

Technische Hochschule Nürnberg

Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik
Studiengang Maschinenbau

Projektarbeit

**Aufbau eines regenerativen Wärmenetzes und
Wärmenetzplanung für die Stadt Haßfurt und des-
sen Neubaugebiet**

Autor:

**Hünkar Sönmez
Wittelsbacherstr. 36
90584 Allersberg
huenkar99@gmail.com**

Betreuung:

Prof. Dr. Matthias Popp

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Abbildungsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	4
Formelzeichenverzeichnis	5
1 Allgemeiner Aufbau des Wärmenetzes	7
1.1 Speicherkreislauf.....	8
1.1.1 Rückspeisung	8
1.1.2 Wärmebezug	9
1.1.3 Vorgänge im Speicher während dem Aufladen	10
1.2 Hauskreislauf	11
1.2.1 Rückspeisung	11
1.2.2 Wärmebezug	12
2 Wärmenetzplanung	13
2.1 Tabellenkalkulationstool.....	13
2.2 Wärmenetz des Neubaugebietes	16
2.3 Wärmenetz für die Stadt Haßfurt	21
2.4 Wärmebezugskosten	26
Literaturverzeichnis	28

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Gesamter Aufbau des Wärmenetzes für einen Haushalt	7
Abbildung 2 Speicherkreislauf (Rückspeisung)	8
Abbildung 3 Speicherkreislauf (Wärmebezug)	9
Abbildung 4 Skizze des Speichers mit wichtigen Komponenten (Häuselein, 2023)	10
Abbildung 5 Hauskreislauf (Rückspeisung)	11
Abbildung 6 Hauskreislauf (Wärmebezug)	12
Abbildung 7 Übersicht auf die Stadt Haßfurt	16
Abbildung 8 Gebiete mit unterschiedlicher Bebauungsdichte (BayernAtlas, 2023)	21
Abbildung 9 Wärmenetzplanung für die Stadt Haßfurt (BayernAtlas, 2023)	23

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Auszug aus dem Excel Tool	15
Tabelle 2 Kenndaten des Vakuumröhrenkollektors	15
Tabelle 3 Ermittlung der Rohrdurchmesser (Nußbaum&Thalmann, 2023).....	18
Tabelle 4 Kosten Rohre Neubaugebiet (Nußbaum&Thalmann, 2023)	20
Tabelle 5 Anzahl der Häuser in jeweiligen Gebieten	22
Tabelle 6 Rohrdimensionen verschiedener Gebiete	22
Tabelle 7 Dimension Sammelrohr	23
Tabelle 8 Kosten Rohre verschiedener Dimensionen (Nußbaum&Thalmann, 2023).....	24
Tabelle 9 Diverse Faktoren zur Kostenermittlung des abgestuften Wärmenetzes.....	25
Tabelle 10 Gesamtkosten für das Wärmenetz der Stadt Haßfurt	25
Tabelle 11 Bestandteile Annuität	26
Tabelle 12 Wärmegestehungskosten	27

Formelzeichenverzeichnis

η_K	Kollektorwirkungsgrad	—
η_0	Kollektorwirkungsgrad	—
a_1	Wärmedurchgangskoeffizient	$\frac{W}{m^2K}$
u_m	Mittlere Absorber Temperatur	$^{\circ}C$
u_L	Umgebungslufttemperatur des Kollektors	$^{\circ}C$
G	Sonneneinstrahlung	$\frac{W}{m^2}$
a_2	Temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient	$\frac{W}{m^2K^2}$
$E_{glob,gen}$	Globalstrahlung auf geneigte Fläche	Wm^2
$P_{Kollektor}$	Kollektorleistung	W
$A_{Apertur}$	Apertur Fläche	m^2
\dot{Q}_W	Wärmeleistung	W
\dot{m}	Massenstrom	$\frac{kg}{s}$
ΔT	Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf	K
$c_{pWasser}$	Wärmekapazität Wasser	$\frac{J}{kgK}$
ρ_{Wasser}	Dichte Wasser	$\frac{kg}{m^3}$
\dot{V}	Volumenstrom	$\frac{m^3}{s}$
KWF	Annuitätenfaktor	—

