kosten werden im Kapitel 3.3.2 aufgrund einfacheren Darstellung aufgezeigt.

### 3.3.2 Barwerte

Die Zusammenfassung der Barwerte der kapitalgebundenen Kosten ist in Tabelle 3-8 ersichtlich.

Tabelle 3-8: zusammengefasste kapitalgebundene Kosten

| Kapitalgebundene Kosten | | | |
|---|---|---|---|
| WEZ | Investition [€] | Summe verwertbare Komponenten [€] | Barwert [€] |
| Eisspeicher | 312.297 | 256.667 | 264.209,85 |
| Tiefenbohrung | 260.634 | 129.760 | 236.323,17 |
| Gaskessel | 52.419 | 52.419 | 42.598,18 |

Die ausführlichere Darstellung ist im Anhang B zu finden. Wie sich schon im Kapitel Systemkosten abgezeichnet hat, ist auch mit dem Einbezug der Förderungen das Eisspeichersystem am teuersten, gefolgt von der Wärmepumpenanlage mit Tiefenbohrung und der Gaskesselanlage. Nach Ablauf des Betrachtungszeitraumes haben die Komponenten trotzdem noch einen Wert und könnten verkauft werden. Die verwertbaren Komponenten beim Eisspeichersystem sind die Wärmepumpen inkl. Zubehör, die Solar-Luftabsorber, Pufferspeicher, Pumpen und die Mess- und Regeltechnik. Der Eisspeicher selbst kann nicht mehr in diese Rechnung einbezogen werden, da er fest im Erdreich vergraben ist. Ähnlich ist es bei der Variante mit Tiefenbohrungen, denn hier können Wärmepumpen, Puffer, Pumpen und die MSR (Mess- und Regelungstechnik) verwendet werden. Jedoch ist die Wärmequelle auch hier nicht verwertbar, da die Sonden nicht noch einmal eingesetzt werden können.

Tabelle 3-9: zusammengefasste verbrauchsgebundene Kosten

| Verbrauchsgebundene Kosten | | |
|---|---|---|
| WEZ | Energiekosten [€] | Barwert [€] |
| Eisspeicher | 22.353,80 | 288.485,59 |

| | | |
|---|---|---|
| Tiefenbohrung | 22.353,80 | 288.485,59 |
| Gaskessel | 25.142,86 | 324.479,59 |

Die verbrauchsgebundenen Kosten (Tabelle 3-9) setzen sich bei der Wärmepumpe aus Stromkosten und beim Gaskessel aus Gaskosten zusammen. Es wurde ein Strompreis von 0,14 €/kWh und ein Gaspreis von 0,07 €/kWh angenommen. Auf Basis dieser Kosten zeichnet sich eine Differenz von 35.994 € über 15 Jahre ab. Die Gaskesselanlage ist also bei den verbrauchsgebundenen Kosten teurer. Es wurden zwar Steigerungsfaktoren bei der Berechnung miteinbezogen, jedoch können die derzeitig schwankenden Gaspreise stärker ansteigen und somit einen größeren Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit haben, als hier angenommen.

Um die betriebsgebundenen Kosten (Tabelle 3-10) korrekt nach VDI 2067 zu kalkulieren, müssen sie beim Eisspeichersystem in einen Wärmepumpenanteil und einen Solarthermieanteil geteilt werden. Für die Instandsetzung und Wartung der Wärmepumpe werden jeweils 3 % und 1 % der Investitionskosten gerechnet. Weiters sind bei den betriebsgebundenen Kosten die Bedienung mit 20 h/a zu rechnen. Hier wurde ein Stundensatz von 80 € pro Stunde angenommen. Diese Kosten werden auch bei der Tiefenbohrung angesetzt. Bei der Solaranlage werden jeweils für die Instandsetzung und Wartung 0,5 % der Investitionskosten angesetzt. Für die Bedienung werden 5 h/a bei einem Stundensatz von ebenfalls 80 €/h berechnet.

Tabelle 3-10: zusammengefasste betriebsgebundene Kosten

| Betriebsgebundene Kosten | | |
|---|---|---|
| WEZ | Wartungskosten [€] | Barwert [€] |
| Eisspeicher | 5.546,18 | 71.575,88 |
| Tiefenbohrung | 4.434,40 | 57.227,88 |
| Gaskessel | 1.440,47 | 18.589,83 |

Bei der Gaskesselanlage werden nach VDI 2 % für die Instandsetzung und 1,5 % der Kosten angenommen. Die Bedienung wird mit 10 h/a beziffert, wobei auch hier wieder der Stundensatz mit 80 €/h angenommen wird.

In Tabelle 3-11 sind alle oben beschriebenen Barwerte zusammengefasst und dargestellt. Hier erkennt man nun, dass über den Betrachtungszeitraum von 15 Jahren der Gaskessel an günstigsten kommt, auch wenn die verbrauchsgebundenen Kosten höher ausfallen. Hier sind vor allem die hohen Anschaffungskosten des Eisspeichersystems bzw. auch der Wärmepumpe mit Tiefenbohrung ausschlaggebend. Das System mit Tiefenbohrung liegt hier an zweiter Stelle, da einerseits die Anschaffungskosten andererseits auch die daraus resultierenden günstigeren betriebsgebundenen Kosten geringer ausfallen, da diese mit einem Prozentsatz der kapitalgebundenen Kosten berechnet werden.

Tabelle 3-11: Barwerte insgesamt

| | Barwerte | | | Gesamtkosten [€] | Ersparnis [€] |
|---|---|---|---|---|---|
| WEZ | Kapital-gebundene Kosten [€] | Verbrauchs-gebundene Kosten [€] | Betriebs-gebundene Kosten [€] | | |
| Eisspeicher | 264.209,85 | 288.485,59 | 71.575,88 | 624.271,32 | - |
| Tiefenbohrung | 236.323,17 | 288.485,59 | 57.227,88 | 582.036,63 | 42.234,68 |
| Gaskessel | 42.598,18 | 324.479,59 | 18.589,83 | 385.667,61 | 238.603,71 |

## 3.4 Vergleich des $CO_2$ Ausstoßes zu anderen Technologien

Bei neuen und innovativen Energiebereitstellungsverfahren ist ein großes Augenmerk auf die Einsparung von treibhausfördernden Emissionen gerichtet. Hier stellt sich also die Frage, ob das vermeintlich energiesparende System auch wirklich dazu beiträgt, der Klimaerwärmung entgegen zu wirken.

Ein komplettes Life-Cycle-Assessment ist nicht Teil dieser Arbeit.

### 3.4.1 Treibhauspotential

Um die Schädigung des Klimas durch verschiedene Gase vergleichen zu können, wurde das Treibhauspotential[7] eingeführt. Dieser Wert gibt an, wieviel das Gas im Vergleich zur gleichen Menge $CO_2$ zur globalen Erderwärmung beiträgt. Als Zeitraum werden meist 100 Jahre festgelegt. Beispielsweise hat das Kältemittel R410A einen GWP von

[7] auch GWP Global Warming Potential oder $CO_2$ – Äquivalente genannt

2088. Das heißt also, dass ein kg R410A 2088-mal so stark zum Treibhauseffekt beiträgt wie ein kg $CO_2$.

Um die $CO_2$ Einsparung von verschiedenen Technologien darstellen zu können, wird die $CO_2$ – Äquivalente errechnet.

Wie aus der Simulation zu erkennen ist, beträgt die erzeugte Wärmeenergiemenge 340.075 kWh/a. Es müssen aus dem Netz 159.670 kWh an elektrischer Energie für die Wärmepumpe (da dies der mit Abstand der größte Verbraucher ist) entnommen werden. Um nun die $CO_2$ – Äquivalente zu errechnen, ist ein Emissionsfaktor miteinzubeziehen. In Tabelle 3-12 sind die verschiedenen Emissionsfaktoren[8] dargestellt.

Tabelle 3-12: Emissionsfaktoren der verschiedenen Energieträger

| Energieträger | Emissionsfaktor gesamt (inkl. Vorkette) | Einheit |
|---|---|---|
| Strom[9] | 0,302 | kg/kWh |
| Heizöl EL | 3,352 | kg/l |
| Erdgas | 2,437 | kg/m$^3$ |
| Holzpellets | 0,205 | kg/kg |
| Holz (luftgetrocknet) | 0,090 | kg/kg |
| Fernwärme | 0,191 | kg/kWh |

Wie nachfolgende kurze Berechnung (3.1) aufzeigt, entstehen durch den aufgenommenen Strom der Wärmepumpe 48.220 kg $CO_2$ – Äquivalente pro Jahr.

$$159.670\,\frac{kWh}{a} * 0{,}302\,\frac{kg}{kWh} = 48.220\,\frac{kg}{a} \tag{3.1}$$

[8] http://www5.umweltbundesamt.at/emas/co2mon/co2mon.html
[9] Bei diesem Faktor wurde die inländische Stromerzeugung und die Stromimporte schon berücksichtigt.