i	Kalkulationszinssatz	%
n	Anzahl der Jahre	a

1 Allgemeiner Aufbau des Wärmenetzes

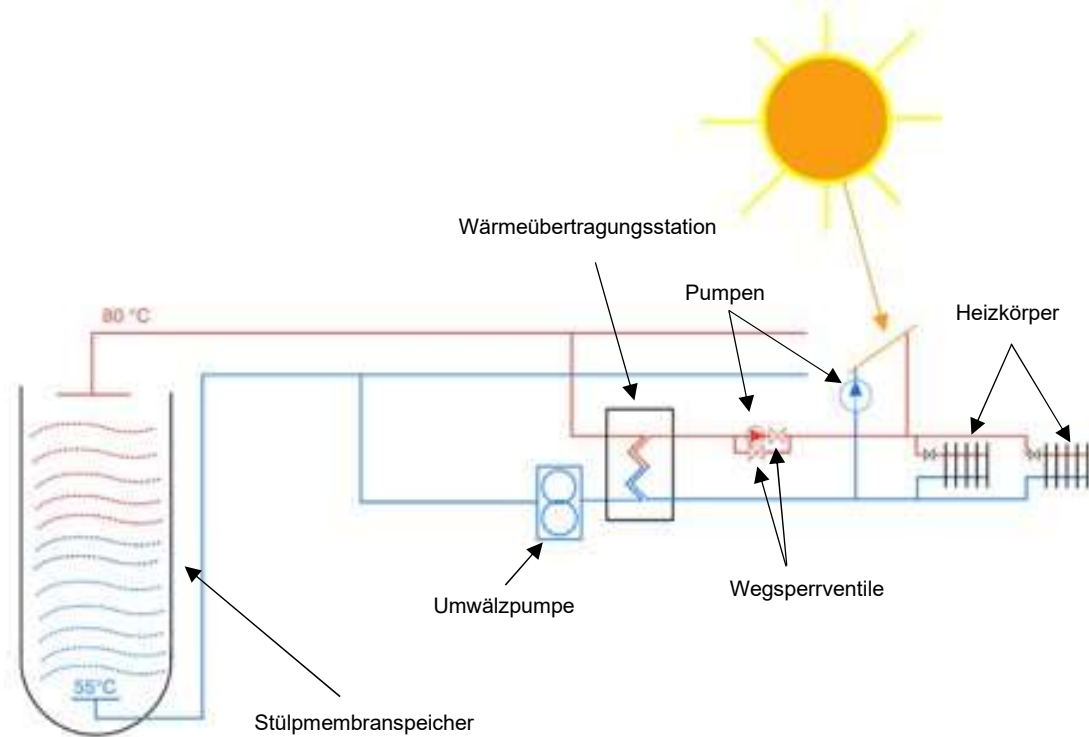


Abbildung 1 Gesamter Aufbau des Wärmenetzes für einen Haushalt

Das gesamte in der Abbildung 1 dargestellte Wärmenetz besteht aus zwei einzelnen Kreisläufen. Dabei ist der linke Kreislauf der Speicherkreislauf, welcher aus dem symbolisch dargestellten Stülpmembranspeicher, ohne Bodenmassekolben, einer warmen Seite (rot eingezeichnet), einer kalten Seite (blau eingezeichnet) und einer Umwälzpumpe besteht. Der rechte Haushaltskreislauf besteht aus einer kalten und warmen Seite, zwei Wegsperrventilen, einem Wärmekollektor (orange eingezeichnet), zwei Pumpen und zwei Heizkörpern. Jeder Kreislauf besitzt zwei Drehrichtungen, in denen sich die Fließrichtung des Wassers ändert, also in denen sich Vor- und Rücklauf zwischen der warmen und kalten Seite ändern. Der Wärmeaustausch findet in der Wärmeübertragungsstation statt, dort verbinden sich beide Kreisläufe und bilden das gesamte Wärmenetz für einen Haushalt.

Um ein besseres Verständnis über die Funktionen der einzelnen Komponenten zu erhalten, werden im Folgenden der Speicher- und Haushaltskreislauf einzeln für die Fälle Rückspeisung und Wärmebezug betrachtet.

1.1 Speicherkreislauf

Im Folgenden sollen die speicherseitigen Prozesse, während dem Auflade-/Entladevorgang, näher beschrieben werden. Dabei ist zu beachten das nur auf die für das Wärmenetz wichtigen Aspekte eingegangen wird. Die Themen zur „Auslegung einer regenerativen Stromversorgung inklusive eines Stülpmembranspeichers anhand der Stadt Haßfurt“ (Doll, 2023) und zur „Bestimmung einer Bewirtschaftungsstrategie aus der Überschussvermarktung am Strommarkt mittels eines Stülpmembranspeichers in der Stadt Haßfurt“ (Stubenrauch, 2023) wurden in den jeweiligen Ausarbeitungen behandelt.

1.1.1 Rückspeisung

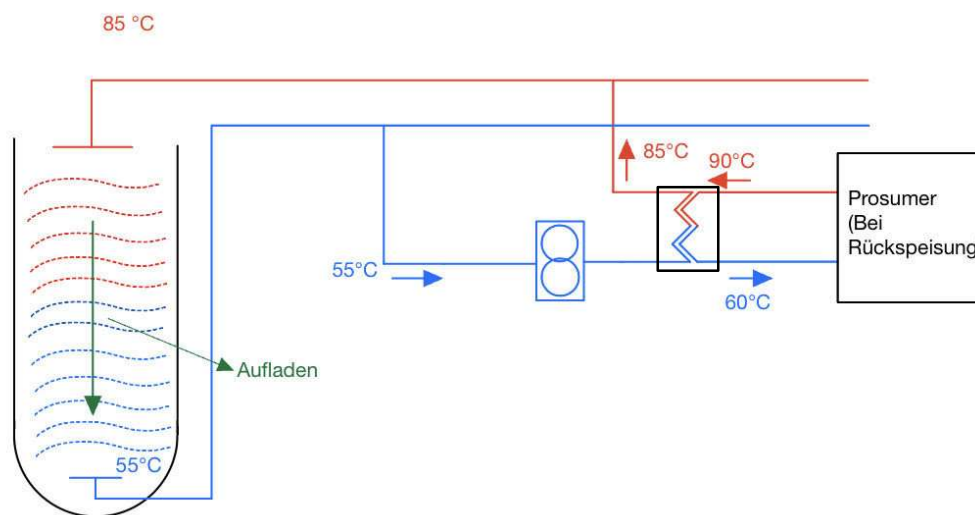


Abbildung 2 Speicherkreislauf (Rückspeisung)

Im Falle der Rückspeisung, fungiert das Warmwasserrohr als Rücklauf und das Kaltwasserrohr als Vorlauf (s. Abbildung 2). Das bedeutet, dass das kalte Wasser aus dem Speicher fließt und sich in der Wärmeübertragungsstation, durch das vom Prosumer produzierte warme Wasser, erwärmt. Der Prosumer ist dabei sowohl der Produzent als auch der Konsument des warmen Wassers (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2016). Das erwärmte Medium fließt dann zurück in den Stülpmembranspeicher. Da das warme Wasser eine niedrigere Dichte

besitzt als das kalte und somit leichter ist, verweilt dieses auf der Oberseite des Speichers. Im Falle der Rückspeisung erfolgt somit die Aufladung des Speichers mit warmem Wasser.

1.1.2 Wärmebezug

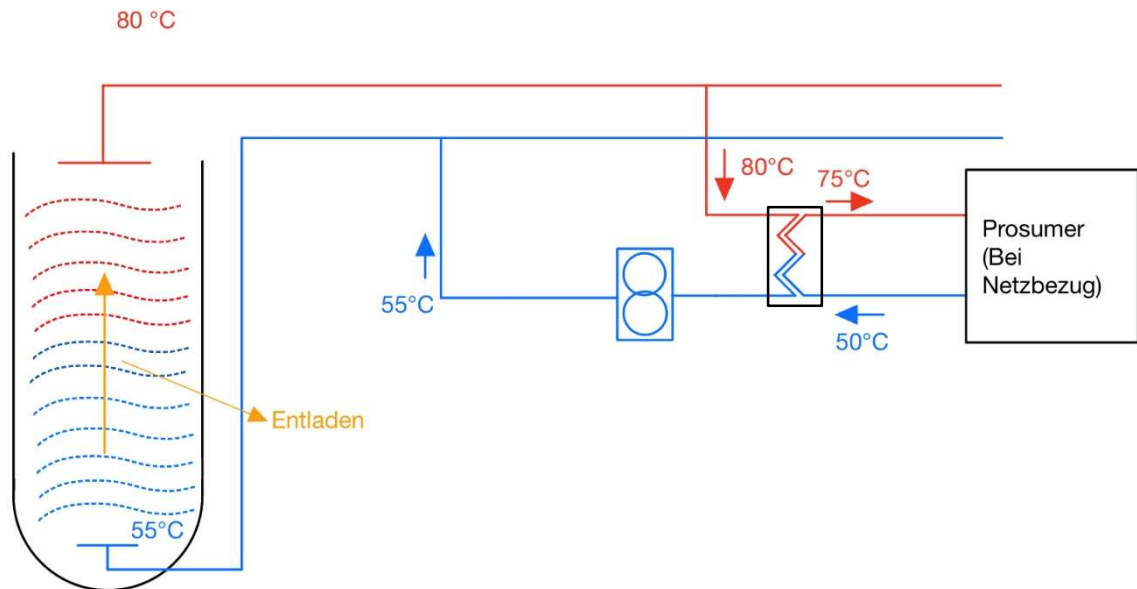


Abbildung 3 Speicherkreislauf (Wärmebezug)

Wenn der Prosumer nicht dieselbe Menge an Wärme produzieren kann, wie er konsumiert, wird die nötige Wärmemenge vom Speicher bezogen. Diese Wärme wird am Wärmetauscher, an das vom Haushalt als Vorlauf fungierende kalte Wasser abgegeben und fließt als kaltes Wasser zurück in den Speicher (s. Abbildung 3). In diesem Fall funktioniert die warme Seite als Vorlauf und die kalte Seite als Rücklauf. Für die Umkehrung der Fließrichtung sorgt die Umwälzpumpe. Mit dieser kann man zwischen Vor- und Rücklauf, je nach Bedarf, variieren. Im Falle des Wärmebezuges erfolgt somit eine Entladung des Speichers.

Nun ist es noch wichtig zu erläutern, welche Vorgänge und welche Komponenten im Speicher dafür sorgen, dass der Wasserstand und der Druck unter-/oberhalb des Kolbens ausgeglichen werden.

1.1.3 Vorgänge im Speicher während dem Aufladen

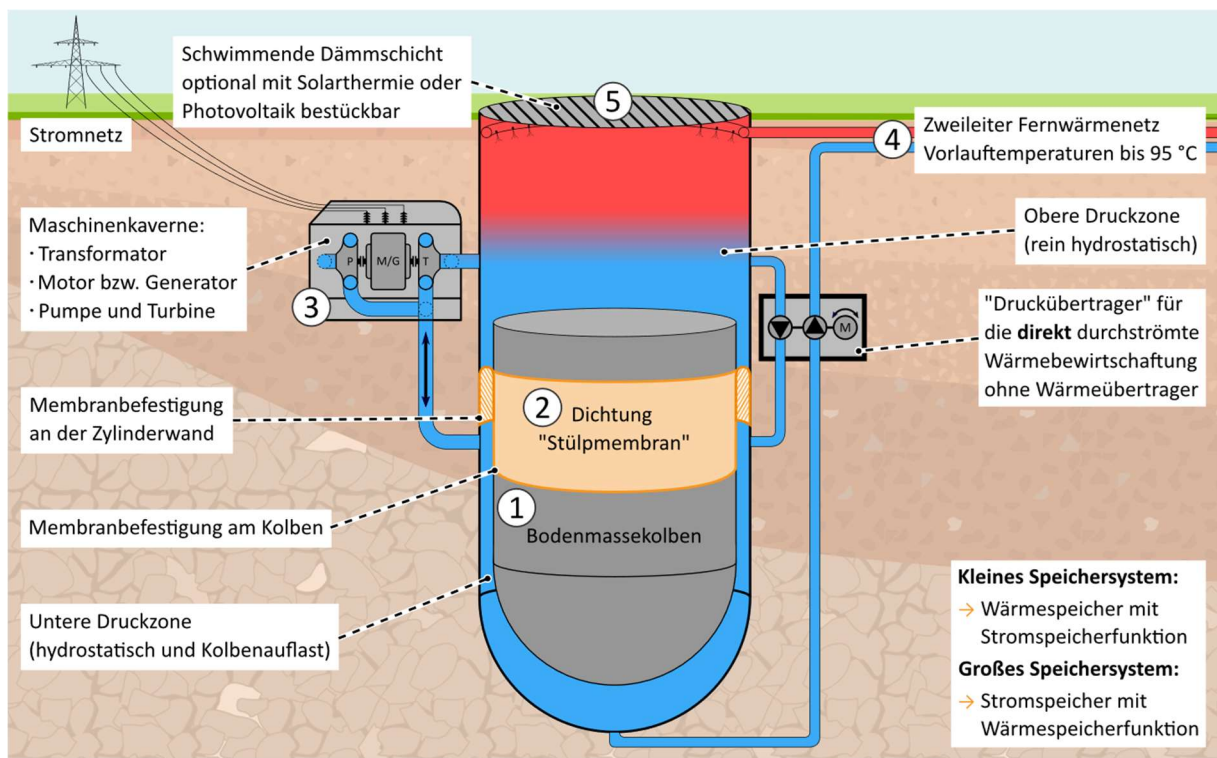


Abbildung 4 Skizze des Speichers mit wichtigen Komponenten (Häuselein, 2023)

Abbildung 4 zeigt einen Stülpmembranspeicher für die Rückspeisung, also den Ladevorgang. Dabei fließt warmes Wasser in den Speicher und verdrängt kaltes Wasser. Um einen ausgeglichenen Wasserpegel zu gewährleisten, wird das oben einströmende Volumen von unten aus dem Speicher entnommen. Es entsteht oberhalb/unterhalb des Kolbens eine Druckdifferenz, aufgrund des gleichzeitigen Einströmens bzw. Ausströmens des Wassers. Um diese Druckniveaus verlustarm auszugleichen, wird ein Druckübertrager eingesetzt. Der hohe Druck, der durch den Kolben erzeugt wird, wird durch das in diesem Leitungsstrang befindliche Aggregat des Druckübertragers wieder abgebaut. Die dabei freigesetzte Leistung wird dem speicherseitigen Druckerhöhungsaggregat zugeführt. Verbleibende Reibungs- und Strömungsverluste des Druckübertragers werden durch einen Antriebsmotor ausgeglichen. Im Wärmespeicher-Entnahmebetrieb kehren sich die Strömungsrichtungen in den Aggregaten des Druckübertragers um. Auf der speicherseitigen Seite erfolgt eine Druckabsenkung von unten nach oben, während auf der kalten Zulaufseite aus dem Wärmenetz eine Druckerhöhung von oben nach unten erfolgt. Die für die Stromspeicherung verantwortliche Höhenlage des Kolbens verändert sich bei dieser Wärmebewirtschaftung des Speichers nicht.