Um zu entscheiden, ob nun die Wärmepumpe am die geringste Menge $CO_2$ – Äquivalente erzeugt oder ob andere Technologien besser geeignet wären, werden nun folgend die verschiedenen Energieträger miteinander verglichen.

Hierzu muss zunächst die verbrauchte Menge von dem jeweiligen Energieträger errechnet werden[10]. In Tabelle 3-13 und Abbildung 40 ist die verbrauchte Menge und die daraus entstandene Menge $CO_2$ – Äquivalente zusammengefasst.

Tabelle 3-13: errechnete $CO_2$ – Äquivalente

| Energieträger | verbrauchte Menge pro Jahr | Einheit | Emissionsfaktor | $CO_2$ – Äquivalente [kg] | Eingesparte Menge $CO_2$ [kg] |
|---|---|---|---|---|---|
| Strom | 159.670 | kWh | 0,302 | 48.220 | 0 |
| Erdgas | 28.110 | $m^3$ | 2,437 | 68.504 | 20.284 |
| Heizöl EL | 28.482 | l | 3,352 | 95.470 | 47.250 |
| Holzpellets | 74.105 | kg | 0,205 | 15.192 | -33.029 |
| Holz (luftgetrocknet) | 73.291 | kg | 0,090 | 6.596 | -41.624 |
| Fernwärme | 340.075 | kWh | 0,191 | 64.954 | 16.734 |

[10] thermische Leistung 220kW

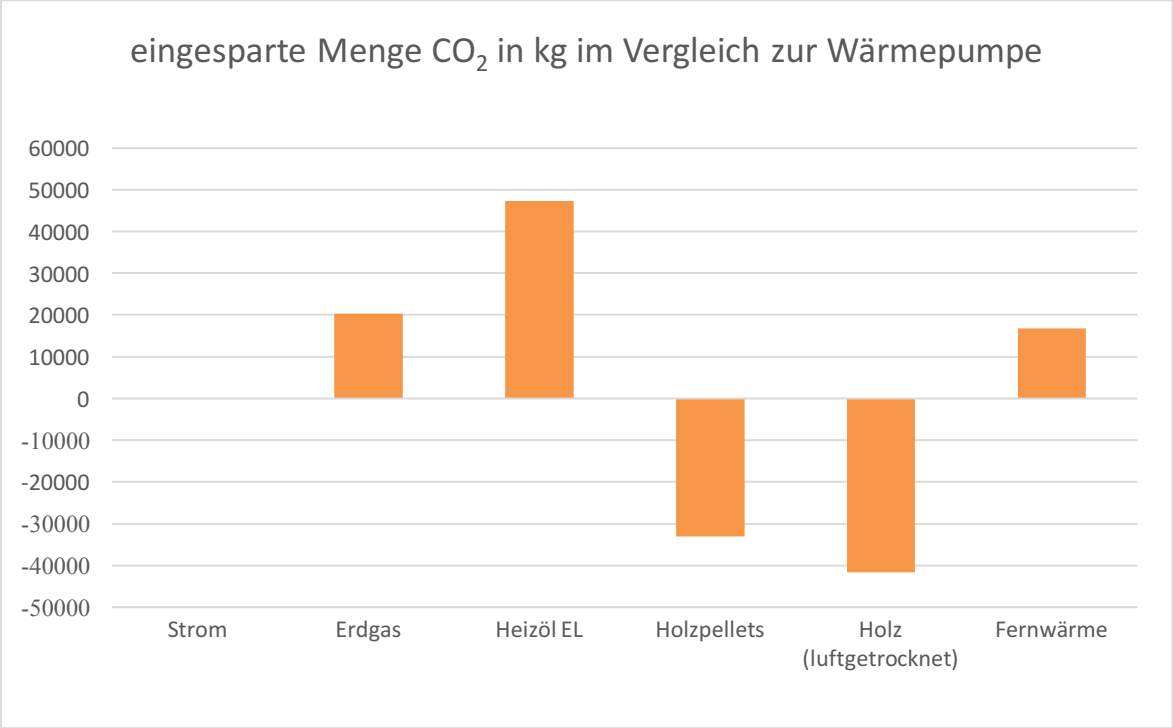



Abbildung 40: Veranschaulichung eingesparte $CO_2$ Menge

Die Auswertung zeigt, dass hinsichtlich des $CO_2$ Ausstoßes ein Stückholzkessel am besten ist. Dies ist durch den geringen Emissionsfaktor zu erklären. Wäre das Projekt mit einem Stückholzkessel ausgeführt worden, hätte man eine Einsparung von 41.624 kg $CO_2$, gegenüber dem Einsatz einer Wärmepumpe. Dieser ist jedoch nicht immer möglich, da ein großer Lagerraum und eigenes Personal hierfür gestellt werden muss und so erhöhte Wartungskosten entstehen. Weiters ist eine Kühlung im Sommer nicht möglich.

Die Verbrennung von Holzpellets würde ebenso mehr $CO_2$ einsparen als die Verwendung von Strom für eine Wärmepumpe. Die Einsparung ist jedoch auf Grund des Verarbeitungsprozesses der Pellets nicht so hoch wie bei einem Stückholzkessel. Die Nachteile des Pelletskessel sind dem des Stückholzkessels ähnlich und liegen hauptsächlich in der Lagerung des Brennstoffes und zusätzlichem Wartungsaufwand.

Der Einsatz von Fernwärme würde um 16.734 kg $CO_2$ mehr verursachen, als die Wärmebreitstellung durch eine Wärmepumpe. Dies liegt in der Tatsache, dass die Energie hauptsächlich aus der Verbrennung von Erdgas gewonnen wird[11].

[11] http://www.austrian-heatmap.gv.at/fileadmin/user_upload/FW_KWK_Endbericht.pdf

Öl bzw. Erdgas verursachen im Vergleich am meisten $CO_2$ – Äquivalente. Dass bei fossilen Energieträger sowohl die Gewinnung, Aufbereitung, Transport und Verbrennung sehr viel Schadstoffe produziert werden, ist im Emissionsfaktor klar zu sehen.

Der relativ niedrige Emissionsfaktor des Strommixes in Österreich ist vor allem auf den hohen Anteil an erneuerbarer Energie zurück zu führen, dieser betrug 2016 79 %[12].

[12] https://oesterreichsenergie.at/stromerzeugung-231.html)

# 4 Zusammenfassung

Der Einsatz von erneuerbaren Energien ist im Ringen gegen den Klimawandel unumgänglich und stellt einen essentiellen Faktor zur Erfüllung zahlreicher politischer Ziele dar. Die Sonne selbst bietet mit ca. 1 kW/m$^2$ Einstrahlungsintensität genügend Leistung um fossile Energieträger zur Temperierung eines Gebäudes zu verdrängen. Dabei spielt jedoch der Faktor Zeit eine entscheidende Rolle. Um Abhilfe zu schaffen, werden zur Überbrückung leistungsschwacher Zeiträume Energiespeicher genutzt.

Eisspeicher fallen in die Gruppe der sensiblen und in die der latenten Speicher. Da sich der Arbeitsbereich eines Eisspeichers zwischen ca. -5 bis +20 °C bewegt, wird der Energieertrag nicht nur durch den Energieinhalt des flüssigen Wassers, sondern zusätzlich auch aus dem Phasenwechsel gewonnen. Für das Umwandeln von 0°C Eis in 0°C flüssiges Wasser müssen 334 kJ/kg eingebracht werden bzw. werden frei. Diese Energie kann zum Heizen über die Wärmepumpe oder zum Kühlen eines Gebäudes verwendet werden. Bei 1 m$^3$ Wasser wird die gleiche Energiemenge frei wie in ca. 10 Liter Heizöl EL enthalten sind.
Trotz der verschiedensten Arten der Eisspeichersysteme, wird in der Praxis das Modell mit spiralförmig angeordneten Wärmetauscherrohren am meisten verbaut. Diese werden von kleinen Leistungen bis mehreren 100 kW angeboten.

Wie jede Technologie bringt auch ein Eisspeichersystem Vor- und Nachteile mit sich. Neben dem zusätzlichen Energieertrag der durch den Phasenübergang, entstehen im Gegensatz zu Wärmepumpen mit Tiefenbohrungen keine Veränderung der Temperatur im umliegenden Erdreich. Weiters ist keine wasserrechtliche Genehmigung erforderlich, da sehr wenig Energie aus dem Erdreich gewonnen wird. Als Nachteil sei erwähnt, dass Eisspeichersysteme meist höhere Kosten aufweisen als herkömmliche Wärmepumpensysteme und deren Aufbau einen komplexeren Vorgang darstellt.