1.2 Hauskreislauf

Im Folgenden sollen die Hausseitigen Prozesse während dem Auflade-/Entladevorgang näher beschrieben werden.

1.2.1 Rückspeisung

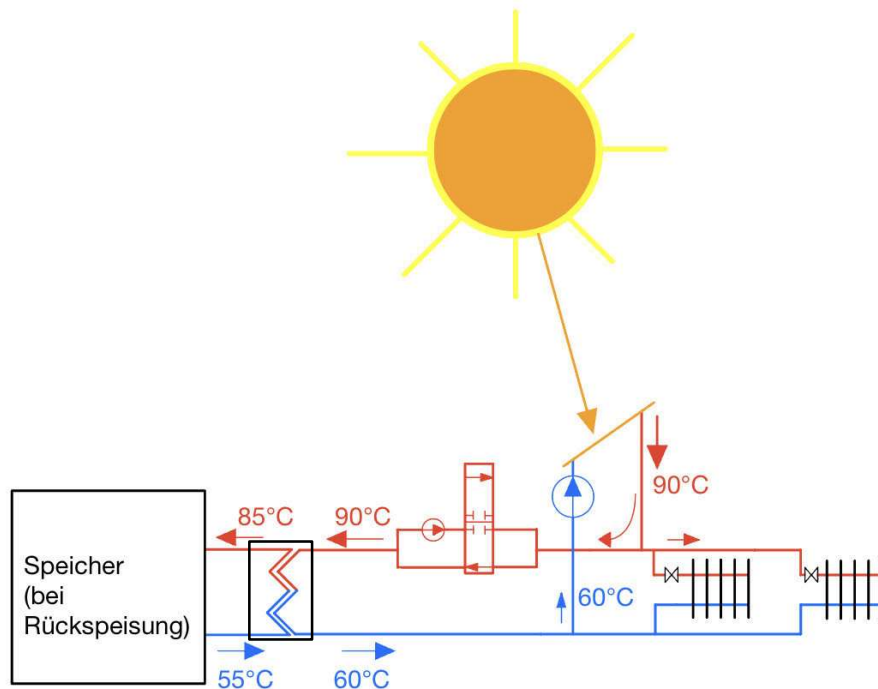


Abbildung 5 Hauskreislauf (Rückspeisung)

Um eine Eigenversorgung für jeden Haushalt zu ermöglichen, werden auf jedes Hausdach Solarthermieanlagen installiert. In diesen fließt das Wärmeträgermedium, hier Wasser, und erwärmt sich durch die Einstrahlung der Sonne (s. Abbildung 5). An tagen, an denen die in Wärmeleistung umgewandelte Strahlungsleistung besonders hoch ist und mehr umgewandelt wird als zum Heizen benötigt, wird die Restwärme zur Rückspeisung an den Speicher geleitet. Das zur Bedarfsdeckung benötigte Wasser fließt dabei in die Heizkörper und kann direkt benutzt werden. Dabei ist die Warme Seite der Vorlauf und die kalte Seite der Rücklauf. Die Richtung des Kreislaufes wird durch die blau eingezeichnete Pumpe, welche hier symbolisch zu den Kollektoren führt, eingestellt. Um ein ungehindertes Durchströmen des warmen Wassers zu ermöglichen, werden die Wegsperrventile in diejenige Stellung gebracht, in der sie die Durchströmung der rot eingezeichneten Pumpe vermeiden.

1.2.2 Wärmebezug

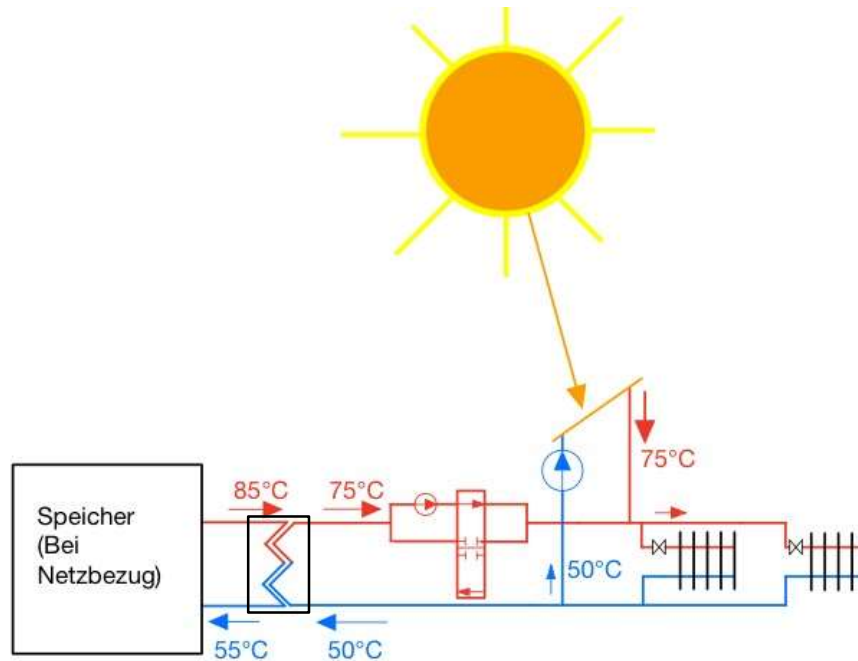


Abbildung 6 Hauskreislauf (Wärmebezug)

Sobald die an den Kollektoren ankommende Strahlungsleistung der Sonne nicht ausreicht, um den Eigenbedarf an Wärmeenergie eines Haushaltes zu decken, muss auf die gespeicherte Wärme im Speicher zugegriffen werden. Dafür wird das kalte Wasser als Vorlauf durch das aus dem Speicher kommende warme Wasser in der Wärmeübertragungsstation erwärmt (s. Abbildung 6). Um sicherzustellen, dass die warme Seite als Rücklauf fungiert, werden die Wegsperrventile in diejenige Stellung gebracht, in der die Pumpe den Volumenstrom des warmen Wassers in Richtung der Heizkörper fördern kann. Obwohl die Strahlungsleistung nicht ausreichend ist, um den Bedarf zu decken, kann immer noch ein geringer Anteil an Wärme umgewandelt werden. Aus diesem Grund wird ein Teil des Kaltwasservolumenstroms in die Wärmekollektoren gepumpt, sodass dieser dort erwärmt wird. Das erwärmte Medium wird dann zusätzlich zur Wärmebedarfsdeckung angewandt.

2 Wärmenetzplanung

Für die Wärmeversorgung eines Gebiets wird die benötigte Wärmeleistung für jeden Haushalt mithilfe von Gasverbrauchsdaten, die in einem Tabellenkalkulationstool ausgewertet werden, ermittelt. Sowohl die verfügbare Globalstrahlung als auch die Außentemperatur, konnten aus Meteoblue Daten abgelesen werden. Meteoblue ist ein Unternehmen, welches weltweit detaillierte Wetterinformationen für jeden Punkt an Land oder See bereitstellt (meteoblue, 2023).

Das Ziel besteht darin, die Wärmenetzplanung durchzuführen, um die erforderlichen Rohrleitungslängen und -durchmesser sowie die Anzahl der benötigten Kollektoren zu bestimmen, um eine ausreichende Wärmeversorgung für jedes am Netz angeschlossene Haus zu gewährleisten.

2.1 Tabellenkalkulationstool

Die Rechnungen die als Grundlage für die Wärmenetzplanung dienen, wurden mithilfe eines Tabellenkalkulationstools durchgeführt. Zunächst soll auf die Rechenschritte, die in diesem angewandt wurden, eingegangen werden.

Um den Wärmebedarf jedes Gebäudes in der Region zu decken, wird zunächst die von den Wärmekollektoren pro Haus erzeugte Wärmeleistung ermittelt. Hierbei wird der Wirkungsgrad der Kollektoren mithilfe der folgenden Formel berechnet:

$$\eta_K = \eta_0 - a_1 * \frac{u_M - u_L}{G} - a_2 * G * \left(\frac{u_M - u_L}{G}\right)^2 \quad (Gl\ 2.1.1)$$

Anschließend wird die Kollektorleistung ermittelt. Dies geschieht wie folgt:

$$P_{Kollektor} = E_{glob,gen} * \eta_K * A_{Apertur} \quad (Gl\ 2.1.2)$$

Die Kollektoren sollen ausreichend Wärme erzeugen, um den durch die Gasverbrauchsdaten ermittelten Wärmebedarf vollständig zu decken und gleichzeitig sicherzustellen, dass der Speicher auch an Tagen mit geringerer Sonneneinstrahlung genügend Wärme zur Verfügung hat. Um die Verluste durch den Transport von Warmwasser über Rohrleitungen (~15%) und die Wärmeverluste aufgrund der Wärmeübertragung an die Umgebung im Speicher (~35%) auszugleichen, wird ein Umwandlungsvermögen, welches 150% so hoch ist wie die Gasleistung, benötigt.

Die Residualleistung gibt die verbleibende oder überschüssige Leistung nach Deckung des Wärmebedarfs an. Sie wird ermittelt, indem das Umwandlungsvermögen vom Deckungsbedarf subtrahiert wird.

Durch die Multiplikation des Maximalwerts der Residualleistung, der berücksichtigt wird, um unvorhergesehene Spitzenlasten oder einen erhöhten Wärmebedarf abzudecken, mit dem Mittelwert des gesamten Wärmebedarfs, der für eine langfristige Auslegung verwendet wird, wird nun die erforderliche Wärme pro Gebäude ermittelt. Dabei wird noch der Verlust, der durch den Transport und die Speicherung entsteht, berücksichtigt.

$$\dot{Q}_W = \text{Wärmeverbrauch}_{\text{mittel}} * \text{Residualleistung}_{\text{max}} * \text{Verlust}_{\text{Rohr|Speicher}} \quad (\text{Gl. 2.1.3})$$

Da das Wasser über Rohranschlüsse mit verschiedenen Durchmessern und Längen in die Häuser bzw. in den Speicher fließen soll, werden diverse Rohrdurchmesser und Volumenströme wie folgt ermittelt:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_W}{\Delta T * c_{p_{\text{Wasser}}}} \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] \quad (\text{Gl. 2.1.4})$$

Aufgrund folgender Beziehung:

$$\dot{m} = \dot{V} * \rho_{\text{Wasser}}$$

Kann die Formel auch wie folgt angegeben werden:

$$\dot{V} = \frac{\dot{Q}_W}{\Delta T * c_{p_{\text{Wasser}}} * \rho_{\text{Wasser}}} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] \quad (\text{Gl. 2.1.5})$$

Der ermittelte Volumenstrom wird dann auf die Anzahl der zu versorgenden Häuser aufgeteilt. Dadurch wird berechnet wie viele Gebäude mit welchem Durchmesser des Rohres versorgt werden können, bzw. welche Abstufungen an Rohrdurchmessern man braucht, um die Wärmeversorgung eines Gebietes komplett zu decken.

In Tabelle 1 ist ein Auszug aus dem verwendeten Excel Tool zu sehen. Darin sind im Stundentakt aufgezeichnete Wetterdaten der letzten sieben Jahre, die auf den Modulen auftreffende Globalstrahlung, die Strahlungsstärke und die Temperatur 2 Meter über dem Grund, also die Lufttemperatur, zu sehen. Anhand dieser Informationen erfolgt zusammen mit den Kenndaten des ausgewählten Kollektors die Analyse für den gesamten Wärmeertrag. Der Ausgewählte

Kollektor ist dabei der Solar Pro-30R Vakuumröhrenkollektor der Marke Eurotherm (solardirekt24, 2023). Die Vorgehensweise zur Bestimmung des geeigneten Kollektors wird in der Arbeit zur „Herstellung des Stülpmembranspeichers und Auswertung der Solarkollektoren der Stadt Haßfurt“ (Steiner, 2023) beschrieben. In Tabelle 2 sind die Kenndaten des ausgewählten Kollektors zu sehen.

Tabelle 1 Auszug aus dem Excel Tool

Zeit Mitte	$E_{\text{glob,gen}}$ [W/m ²]	Temperatur in °C 2 m über Grund
Do 01.10.15 00:30	0,0	4,52
01.10.15 01:30	0,0	4,09
01.10.15 02:30	0,0	3,67
01.10.15 03:30	0,0	3,24
01.10.15 04:30	0,0	2,71
01.10.15 05:30	11,6	4,17
01.10.15 06:30	80,1	7,77
01.10.15 07:30	189,7	10,92
01.10.15 08:30	319,2	13,31
01.10.15 09:30	440,7	14,92
01.10.15 10:30	530,7	16,04

Tabelle 2 Kenndaten des Vakuumröhrenkollektors

Eta0	0,726	
Alfa1 [W/m ² K]	1,668	
Alfa2 [W/m ² K ²]	0,017	
Apertur Fläche [m ²]	2,81	
Kollektoraußentemperatur [°C]	90	75
Kollektorinnentemperatur [°C]	60	50
Mittlere Absorber Temperatur [°C]	75	62,5

2.2 Wärmenetz des Neubaugebietes

Für alle Messungen der Rohrleitungslängen und Bebauungsflächen wurde der Bayern Atlas verwendet. Dieser ist eine Internetanwendung zum Betrachten amtlicher Karten und Luftbilder der Bayerischen Vermessungsverwaltung (Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung, 2023). Die in Abbildung 7 dargestellte Übersicht auf die Stadt Haßfurt beinhaltet eine Rot eingezeichnete Fläche. Diese soll die Fläche für das Neubaugebiet darstellen.