Die Darstellung des Projekts „Audio Tuning" in 2139 Wilfersdorf bezieht sich auf eine im Jahr 2016 abgeschlossene Installation eines Eisspeichersystems mit einer 220 kW Wärmepumpe, Solar-Luftabsorber mit einer Aufstellfläche von knappen 290 m$^2$ und einem Eisspeicher mit ca. 908 m$^3$ Wasserinhalt. Nach der technischen Analyse wurde eine Simulation mittels der Software „Polysun" durchgeführt. Mithilfe der Simulation wurden einerseits die Bauteilgrößen nachgebildet wie sie ausgeführt wurden, andererseits wurde die Größe der Solarthermieanlage, der Wärmepumpe und des Eisspeichers variiert. Hier hat sich deutlich gezeigt, dass es sowohl technisch als auch wirtschaftlich keinen Vorteil bietet, die einzelnen Bauteile besonders groß oder besonders klein zu wählen. Vor allem in Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit ist auf die Abstimmung der Elemente zueinander zu achten.
Weiters wurde das Projekt einem wirtschaftlichen Vergleich mit einem Wärmepumpensystem mit Tiefenbohrung und einer Gaskesselanlage unterzogen. Die Kalkulation basiert auf der Barwertmethode in Anlehnung an die ÖNORM M 7140 und VDI 2067. Die kapitalgebundenen Kosten sind trotz der Berücksichtigung der Förderungen bei Eisspeichersystemen am höchsten. Ein ausschlaggebender Punkt ist

hierbei die zusätzlich installierte Solaranlage. Hinsichtlich verbrauchs- und betriebsgebundenen Kosten weisen beide Wärmepumpenanlagen höhere Anteile auf als der Gaskessel. Unter der Berücksichtigung aller Kosten über einen Zeitraum von 20 Jahren, fällt das Eisspeichersystem um ca. 7,3 % teurer aus als eine vergleichbare Wärmepumpenanlage mit Tiefenbohrungen. Im Gegensatz zur Gaskesselanlage ist der Eisspeicher sogar um ca. 61,9 % kostspieliger.

Anders sieht es jedoch bei der Betrachtung von anderen Wärmeerzeugern in Hinblick auf den $CO_2$-Ausstoß aus. In diesem Zusammenhang wurde ein Vergleich zu Wärmepumpen, Gas- und Ölkessel sowie Holzpellets, luftgetrocknetes Holz und Fernwärme durchgeführt. Trotz der führenden Rolle von luftgetrocknetem Scheitholz und Holzpelletskessel, weist auch der Eisspeicher einen niedrigen Emissionsfaktor auf. Neben anderen Nachteilen wie erhöhter Wartungsaufwand, ist es nicht möglich mit Biomasse ein Gebäude zu kühlen. Die Energieversorgung durch einen Fernwärmeanschluss würde mehr $CO_2$ verursachen als das Eisspeichersystem. Eine Gas- und Ölkesselanlage liegt bei der Verursachung von treibhausfördernde Stoffen im Spitzenfeld. Der Einsatz eines vergleichbaren Ölkessels, anstatt des Eisspeichersystems, würde bei der herangezogenen Leistungsgröße eine Erhöhung von zusätzlich 47,25 t $CO_2$ pro Jahr verursachen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass dem technischen Einsatz eines Eisspeichersystems zur Versorgung von Wärme und Kälte für Industriegebäude nichts entgegensteht. Die umfassende Definition der konkreten Rahmenbedingungen spielt dabei eine tragende Rolle. Um allerdings auch einen ökonomischen Nutzen aus diesem System zu ziehen, müsste der Preis für fossile Energieträger weiter ansteigen.

In Tabelle 4-1 wird noch ein abschließender Rückblick gegeben, wann ein Eisspeicher einsetzbar ist, welche Rahmenbedienungen eingehalten werden müssen und welche Vorteile er bietet.

Tabelle 4-1: Matrix für den Überblick Eisspeicher

| Überblick Eisspeicher | |
|---|---|
| Was ist ein Eisspeicher | alternative Wärmequelle einer Sole-Wärmepumpe |
| Wann kann ein Eisspeicher eingesetzt werden | Immer, wenn es die Platzverhältnisse zulassen bzw. andere Quellen für Wärmepumpe nicht möglich sind |
| Rahmenbedingungen | Anforderungen an das System (Heiz-/Kühllast, Gebäudeprofil etc.) von Anfang an fixiert, da eine nachträgliche Änderung nur schwer möglich ist |
| | Um das System möglichst wirtschaftlich zu gestalten sollte die Kühllast nicht extrem hoch sein (um möglichst lange mit freier Kühlung zu kühlen) |
| Vorteile | zusätzlicher Energiegewinn durch Phasenänderung |
| | keine Genehmigung Erforderlich |
| | kein Einfluss auf umliegende Erdreich |
| | neue Technologie kann zu Werbezwecken genutzt werden |
| | skalierbar |

# 5 Verzeichnisse

## 5.1 Literaturverzeichnis

Biermayr, P. (2013): Innovative Energietechnologien in Österreich Marktentwicklung 2012, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie Österreich

Brökelmann, B. (2010): Die Spur des Öls. Sein Aufstieg zur Weltmacht, Internetquelle abgerufen von: http://www.energievisions.de/lexikon/erdoel.html, am 28.3.2017

Dohmann, J. (2016): Thermodynamik der Kälteanlagen und Wärmepumpen, Springer-Verlag Berlin Heidelberg

EnergieSchweiz (2014): Eisspeicher-Wärmepumpen-Anlagen mit Sonnenkollektoren Technologiestudie, Schweiz

GeoSol Endbericht (2013): Erfolgsfaktoren für Solare Mikrowärmnetze mitt siasonal geothermischer Wärmespeicherung, Technische Universität Wien, Energy Economics Group und Geologische Bundesanstalt Wien, abgerufen von http://www.eeg.tuwien.ac.at/eeg.tuwien.ac.at_pages/research/downloads/PR_304_GEOSOL-Endbericht-Vers-2013-04-29.pdf, am 26.6.2018

Jankowsky, H. (2000): Österreichs große Erfinder: ihr Leben, ihre Arbeiten, ihre Schicksale, Graz Wien Köln Styria

Kaltschmitt, M., Streicher, W., Wiese, A. (2005): Erneuerbare Energien, Springer Verlag

Land Niederösterreich (2018): Anlagen zur Nutzung der Erdwärme und der Wärme der Gewässer ("Wärmepumpen"), Internetquelle abgerufen von: http://www.noe.gv.at/noe/Wasser/grundwasser_waerme.html, am 14.4.2018

Oertel, D. (2008): Energiespeicher - Stand und Perspektiven, Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim deutschen Bundestag, Berlin

Philippen, D. (2012): Development of a heat exchanger that can be de-iced fort he use in ice stores in solar thermal heat pump systems, ISES-Europe Solar Conference, Rijeka, Croatia

Schossig, P. (2010): Wärme- und Kältespeicherung – Stand der Technik und Ausblicke, Internetquelle heruntergeladen von: http://www.eurosolar.de/de/images/stories/pdf/SZA_4_2010_Schossig.pdf am 13.4.2017

Usemann, K. (2005): Energieeinsparende Gebäude und Anlagentechnik, Springer-Verlag Berlin Heidelberg

## 5.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 jahreszeitliche Verschiebung zwischen Solarstrahlung und Wärmebedarf (GeoSol Enbericht, 2013) 3
Abbildung 2 Einteilung thermischer Energiespeicher (Schossig 2010, modifiziert) 4
Abbildung 3 Eisspeicher Direktverdampfersystem (Siemens Schweiz AG, 2017) 7
Abbildung 4 Eisspeicher mit Kunststoffkugeln (Siemens Schweiz AG, 2017) 8
Abbildung 5 Wärmetauscher in einem Eisspeicher (Viessmann, 2018) 9
Abbildung 6 Arbeitsbereich eines Eisspeicher, grün markierter Bereich (Viessmann, bearbeitet, 2018) 10
Abbildung 7 Wärmedurchgangskoeffizient in Abhängigkeit der Eisschicht (Philippen, 2012) 11
Abbildung 8 zeitliches Wachstum Eisschicht (Dohmann, 2016) 12
Abbildung 9 hydraulisches Schema Einbindung Eisspeicher (Viessmann, 2018) 13
Abbildung 10 hydraulisches Schema Einbindung Eisspeicher Legende (Viessmann, 2018) 14
Abbildung 11 Energiefluss Wärmepumpe 19
Abbildung 12 Arbeitsweise der Kompressionswärmepumpe (Biermayr, 2014) 19
Abbildung 13 fallende JAZ in Bezug auf steigende Vorlauftemperatur 21
Abbildung 14 Kollektorbauarten (Kaltschmitt, Streicher, Wiese, 2005) 22
Abbildung 15 Produktionsgebäude Audio Tuning (https://derstandard.at/2000066171905/Pro-Ject-im-Weinviertel-Autarkes-Betriebsgebaeude-mit-Sektkuehlschrank) 24
Abbildung 16 Solar-Luft-Absorber Detail 26
Abbildung 17 Solar-Luft-Absorber Überblick 26
Abbildung 18 Eisspeicher Eisbildung 27
Abbildung 19 Eisspeicher Absorber 28
Abbildung 20 Viessmann Vitocal Wärmepumpe 28
Abbildung 21 Energieertrag für WP aus Solarkollektoren 30
Abbildung 22 Energieertrag für WP aus dem Eisspeicher 31
Abbildung 23 freie Kühlung über Eisspeicher 32
Abbildung 24 Kühlen mit Wärmepumpe und Abgabe der Wärme an die Umgebung 33
Abbildung 25 Regenerieren des Eisspeichers 34
Abbildung 26 Simulationsschema 35
Abbildung 27 Systemübersicht Simulation 36
Abbildung 28 Simulationsausschnitt Solar-Luft-Absorber 37
Abbildung 29 Kollektor Regenerations- und Wärmequelle 38
Abbildung 30 solarthermische Energie an das System 38
Abbildung 31 Vereisungsgrad und Maximaltemperaturen 50 Solar-Luft-Kollektoren 40
Abbildung 32 Vereisungsgrad und Maximaltemperaturen 111 Solar-Luft-Absorber 41
Abbildung 33 Vereisungsgrad und Maximaltemperaturen 222 Solar-Luft-Absorber 42
Abbildung 34 Simulationsausschnitt Wärmepumpe 43
Abbildung 35 Simulationsausschnitt Eisspeicher 44
Abbildung 36 Eisspeichertemperatur und Vereisungsgrad über das Jahr 44