Abbildung 7 Übersicht auf die Stadt Haßfurt

Abbildung 8 zeigt die für die Erstellung des Netzplans herangezogene Vergleichsfläche. Diese ist deswegen nötig, da noch keine Bebauungspläne für das Neubaugebiet zur Verfügung stehen. Die Vergleichsfläche ist das alte Neubaugebiet und wurde mit der Annahme der gleichen Bebauungsdichte wie das neue Baugebiet ausgewählt.



Abbildung 8 Vergleichsfläche (BayernAtlas, 2023)

Mithilfe der Gleichung 2.1.3 wurde die umzuwandelnde Wärmeleistung für das Neubaugebiet auf den Wert von $\dot{Q}_W = 3600 \text{ kW}$ bestimmt. Um nun die Rohrrinnendurchmesser zu berechnen, wird die gesamte Wärmeleistung für das Gebiet auf die Wärmeleistung pro Haus heruntergerechnet. Die Anzahl der Häuser in der Vergleichsfläche beträgt 144. Somit ergibt sich:

$$\text{Leistung pro Haus} = \frac{\dot{Q}_W}{\text{Anzahl an Häuser}} = \frac{3600 \text{ kW}}{144} = 25 \text{ kW}$$

Nun wird durch die Ermittlung der Volumenströme, die Wärmeleistung, die ein Rohr transportieren kann, durch Umformung der Gleichung 1.2 ermittelt und somit auch wie viele Häuser ein Rohr versorgen kann.

Es ergeben sich folgende Rohrdurchmesser:

Tabelle 3 Ermittlung der Rohrdurchmesser (Nußbaum&Thalmann, 2023)

Nenndurchmesser	Innendurchmesser [mm]	Volumenstrom [m ³ /h]	Wärmeleistung [kW]	Maximale Anzahl Häuser
20	21,6	0,79	27,7	1
32	37,2	4,3	150,6	6
50	54,5	11,8	411,5	16
80	82,5	34,6	1212,4	48
150	160,3	181,6	6357	254

Um nun die Länge der Rohre, welche wichtig für die Kostenermittlung sind, zu ermitteln, wurden zunächst die Rohrpläne gezeichnet und dann mithilfe des Bayern Atlas ausgemessen. Zu beachten dabei ist, dass die Rohre mit dem kleinsten Durchmesser nicht eingezeichnet sind, da diese in jedes Haus führen und somit die Hausanschlüsse sind. Die Einfärbungen in Tabelle 3 entsprechen dabei den Farben der in Abbildung 9 gezeichneten Rohren.

Tabelle 4 Kosten Rohre Neubaugebiet (Nußbaum&Thalmann, 2023)

Nenndurchmesser	Kosten Rohr [€/m]	Kosten Verlegung [€/m]	Länge Rohre [m]	Kosten gesamt [€]
20	226	165	400	156.400
32	257	165	730	308.060
50	293	202	645	319.275
80	376	240	810	498.960
150	791	310	680	748.680
Summe [€]			2.031.375 €	

2.3 Wärmenetz für die Stadt Haßfurt

Um die Anzahl der Häuser in den verschiedenen Gebieten mit unterschiedlichen Bebauungsdichten in Haßfurt zu ermitteln, wurden für jedes Gebiet separate Vergleichsflächen verwendet. Innerhalb dieser kleineren Flächen, innerhalb des jeweiligen Gebietes, wurden die Anzahl der Häuser gezählt und anschließend auf die Gesamtfläche des Gebiets hochgerechnet. In Abbildung 11 ist die Unterteilung der verschiedenen Gebiete und deren Bezeichnung aufgezeigt. Außerdem ist hier durch die beiden Konzentrischen Ringe, links oben in der Abbildung, ein vorstellbarer Standort für den Stülpmembranspeicher eingezeichnet.