Abbildung 37 Systemkosten Eisspeicher 47
Abbildung 38 Systemkosten Wärmepumpe mit Tiefenbohrung 48
Abbildung 39 Systemkosten Gaskesselanlage 48
Abbildung 40 Veranschaulichung eingesparte $CO_2$ Menge 59

## 5.3 Tabellenverzeichnis

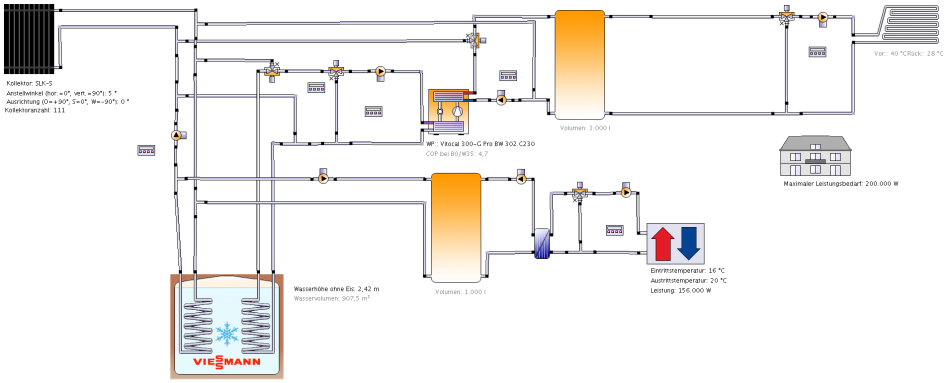
Tabelle 2-1 Bodentemperaturen um den Eisspeicher 16
Tabelle 2-2 Kollektortypen mit ihren typischen Einsatzbereichen und Temperaturen23
Tabelle 3-1 Berechnung Tiefenbohrung 25
Tabelle 3-2 Eckdaten Projekt Audio Tuning 25
Tabelle 3-3 Übersicht Solar-Luft-Kollektor-Größen 39
Tabelle 3-4 Übersicht versch. Wärmepumpenleistungen 43
Tabelle 3-5 Übersicht verschiedene Eisspeichergrößen 45
Tabelle 3-6 Rahmenbedingungen der Förderung https://www.umweltfoerderung.at/fileadmin/user_upload/media/umweltfoerderung/Dokumente_Betriebe/Waermepumpen/UFI_Standardfall_Infoblatt_WAERMPU.pdf 50
Tabelle 3-7 Bemessung der Förderung für solarthermische Anlagen https://www.umweltfoerderung.at/betriebe/thermischesolaranlagen/navigator/gebaeude/thermische-solaranlagen-100-qm-4.html) 52
Tabelle 3-8 zusammengefasste kapitalgebundene Kosten 54
Tabelle 3-9 zusammengefasste verbrauchsgebundene Kosten 54
Tabelle 3-10 zusammengefasste betriebsgebundene Kosten 55
Tabelle 3-11 Barwerte insgesamt 56
Tabelle 3-12 Emissionsfaktoren der verschiedenen Energieträger 57
Tabelle 3-13 errechnete $CO_2$ – Äquivalente 58
Tabelle 4-1 Matrix für den Überblick Eisspeicher 63

# 6 Anhang

## Anhang A

### Professioneller Report

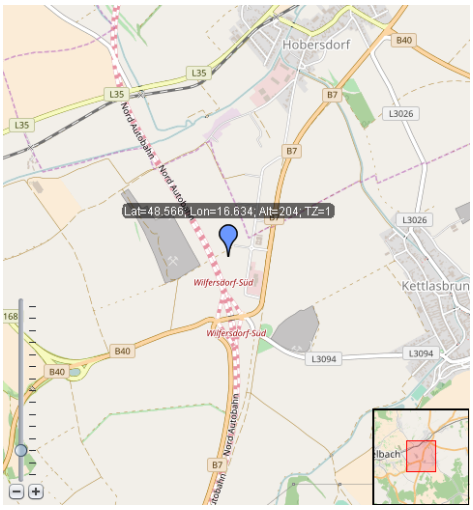
**Musteranlagenschema** **Schema 3 Mono**




**Standort der Anlage**

Wilfersdorf
Längengrad: 16,634°
Breitengrad: 48,566°
Höhe ü.M.: 204 m

**Kartenausschnitt**




**Dieser Report wurde erstellt durch:**

Georg Rabenreither
Steinamangerstrasse 21
7423 Pinkafeld

1 / 9 V10.2.3.26190 / 01.09.2018 / 12:49:08 polysun®

Für die Richtigkeit der Angaben und Resultate besteht kein Haftungsanspruch gegenüber der Firma Vela Solaris AG, ihren Zulieferern und Vertriebspartnern.

Educational Version

Educational Version

## Professioneller Report

### Systemübersicht (Jahreswerte)

| | |
|---|---|
| Gesamter Brennstoff- und Strom-Verbrauch des Systems [Etot] | 160.253 kWh |
| Gesamter Stromverbrauch [Ecs] | 160.253 kWh |
| Gesamter Fernwärmeverbrauch [EdistHeat] | 226.369 kWh |
| Nutzenergie [Quse] | 340.075 kWh |
| Systemjahresarbeitszahl (SJAZ) | 2,1 |
| Anlagenaufwandszahl | 0,47 |
| Komfortanforderungen | Energiebedarf ist gedeckt |

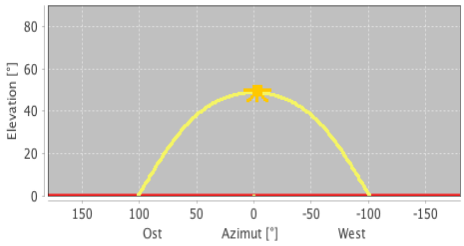
### Übersicht Solarthermie (Jahreswerte)

| | |
|---|---|
| Kollektorfläche | 284,2 m² |
| Solarer Deckungsanteil gesamt | 0% |
| Gesamter Kollektorfeldertrag | -112.918,5 kWh |
| Kollektorfeldertrag bzgl. Bruttofläche | -397,4 kWh/m²/Jahr |
| Kollektorfeldertrag bzgl. Aperturfläche | -399,9 kWh/m²/Jahr |
| Max. Energieeinsparung (VDI 6002) | 41.009,1 kWh |
| Max. vermiedene CO2-Emission | 21.997 kg |

### Übersicht Wärmepumpe (Jahreswerte)

| | |
|---|---|
| Jahresarbeitszahl (ohne Pumpenleistung) | 3,8 |
| Gesamter Stromverbrauch im Heizbetrieb [Eaux] | 159.670 kWh |
| Gesamte Energieeinsparung | 451.161 kWh |
| Gesamte vermiedene CO2-Emission | 242.003 kg |

### Horizontlinie




### Meteodaten-Übersicht

| | |
|---|---|
| Mittlere Aussentemperatur | 9,9 °C |
| Globalstrahlung, Jahressumme | 1.142 kWh/m² |
| Diffusstrahlung, Jahressumme | 545 kWh/m² |



Für die Richtigkeit der Angaben und Resultate besteht kein Haftungsanspruch gegenüber der Firma Vela Solaris AG, ihren Zulieferern und Vertriebspartnern.

Educational Version

## Professioneller Report

**Komponentenübersicht (Jahreswerte)**

| | | |
|---|---|---|
| **Kollektor Regenerations- und Wärmequelle** | **SLK-S** | |
| Datenquelle | | u145274 |
| Kollektoranzahl | | 111 |
| Parallele Abschnitte | | 111 |
| Bruttogesamtfläche | m² | 284,16 |
| Gesamte Aperturfläche | m² | 282,384 |
| Gesamte Absorberfläche | m² | 282,38 |
| Anstellwinkel (hor.=0°, vert.=90°) | ° | 5 |
| Ausrichtung (O=+90°, S=0°, W=-90°) | ° | 0 |
| Kollektorfeldertrag [Qsol] | kWh | -112.918,5 |
| Einstrahlung in Kollektorebene [Esol] | kWh | 335.398 |
| Kollektorwirkungsgrad [Qsol / Esol] | % | -33,7 |
| Direktstrahlung nach IAM | kWh | 167.220 |
| Diffusstrahlung nach IAM | kWh | 145.779 |
| **S/W oder W/W-Wärmepumpe 1** | **Vitocal 300-G Pro BW 302.C230** | |
| Jahresarbeitszahl (ohne Pumpenleistung) | | 3,83 |
| Energie vom/zum System [Qaux] | kWh | 610.831 |
| CO2 Emission | kg | 85.647 |
| Brennstoff- und Strom-Verbrauch [Eaux] | kWh | 159.670 |
| Energieeinsparung Solarthermie | kWh | 41.009 |
| CO2 Einsparung Solarthermie | kg | 21.997 |
| Energieeinsparung Wärmepumpe | kWh | 451.161 |
| CO2 Einsparung Wärmepumpe | kg | 242.003 |
| **Energiesenke-, quelle generische Kühllast** | **Senke** | |
| Leistung | W | 156.000 |
| Eintrittstemperatur | °C | 16 |
| Austrittstemperatur | °C | 20 |
| Nenndurchsatz | l/h | 33.589 |
| **Gebäude** | **-** | |
| Beheizte/gekühlte Wohnfläche | m² | 5.000 |
| Soll-Raumtemperatur | °C | 20 |
| Heizwärmebedarf [Qdem] | kWh | 341.335 |
| Nutzbare Wärmegewinne | kWh | 1.024.007 |
| Gesamter Energieverlust | kWh | 1.365.341 |
| **Heiz-/Kühlelement** | **Fussbodenheizung** | |
| Anzahl Heiz-/Kühlmodule | - | 323 |
| Leistung pro Heiz-/Kühlelement bei Normbedingungen | W | 1.000 |
| Soll-Vorlauftemperatur | °C | 40 |
| Soll-Rücklauftemperatur | °C | 28 |
| Nettoenergie von/zu den Heiz-/Kühlmodulen | kWh | 339.841 |



Für die Richtigkeit der Angaben und Resultate besteht kein Haftungsanspruch gegenüber der Firma Vela Solaris AG, ihren Zulieferern und Vertriebspartnern.

Educational Version

## Professioneller Report

| | | |
|---|---|---|
| **Eisspeicher SolarEis-Speicher** | **Kopie Isocal Eisspeicher** | |
| Eisspeicherform | | Quader |
| Wasservolumen [VH2O] | m³ | 907,5 |
| Eisspeicherlänge | m | 25 |
| Eisspeicherbreite | m | 15 |
| Wasserhöhe ohne Eis | m | 2,42 |
| Vereisungsgrad (Maximum) | % | 46,554 |
| **Externer Wärmetauscher 1** | **100 kW/K** | |
| Übertragungskapazität | W/K | 100.000 |
| **Pumpe Hzg Pufferspeicher Ladepumpe 1** | **Eco, gross** | |
| Kreislauf-Druckverlust | bar | 24,618 |
| Durchsatz | l/h | 38.500 |
| Brennstoff- und Strom-Verbrauch [Epar] | kWh | 136 |
| **Pumpe Heizkreis** | **Eco, gross** | |
| Kreislauf-Druckverlust | bar | 11,903 |
| Durchsatz | l/h | 27.839 |
| Brennstoff- und Strom-Verbrauch [Epar] | kWh | 60,5 |
| **Pumpe WQ-Pumpe 1** | **Eco, gross** | |
| Kreislauf-Druckverlust | bar | 90,358 |
| Durchsatz | l/h | 77.000 |
| Brennstoff- und Strom-Verbrauch [Epar] | kWh | 136 |
| **Pumpe Regenerationspumpe** | **Eco, gross** | |
| Kreislauf-Druckverlust | bar | 13,813 |
| Durchsatz | l/h | 28.238 |
| Brennstoff- und Strom-Verbrauch [Epar] | kWh | 12,8 |
| **Pumpe NC-Ladepumpe** | **Eco, gross** | |
| Kreislauf-Druckverlust | bar | 15,536 |
| Durchsatz | l/h | 33.414 |
| Brennstoff- und Strom-Verbrauch [Epar] | kWh | 79,3 |
| **Pumpe NC-PWT (Glykolseite)** | **Eco, gross** | |
| Kreislauf-Druckverlust | bar | 15,746 |
| Durchsatz | l/h | 33.414 |
| Brennstoff- und Strom-Verbrauch [Epar] | kWh | 79,3 |
| **Pumpe NC-PWT (Wasserseite)** | **Eco, gross** | |
| Kreislauf-Druckverlust | bar | 22.795,459 |
| Durchsatz | l/h | 1.018.842 |
| Brennstoff- und Strom-Verbrauch [Epar] | kWh | 79,3 |



Für die Richtigkeit der Angaben und Resultate besteht kein Haftungsanspruch gegenüber der Firma Vela Solaris AG, ihren Zulieferern und Vertriebspartnern.

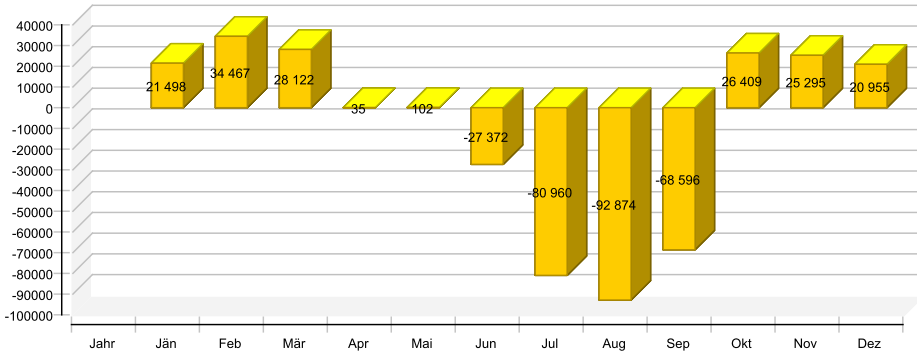
Educational Version

## Professioneller Report

| Speicher Kühlpuffer | K hlpuffer | |
|---|---|---|
| Volumen | l | 1.000 |
| Höhe | m | 2 |
| Material | | Stahl |
| Wärmedämmung | | PU hart |
| Dämmungs-Dicke | mm | 1.000 |
| Wärmeverlust [Qhl] | kWh | -112 |
| Anschlussverluste | kWh | -12 |

| Speicher 16 | | |
|---|---|---|
| Volumen | l | 3.000 |
| Höhe | m | 1,7 |
| Material | | Edelstahl |
| Wärmedämmung | | PU hart |
| Dämmungs-Dicke | mm | 80 |
| Wärmeverlust [Qhl] | kWh | 711 |
| Anschlussverluste | kWh | 196 |

**Solarthermische Energie an das System [Qsol]** **kWh**



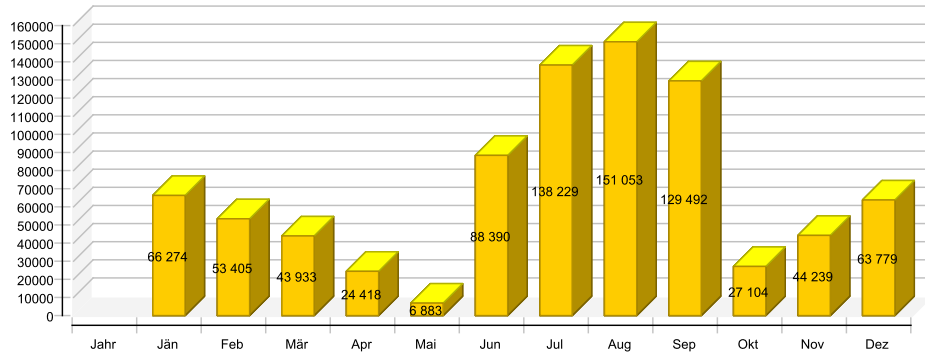

5 / 9 V10.2.3.26190 / 01.09.2018 / 12:49:08 polysun®

Für die Richtigkeit der Angaben und Resultate besteht kein Haftungsanspruch gegenüber der Firma Vela Solaris AG, ihren Zulieferern und Vertriebspartnern.