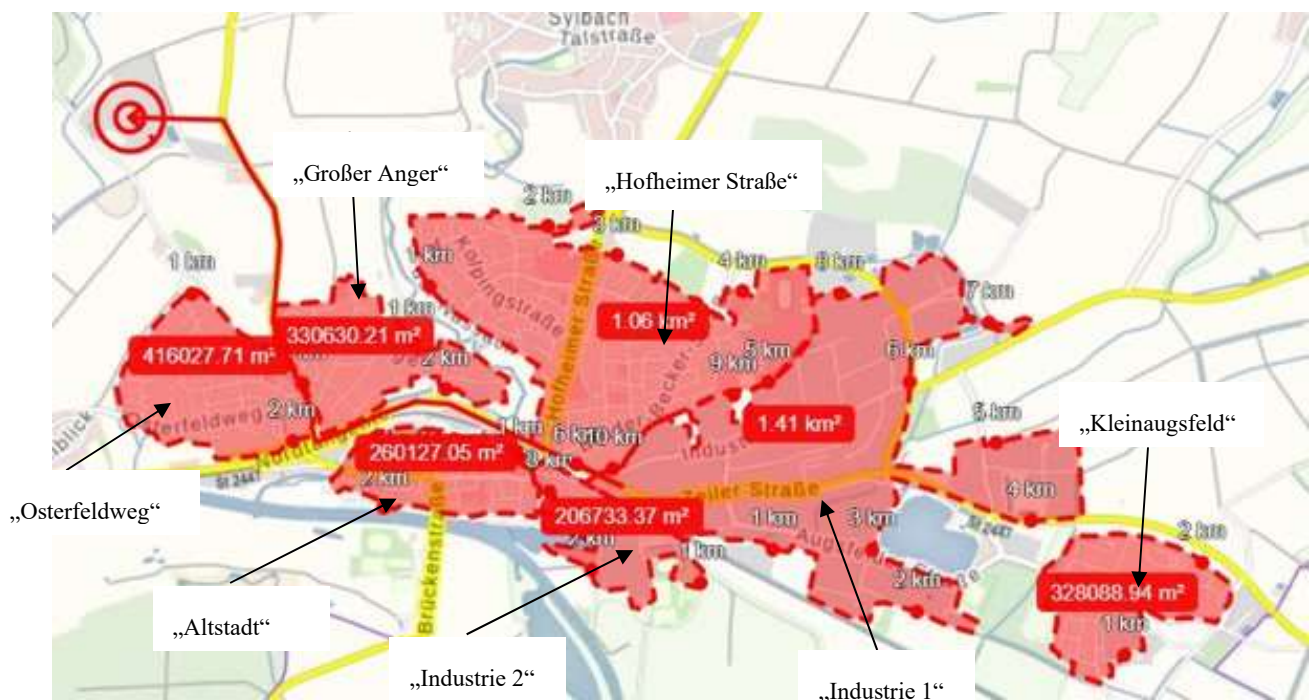


Abbildung 8 Gebiete mit unterschiedlicher Bebauungsdichte (BayernAtlas, 2023)

Die Ergebnisse der Ermittlungen der Anzahl der Gebäude, für das jeweilige Gebiet sind, zusammen mit der Größe der jeweiligen Vergleichsfläche und Anzahl der Gebäude in dieser, in Tabelle 5 aufgezeigt.

Tabelle 5 Anzahl der Häuser in jeweiligen Gebieten

Gebiet	Vergleichsfläche [m ²]	Gebäude in Vergleichs- fläche	Gesamtfläche [m ²]	Gebäude Gesamtfläche
Industrie 1	20.201	7	931.393	322
Industrie 2	20.201	7	428.012	148
Altstadt	12.697	22	260.127	440
Hofheimerstr.	151.093	144	1.060.000	996
Großer Anger	151.093	144	330.630	310
Kleinaugsfeld	151.093	144	328.089	308
Osterfeldweg	151.093	144	416.027	390

Mit der unter Kapitel 2.1 angewandten Methodik, wurde nachfolgend die Wärmeleistung pro Haus ermittelt und daraus dann die benötigten Rohrdurchmesser der Sammelrohre. Diese Sammelrohre haben die Aufgabe einen Volumenstrom zu transportieren, der hoch genug ist um das gesamte Gebiet, in welches dieses geleitet wird, versorgen zu können. In Tabelle 6 sind die Ergebnisse für die Dimensionen der Sammelrohre aufgelistet.

Tabelle 6 Rohrdimensionen verschiedener Gebiete

Leitung	Nenndurchmesser Sammelrohr [mm]	Innendurchmesser [mm]	Volumenstrom [m ³ /h]
Industrie 1	250	263	460
Industrie 2	200	210,1	211,7
Altstadt	250	263	628,7
Hofheimerstr.	350	344,4	1422,7
Großer Anger	250	263	442,9
Kleinaugsfeld	250	263	440
Osterfeldweg	250	263	557,2

Anschließend wurden die Rohrleitungslängen der Sammelrohre wie unter 2.1 beschrieben ermittelt. Das Ergebnis ist in Abbildung 12 zu sehen. Die grün eingezeichnete Leitung ist das vom Speicher ausgehende Sammelrohr, welches für die Versorgung der gesamten Stadt verantwortlich ist.



Abbildung 9 Wärmenetzplanung für die Stadt Haßfurt (BayernAtlas, 2023)

Die nachfolgende Tabelle enthält die Dimensionen für das o.g. Sammelrohr.

Tabelle 7 Dimension Sammelrohr

Leitung	Nenndurchmesser Sammelrohr [mm]	Innendurchmesser [mm]	Volumenstrom [m ³ /h]
Sammelrohr	400	393,8	3539,4

Durch Ausmessen der eingezeichneten Leitungen, lassen sich nun die Kosten für die Rohre und deren Verlegung, mithilfe einer Kostentabelle, bestimmen (Nußbaum&Thalmann, 2023). Die Kostentabelle wird in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8 Kosten Rohre verschiedener Dimensionen (Nußbaum&Thalmann, 2023)

Leitung	Kosten Rohr [€/m]	Kosten Verlegung [€/m]	Länge Rohre [m]	Kosten gesamt [€]
Industrie 1	1.363	393	1.370	2.405.720
Industrie 2	960	351	819	1.073.709
Altstadt	1.363	393	1.030	1.808.680
Hofheimerstr.	2.044,5	450	894	2.230.083
Großer Anger	1.363	393	856	1.503.136
Kleinaugsfeld	1.363	393	1.570	2.756.920
Osterfeldweg	1.363	393	546	958.776
Sammelrohr	2.200	490	4.030	10.840.700
Summe [€]			23.577.724	

Nun werden die Kosten für die abgestuften Leitungen, wie unter 2.1 beschrieben, ermittelt werden. Unter der Annahme das die Länge, und somit auch die Kosten, für die Hausanschlüsse von der Anzahl an Gebäuden eines Gebietes und die restlichen Stufen von der Fläche des Gebietes abhängig sind, wurden zunächst verschiedene Faktoren errechnet, die dann einzeln für jede Stufe auf die Kosten multipliziert wurden. In Tabelle 9 sind die errechneten Faktoren über die Flächen und die Faktoren über die Anzahl an Gebäuden aufgelistet.

Tabelle 9 Diverse Faktoren zur Kostenermittlung des abgestuften Wärmenetzes

Versorgungsgebiet	Gebietsfläche [m ²]	Anzahl Gebäude [St]	Faktor (über Fläche)	Faktor (über Anzahl Häuser)
Fläche Neubaugebiet	151000	142	1,0	1,0
Osterfeldweg	416.027,00	390	2,8	2,7
Großer Anger	330.630,00	310	2,2	2,2
Hofheimer Straße	1.060.000,00	996	7,0	7,0
Kleinaugsfeld	328.089,00	308	2,2	2,2
Industrie 1	931737,13	322	6,2	2,3
Industrie 2	428012	148	2,8	1,0
Altstadt	260127,05	440	1,7	3,1

Diese Faktoren wurden dann mit jeder Stufe aus Tabelle 4 verrechnet. Die errechneten Gesamtkosten, für das Wärmenetz der gesamten Stadt Haßfurt, sind in Tabelle 10 aufgetragen.