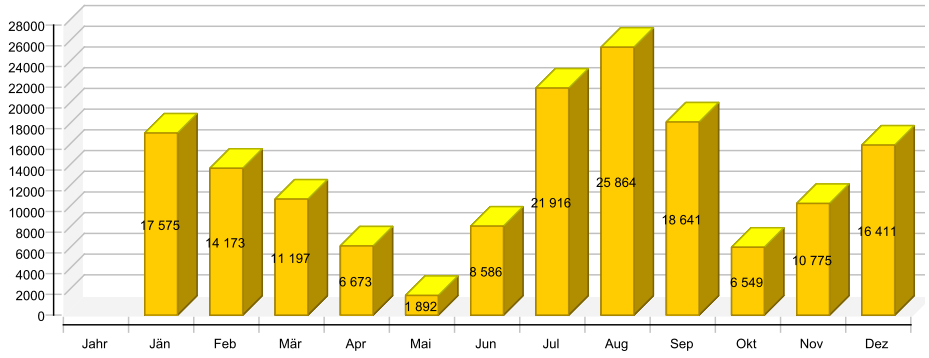
Educational Version

## Professioneller Report

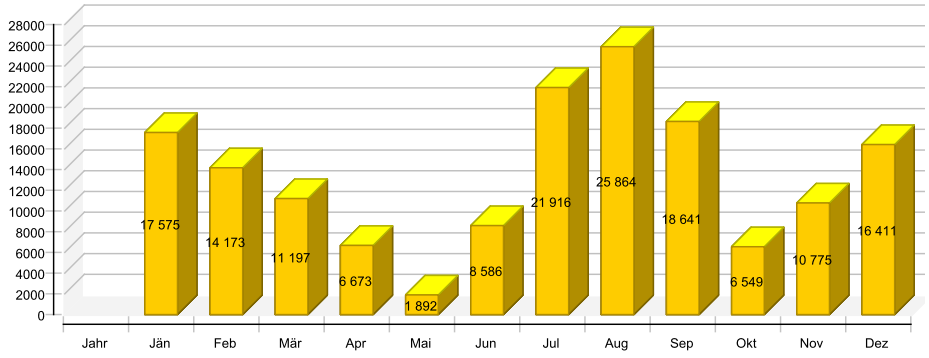
**Energie der Wärmeerzeuger an das System (ohne Solarthermie) [Qaux]** **kWh**




**Gesamter Brennstoff- und Strom-Verbrauch des Systems [Etot]** **kWh**




**Gesamter Stromverbrauch [Ecs]** **kWh**






V10.2.3.26190 / 01.09.2018 / 12:49:08

polysun®

Für die Richtigkeit der Angaben und Resultate besteht kein Haftungsanspruch gegenüber der Firma Vela Solaris AG, ihren Zulieferern und Vertriebspartnern.

Educational Version

## Professioneller Report

| | Jahr | Jän | Feb | Mär | Apr | Mai | Jun | Jul | Aug | Sep | Okt | Nov | Dez |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Solarthermische Energie an das System [Qsol]** | | | | | | | | | | | | | |
| kWh | -11291 | 21498 | 34467 | 28122 | 35 | 102 | -27372 | -80960 | -92874 | -68596 | 26409 | 25295 | 20955 |
| **Energie der Wärmeerzeuger an das System (ohne Solarthermie) [Qaux]** | | | | | | | | | | | | | |
| kWh | 837200 | 66274 | 53405 | 43933 | 24418 | 6883 | 88390 | 138229 | 151053 | 129492 | 27104 | 44239 | 63779 |
| **Brennstoff- und Strom-Verbrauch der Wärmeerzeuger [Eaux]** | | | | | | | | | | | | | |
| kWh | 159670 | 17529 | 14133 | 11169 | 6657 | 1887 | 8514 | 21821 | 25765 | 18551 | 6529 | 10746 | 16368 |
| **Gesamter Brennstoff- und Strom-Verbrauch des Systems [Etot]** | | | | | | | | | | | | | |
| kWh | 160253 | 17575 | 14173 | 11197 | 6673 | 1892 | 8586 | 21916 | 25864 | 18641 | 6549 | 10775 | 16411 |
| **Einstrahlung in Kollektorebene [Esol]** | | | | | | | | | | | | | |
| kWh | 335398 | 8746 | 14188 | 25393 | 35208 | 47850 | 48040 | 48828 | 43176 | 29098 | 19514 | 8931 | 6426 |
| **Stromverbrauch der Pumpen [Epar]** | | | | | | | | | | | | | |
| kWh | 583,1 | 45,8 | 40,7 | 28 | 16,6 | 4,6 | 71,7 | 94,6 | 99,5 | 90,5 | 20 | 28,2 | 42,8 |
| **Nutzenergie [Quse]** | | | | | | | | | | | | | |
| kWh | 340075 | 66182 | 53349 | 43836 | 24352 | 6841 | 2602 | 43 | 45 | 7965 | 27032 | 44141 | 63686 |
| **Wärmeverlust an Innenraum (inklusive Wärmeerzeuger-Verluste) [Qint]** | | | | | | | | | | | | | |
| kWh | -1917 | -354 | -321 | -265 | -153 | -85 | -73 | 10 | 8 | -2 | -127 | -219 | -338 |
| **Gesamter Stromverbrauch [Ecs]** | | | | | | | | | | | | | |
| kWh | 160253 | 17575 | 14173 | 11197 | 6673 | 1892 | 8586 | 21916 | 25864 | 18641 | 6549 | 10775 | 16411 |



V10.2.3.26190 / 01.09.2018 / 12:49:08

polysun®

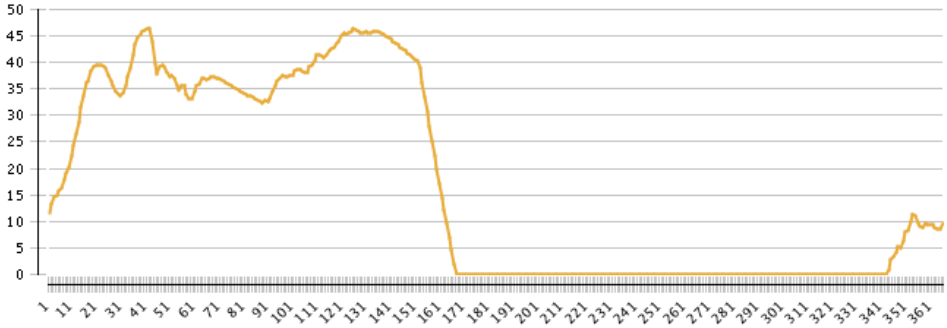
Für die Richtigkeit der Angaben und Resultate besteht kein Haftungsanspruch gegenüber der Firma Vela Solaris AG, ihren Zulieferern und Vertriebspartnern.

Educational Version

## Professioneller Report

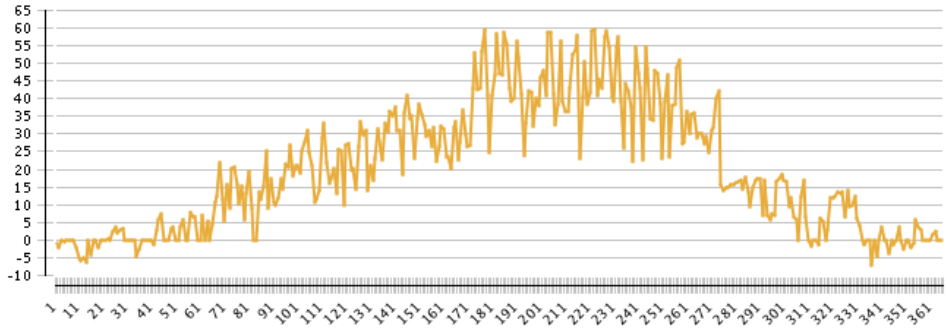
### Eisspeicher SolarEis-Speicher

**Vereisungsgrad [%] - Tagesmittelwert**




### Kollektor Regenerations- und Wärmequelle

**Tägliche Maximaltemperatur [ °C]**






V10.2.3.26190 / 01.09.2018 / 12:49:08

polysun®

Für die Richtigkeit der Angaben und Resultate besteht kein Haftungsanspruch gegenüber der Firma Vela Solaris AG, ihren Zulieferern und Vertriebspartnern.

**Professioneller Report**

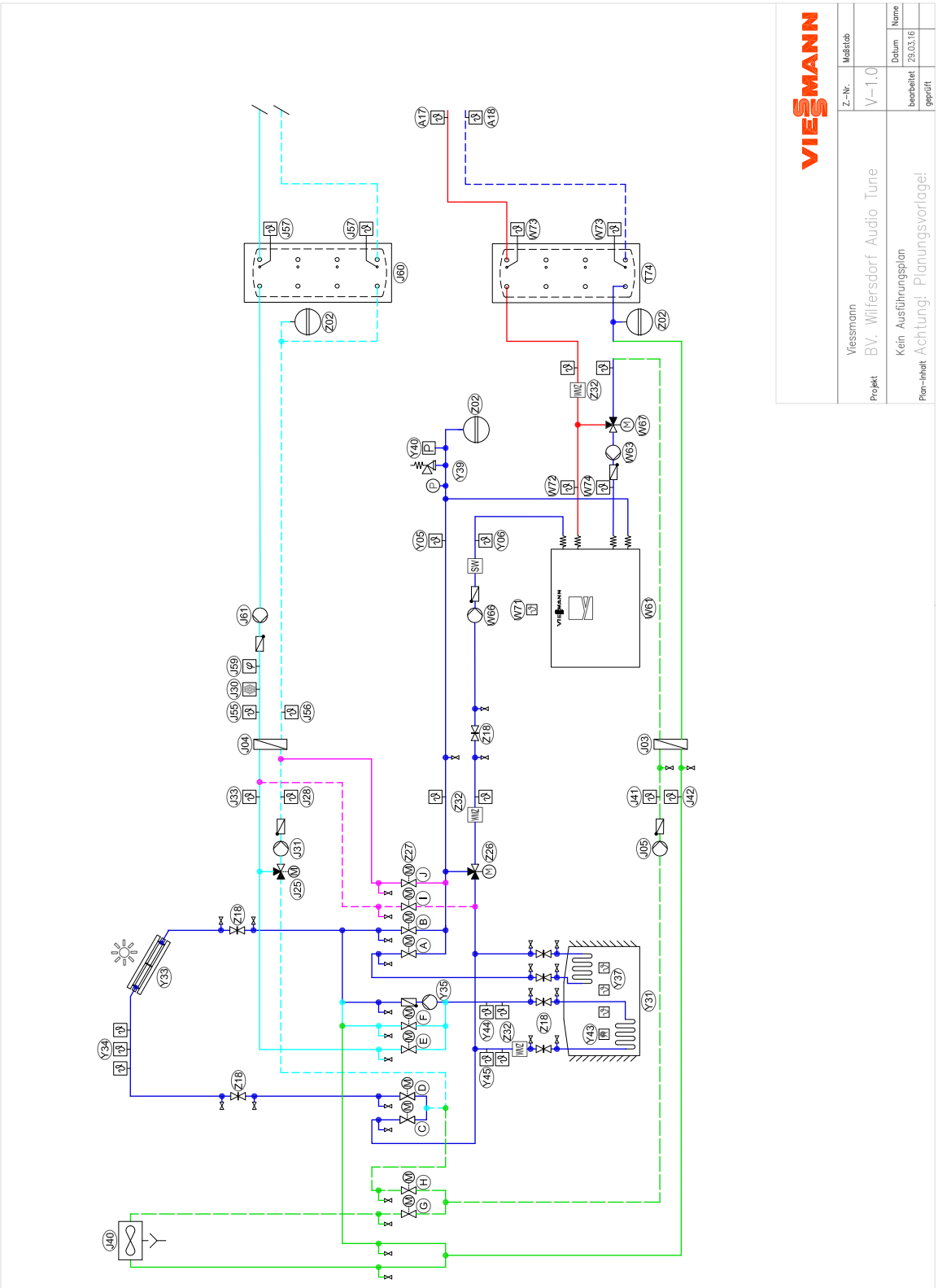
Educational Version



Für die Richtigkeit der Angaben und Resultate besteht kein Haftungsanspruch gegenüber der Firma Vela Solaris AG, ihren Zulieferern und Vertriebspartnern.

Das Energieflussdiagramm konnte von Polysun aufgrund der Komplexität der Anlage nicht erstellt werden.

## Anhang B


VIESSMANN
Viessmann
Projekt
BV. Wilfersdorf Audio Tune
Z.-Nr.
V-1.0
Maßstab
Datum
Name
bearbeitet
29.03.16
geprüft
Kein Ausführungsplan
Plan-Inhalt
Achtung! Planungsvorlage!

# Anhang C

## Berechnung in Anlehung an VDI 2067 und ØNORM M 7140

| | | | |
|---|---|---|---|
| Betrachtungszeitraum n 15 Jahre | | Nutzungsdauer N 20 Jahre | |
| Kalk.Zinsfuß | 5% | Preissteigerung | 3% |

| Kapitalgebundene Kosten | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| WEZ | Investition | Verhältnisfaktor | Summe verwertbare Komponenten | Barwert Restwert | Barwert |
| Eisspeicher | 312.296,99 € | 0,9810 | 256.667,00 € | 48.087,14 € | 264.209,85 € |
| Tiefenbohrung | 260.634,00 € | 0,9810 | 129.760,00 € | 24.310,83 € | 236.323,17 € |
| Gaskessel | 52.419,00 € | 0,9810 | 52.419,00 € | 9.820,82 € | 42.598,18 € |

| Verbrauchsgebundene Kosten | | | | |
|---|---|---|---|---|
| WEZ | Energiekosten | Steigerungsfaktor | | Barwert |
| Eisspeicher | 22.353,80 € | 12,905 | | 288.485,59 € |
| Tiefenbohrung | 22.353,80 € | 12,905 | | 288.485,59 € |
| Gaskessel | 25.142,86 € | 12,905 | | 324.479,59 € |

| Betriebsgebundene Kosten | | | | |
|---|---|---|---|---|
| WEZ | Wartungskosten | Steigerungsfaktor | | Barwert |
| Eisspeicher | 5.546,18 € | 12,905 | | 71.575,88 € |
| Tiefenbohrung | 4.434,40 € | 12,905 | | 57.227,88 € |
| Gaskessel | 1.440,47 € | 12,905 | | 18.589,83 € |

| | Barwerte | | | Gesamtkosten | Ersparnis |
|---|---|---|---|---|---|
| WEZ | Kapitalgebundene Kosten | Verbrauchsgebundene Kosten | Betriebsgebundene Kosten | | |
| Eisspeicher | 264.209,85 € | 288.485,59 € | 71.575,88 € | 624.271,32 € | - |
| Tiefenbohrung | 236.323,17 € | 288.485,59 € | 57.227,88 € | 582.036,63 € | 42.234,68 € |
| Gaskessel | 42.598,18 € | 324.479,59 € | 18.589,83 € | 385.667,61 € | 238.603,71 € |

# Anhang D

| Wärmepumpen | | | |
|---|---|---|---|
| Bezeichnung | Stück | Preis pro Stück | Preis |
| Viessmann Vitocal 300-G Pro SPS WW 302.BS250 | 1 | 54.260,00 € | 54.260,00 € |
| Druckwächter | 1 | 124,00 € | 124,00 € |
| Anschlussset 3" | 1 | 753,00 € | 753,00 € |
| Anschlussset 2 1/2" | 1 | 603,00 € | 603,00 € |
| Sicherheitsgruppe | 1 | 68,00 € | 68,00 € |
| Pumpe 51,3m3/h /7,5m | 1 | 3.420,00 € | 3.420,00 € |
| Pumpe 22,5m3/h /5,5m | 1 | 2.310,00 € | 2.310,00 € |
| Wärmetauscher BW 2180 | 2 | 4.356,00 € | 8.712,00 € |
| EA1 | 2 | 149,00 € | 298,00 € |
| IBN | 1 | 1.426,00 € | 1.426,00 € |
| Viessmann Vitocal 300-A AWO 302.A60 | 1 | 16.600,00 € | 16.600,00 € |
| Anschlussset 15m | 3 | 2.070,00 € | 6.210,00 € |
| Rohrgruppe seitlich | 3 | 414,00 € | 1.242,00 € |
| Verbindungsleitung elektrisch | 3 | 180,00 € | 540,00 € |
| Lon-Verbindungsmodule | 3 | 156,00 € | 468,00 € |
| Lon Verbindungsleitung | 3 | 25,00 € | 75,00 € |
| Lon Abschlusswiderstand | 1 | 9,00 € | 9,00 € |
| Temp. Sensor | 1 | 91,00 € | 91,00 € |
| IBN | 1 | 700,00 € | 700,00 € |

| Eispeicher inkl. Solarkollektoren | | | |
|---|---|---|---|
| Bezeichnung | Stück | Preis pro Stück | Preis |
| Entzugs-&Regenerations Wärmetauscher | 1 | 122.320,00 € | 122.320,00 € |
| Betonbehälter | 1 | - € | 0,00 € |
| Solar Luft Absorber SLK 600 | 38 | 1.766,00 € | 67.108,00 € |
| Tyfocor Glykolanteil 30% 17.400l | 1 | 21.450,00 € | 21.450,00 € |
| Visualisierung | 1 | 4.070,00 € | 4.070,00 € |
| Füllstandssensoren | 1 | 1.980,00 € | 1.980,00 € |

| Pumpen Eisspeicher/Solar | | | |
|---|---|---|---|
| UWP 5m/10m3/h | 3 | 1.390,00 € | 4.170,00 € |
| UWP 10m/30m3/h | 2 | 2.940,00 € | 5.880,00 € |

| Puffer | | | |
|---|---|---|---|
| Pufferspeicher 2000l Kühlung | 1 | 900,00 € | 900,00 € |
| Pufferspeicher 4000l Heizung | 1 | 2.300,00 € | 2.300,00 € |

| MSR | | | |
|---|---|---|---|
| Bezeichnung | Stück | Preis pro Stück | Preis |
| Schaltschrank inkl. Fühler, Programmierung und IBN | 1 | 50.900,00 € | 50.900,00 € |