Tabelle 10 Gesamtkosten für das Wärmenetz der Stadt Haßfurt

Leitung	Kosten (über Faktoren) [€]	Kosten gesamt [€]
Industrie 1	11.924.082	14.329.802
Industrie 2	5.477.656	6.551.365
Altstadt	3.714.631	5.523.311
Hofheimerstr.	14.259.079	16.489.162
Großer Anger	4.446.887	5.950.023
Kleinaugsfeld	4.413.132	7.170.052
Osterfeldweg	5.595.379	6.554.155
Sammelrohr	-	10.840.700
Summe [€]		73.408.570

2.4 Wärmebezugskosten

Aufgrund des Ausgleiches der Speicherkosten über die Stromvermarktung, werden diese im Zuge der Ermittlung der Wärmegestehungskosten nicht berücksichtigt.

Da nun sowohl für das Neubaugebiet als auch für die Stadt Haßfurt die Wärmenetzkosten bekannt sind, können die Wärmebezugskosten ermittelt werden. Die Formel dafür lautet:

$$\text{Wärmegestehungskosten} = \frac{\text{jährliche Systemkosten}}{\text{Jahreswärmeverbrauch}} \quad (\text{Gl. 2.4.1})$$

Mit:

$$\text{jährliche Systemkosten} = \text{jährliche Betriebskosten} + \text{Annuität} \quad (2.4.2)$$

Die Annuität beschreibt dabei die Abzahlung der Gesamtsystem Investitionskosten, welche wiederum aus den Wärmenetzkosten, den Gesamtkosten der an jedes Haus angeschlossenen Wärmeübertragungsstationen und den gesamten Kollektorkosten. Dabei wurden die Kosten für die Wärmeübergabestationen auf 3500 Euro pro Gebäude angesetzt (thermondo, 2021). In Tabelle 11 sind die Kosten, aus denen die Annuität berechnet wird, abgebildet.

Tabelle 11 Bestandteile Annuität

	Haßfurt	Neubaugebiet
Kollektorkosten [€]	153.865.600	3.040.800
Wärmenetzkosten [€]	62.567.870	2.031.375
Kosten der Wärmeübergabestation [€]	8.742.000	426.000
Gesamtsystem Investitionskosten [€]	225.175.470	5.498.175

Im nächsten Schritt wird die Annuität berechnet. Dazu wird zunächst der Annuitätsfaktor wie folgt ermittelt:

$$KWF = \frac{(1+i)^n * i}{(1+i)^n - 1} \quad (\text{Gl. 2.4.3})$$

Dabei wurde für $n = 30$ und für $i = 4$ angesetzt.

Die jährlichen Betriebskosten setzen sich aus einem prozentualen Anteil der Gesamtinvestitionskosten, von zwei Prozent, zusammen und beschreiben die Kosten für Wartung und Instandhaltung des Systems.

In Tabelle 12 sind die Wärmegestehungskosten für das Neubaugebiet und für die Stadt Haßfurt aufgeführt.

Tabelle 12 Wärmegestehungskosten

	Haßfurt	Neubaugebiet
Jährliche Betriebskosten [€/a]	4.503.509	109.964
Annuität [€/a]	13.021.920	317.960
Jahreswärmeverbrauch [kWh]	85.810.262	1.725.000
Wärmegestehungskosten [€/kWh]	0,20	0,25

Literaturverzeichnis

- BayernAtlas. (Aufgerufen am 07. März 2023). *geoportal.bayern.de*. Von <https://geoportal.bayern.de/bayernatlas/?lang=de&topic=ba&bgLayer=atkis&catalogNodes=11&E=608008.33&N=5544598.46&zoom=8> abgerufen
- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. (22. März 2016). *Was ist ein "Prosumer"?* Von www.bmwi-energiewende.de: <https://www.bmwi-energiewende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2016/06/Meldung/direkt-erklaert.html#:~:text=Das%20Wort%20vereint%20die%20Worte,Grenzen%20zwischen%20Produzent%20und%20Verbraucher.> abgerufen
- Doll, J. (19. 06 2023). Auslegung einer regenerativen Stromversorgung inklusive eines Stülpmembranspeichers anhand der Stadt Haßfurt. Nürnberg: Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm. Von <urn:nbn:de:bvb:92-opus4-9811> abgerufen
- Häuselein, D. (Abgerufen am 04. März 2023). *www.th-nuernberg.de*. Von www.th-nuernberg.de: <https://www.th-nuernberg.de/einrichtungen-gesamt/wissenschaftliche-und-forschungskooperationen/nuremberg-campus-of-technology/automatisierungstechnik/projekte/projektentwurf-geomem/aufbau-und-funktion/> abgerufen
- Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung. (Aufgerufen am 07. März 2023). *ldbv.bayern.de*. Von <https://www.ldbv.bayern.de/produkte/dienste/bayernatlas.html> abgerufen
- meteoblue. (Abgerufen am 07. März 2023). *meteoblue weather close to you*. Von <https://content.meteoblue.com/de/ueber-uns#:~:text=meteoblue%20liefert%20weltweit%20ortsgenau%20Wetterinformationen,einem%20speziellen%20Interesse%20an%20Wetter.> abgerufen
- Nußbaum&Thalmann. (Abgerufen am 07. März 2023). Von [Ingenieur.de](http://www.ingenieur.de): <https://www.ingenieur.de/fachmedien/bwk/energieversorgung/dimensionierung-von-fernwaermenetzen/> abgerufen

solardirekt24. (Abgerufen am 07. März 2023). *solardirekt24.de*. Von <https://www.solardirekt24.de/vakuumroehrenkollektor-sonnenkollektor-eurotherm-solar-pro-30r-4-58-m2-3006> abgerufen

Steiner, T. (19. 06 2023). Herstellung des Stülpmembranspeichers und Auswertung der Solarkollektoren der Stadt Haßfurt. Nürnberg: Technische Hochschule Georg Simon Ohm. Von urn:nbn:de:bvb:92-opus4-9803 abgerufen

Stubenrauch, A. (19. 06 2023). Bestimmung einer Bewirtschaftungsstrategie aus der Überschussvermarktung am Strommarkt mittels eines Stülpmembranspeichers in der Stadt Haßfurt. Nürnberg: Technische Hochschule Georg Simon Ohm. Von urn:nbn:de:bvb:92-opus4-9795 abgerufen

thermondo. (26. Oktober 2021). *thermondo.de*. Abgerufen am 10. Juni 2023 von <https://www.thermondo.de/info/rat/vergleich/fernwaermeuebergabestation/#:~:text=In%20der%20Regel%20werden%20f%C3%BCr,zwischen%203.500%20und%207.000%20Euro.>