**Summe WEZ** **378.987,00 €**

| Förderung ALT | | | |
|---|---|---|---|
| | AUT | Land NÖ | |
| Wärmepumpe | | | |
| 300-G | 14.000,00 € | 5.426,00 € | |
| 300-A | 3.500,00 € | 1.660,00 € | |
| Solarthermie | | | |
| | 15.734,00 € | 7.867,00 € | |
| Gesamte Förderung | | | 48.187,00 € |
| **Summe WEZ inkl. Förderung** | | | **330.800,00 €** |

| Förderung NEU | Klima-&Energiefond | |
|---|---|---|
| Eisspeicher OHNE 300-A und OHNE AC Puffer | 352.152,00 € | |
| Gaskessel Referenz | - € | |
| Anteil Kühlung | 157.411,94 € | 55,3% für Heizbetrieb |
| | | 44,7% für Kühlbetrieb |
| Förderbasis | 194.740,06 € | |
| Max. 40%+5%+5% | 97.370,03 € | |
| | Land NÖ | |
| Wärmepumpe | | |
| 300-G | 5.426,00 € | |
| 300-A | 1.660,00 € | |
| Solarthermie | | |
| | 7.867,00 € | |
| Gesamte Förderung | 112.323,03 € | |
| **Summe WEZ inkl. Förderung** | | **266.663,97 €** |

| **Tiefenbohrung** | | |
|---|---|---|
| angenommener Preis pro Meter inkl. Bohrschlammentsorgung und | 60 | € |
| Meter Tiefenbohrung | 2500 | m |
| **Kosten Tiefenbohrung** | **150000** | **€** |

| **Wärmepumpen** | | | |
|---|---|---|---|
| Bezeichnung | Stück | Preis pro Stück | Preis |
| Viessmann Vitocal 300-G Pro SPS WW 302.BS250 | 1 | 54.260,00 € | 54.260,00 € |
| Druckwächter | 1 | 124,00 € | 124,00 € |
| Anschlussset 3" | 1 | 753,00 € | 753,00 € |
| Anschlussset 2 1/2" | 1 | 603,00 € | 603,00 € |
| Sicherheitsgruppe | 1 | 68,00 € | 68,00 € |
| Pumpe 51,3m3/h /7,5m | 1 | 3.420,00 € | 3.420,00 € |
| Pumpe 22,5m3/h /5,5m | 1 | 2.310,00 € | 2.310,00 € |
| Wärmetauscher BW 2180 | 2 | 4.356,00 € | 8.712,00 € |
| EA1 | 2 | 149,00 € | 298,00 € |
| IBN | 1 | 1.426,00 € | 1.426,00 € |
| Viessmann Vitocal 300-A AWO 302.A60 | 1 | 16.600,00 € | 16.600,00 € |
| Anschlussset 15m | 3 | 2.070,00 € | 6.210,00 € |
| Rohrgruppe seitlich | 3 | 414,00 € | 1.242,00 € |
| Verbindungsleitung elektrisch | 3 | 180,00 € | 540,00 € |
| Lon-Verbindungsmodule | 3 | 156,00 € | 468,00 € |
| Lon Verbindungsleitung | 3 | 25,00 € | 75,00 € |
| Lon Abschlusswiderstand | 1 | 9,00 € | 9,00 € |
| Temp. Sensor | 1 | 91,00 € | 91,00 € |
| IBN | 1 | 700,00 € | 700,00 € |

| **Pumpen Tiefenbohrung** | | | |
|---|---|---|---|
| UWP 5m/10m3/h | 2 | 1.390,00 € | 2.780,00 € |
| UWP 10m/30m3/h | 2 | 2.940,00 € | 5.880,00 € |

| **Puffer** | | | |
|---|---|---|---|
| Pufferspeicher 2000l Kühlung | 1 | 900,00 € | 900,00 € |
| Pufferspeicher 4000l Heizung | 1 | 2.300,00 € | 2.300,00 € |

| **MSR** | | | |
|---|---|---|---|
| Bezeichnung | Stück | Preis pro Stück | Preis |
| Schaltschrank inkl. Fühler, Programmierung und IBN | 1 | 25.450,00 € | 25.451,00 € |

| | |
|---|---|
| **Summe WEZ** | **285.220,00 €** |

| **Förderung** | | | |
|---|---|---|---|
| | AUT | Land NÖ | |
| Wärmepumpe | | | |
| 300-G | 14.000,00 € | 5.426,00 € | |
| 300-A | 3.500,00 € | 1.660,00 € | |
| Summe Förderung | | | 24.586,00 € |
| **Summe WEZ inkl. Förderung** | | | **260.634,00 €** |

| Gaskessel 230kW | | | |
|---|---|---|---|
| Bezeichnung | Stück | Preis pro Stück | Preis |
| Vitocrossal 200 CM2B 115kW | 1 | 7.361,00 € | 7.361,00 € |
| Vitocrossal 200 CM2B 115kW | 1 | 5.758,00 € | 5.758,00 € |
| Sicherheitsventil | 2 | 49,00 € | 98,00 € |
| Armaturenstock | 2 | 281,00 € | 562,00 € |
| Minimaldruckwächter | 2 | 62,00 € | 124,00 € |
| Maximalbegrenzer | 2 | 241,00 € | 482,00 € |
| Kleinverteiler | 2 | 63,00 € | 126,00 € |
| Neutralisationseinrichtung | 1 | 109,00 € | 109,00 € |
| Gas Kugelhahn | 2 | 30,00 € | 60,00 € |
| Absperrsicherung therm. | 2 | 41,00 € | 82,00 € |
| Hydraulische Verbindung | 1 | 1.070,00 € | 1.070,00 € |
| Abgassammler | 1 | 1.220,00 € | 1.220,00 € |
| Basispaket Schacht | 1 | 493,00 € | 493,00 € |
| 2m Rohr | 5 | 142,00 € | 710,00 € |
| Revisionsstück | 1 | 163,00 € | 163,00 € |

| MSR | | | |
|---|---|---|---|
| 4gem. HK | | | |
| Erweiterung HK | 1 | 251,00 € | 251,00 € |
| Vitotronic HK3B | 1 | 645,00 € | 645,00 € |
| Stecker 20 | 1 | 11,00 € | 11,00 € |
| Stecker 52 | 1 | 12,00 € | 12,00 € |
| Anlegetemp.Regler | 3 | 154,00 € | 462,00 € |
| Lon Modul | 2 | 102,00 € | 204,00 € |
| Lon Verbindungsleitung | 3 | 25,00 € | 75,00 € |
| Lon Abschlusswiderstand | 1 | 9,00 € | 9,00 € |
| Schaltschrank inkl. Fühler, Programmierung und IBN | 1 | 15.000,00 € | 15.000,00 € |

| | |
|---|---|
| **Gasregelstrecke** | 10.000,00 € |

| Gaskessel 60kW | | | |
|---|---|---|---|
| Bezeichnung | Stück | Preis pro Stück | Preis |
| Vitocrossal 200 CM2B 87kW | 1 | 5.180,00 € | 5.180,00 € |
| Sicherheitsventil | 1 | 49,00 € | 49,00 € |
| Armaturenstock | 1 | 281,00 € | 281,00 € |
| Minimaldruckwächter | 1 | 62,00 € | 62,00 € |
| Maximalbegrenzer | 1 | 241,00 € | 241,00 € |
| Kleinverteiler | 1 | 63,00 € | 63,00 € |
| Neutralisationseinrichtung | 1 | 109,00 € | 109,00 € |
| Gas Kugelhahn | 1 | 30,00 € | 30,00 € |
| Absperrsicherung therm. | 1 | 41,00 € | 41,00 € |
| Anschlüssstück | 1 | 43,00 € | 43,00 € |
| 90° Bogen | 2 | 46,00 € | 92,00 € |
| Basispaket Schacht | 1 | 334,00 € | 334,00 € |
| 2m Rohr | 7 | 94,00 € | 658,00 € |
| Revisionsstück | 1 | 149,00 € | 149,00 € |

| | |
|---|---|
| **Summe WEZ** | **52.419,00 €** |

# EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Hiermit erkläre ich ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Gaaden, 1. März 2019
---
Ort, Datum

---
Unterschrift