

Warmwasserspeicherung von Solarthermie zur ganzjährigen Fernwärmeversorgung

Warmwasserspeicher

Dimensionierung eines Warmwasserspeichers zur Speicherung von thermischer Energie aus Solaranlagen, für das Fernwärmenetz der N-ERGIE Nürnberg, mit dem Ziel der ganzjährigen regenerativen Fernwärmeversorgung.

Projektarbeit

im Studiengang
Maschinenbau

vorgelegt von

Rosel Uli

Matr.-Nr.: 2648898

E-Mail : roselul59928@th-nuernberg.de

Tel.: 0151/21070590

an der Technischen Hochschule Nürnberg

Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Popp M.

Korrektur Leser: Leiblein S.

Datum: 21.12.17

Unterschrift

Kurzfassung

Gegenstand, der hier vorgestellten Arbeit, ist die Untersuchung und Dimensionierung eines Warmwasserspeichers zur Speicherung der aus solarthermischen Anlagen erzeugten thermischen Energie zur ganzjährigen Wärmeversorgung Nürnbergs. Hierzu wurden bestehende Wärmeströme im Fernwärmenetz der N-ERGIE erfasst und mit der solarthermischen Leistung verglichen. Die Zeitreihe der Solarthermie wurde von den Merra2 Daten der NASA bezogen und mit der Fläche einer fiktiven Solaranlage multipliziert. Diese Fläche wird benötigt um den Wärmebedarf Nürnbergs zu decken. Die Differenz dieser einfallenden Solarstrahlung und der reale Verbrauch wurden gegenübergestellt und die so entstandenen Differenzen aufsummiert, um die Größe des benötigten Warmwasserspeichers zu berechnen. Im Ergebnis ist festzustellen, dass Nürnberg bei einer Deckung von 100% der Fernwärme über Solarenergie ein Speicherbedarf von ca. 2300 GWh benötigen würde. Dieser lässt sich durch Überproduktion an thermischer Energie, was einer flächenmäßigen Vergrößerung der Solaranlage entspricht, verkleinern. Der Speicherbedarf sinkt bei einer 5-fachen Überproduktion durch solarthermische Anlagen auf ca. 177 GWh (vgl. Abb. 04).

Schlagwörter: Warmwasserspeicher, Nürnberg, Dimensionierung, regenerative Wärmeversorgung

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	II
Inhaltsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	IV
1 Problemstellung.....	1
2 Stand der Forschung.....	1
3 Zielsetzung	2
4 Vorgehensweise	3
4.1 Datenbeschaffung	3
4.1.1 Solarthermie Daten.....	3
4.1.2 Fernwärme Daten	3
4.2 Ermittlung von stündlichen Differenzen	4
4.3 Ermittlung der benötigten Speicherkapazität	4
4.4 Ermittlung der benötigten Speicherkapazität bei einer Überkapazität von Solarthermie	7
4.5 Ermittlung von Speicherverlusten in Abhängigkeit der Größe.....	9
4.6 Nutzen der stündlichen oder täglichen Maxima bei einer Überkapazität von Solarthermie	10
5 Diskussion	12
6 Zusammenfassung.....	12
7 Literaturverzeichnis	13
8 Ehrenwörtliche Erklärung	14

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 01:
Funktionsprinzip eines Warmwasserspeichers
- Abbildung 02:
Tägliche Summe für Solarthermie (blau) und Fernwärme (rot)
- Abbildung 03:
Summe der stündlichen Arbeit des Warmwasserspeichers
- Abbildung 04:
Summe der stündlichen Arbeit des Warmwasserspeichers für 40% Überkapazität an solarthermischen Anlagen
- Abbildung 05:
Speicherbedarf der Stadt Nürnberg bei 100% Versorgung durch Fernwärme mit solarthermischen Anlagen und einer Überproduktion von 0 % bis 500 %
- Abbildung 06:
Wärmeverluste des Warmwasserspeichers für 0% bis 500% Überkapazität an solarthermischen Anlagen
- Abbildung 07:
Kantenlänge eines Warmwasserspeichers in kubischer Form zur Deckung der benötigten Speicherkapazität bei einem Arbeitsbereich von 60°C bis 113°C für 0% bis 500% Überkapazität an solarthermischen Anlagen
- Abbildung 08:
Ausnutzung der solarthermischen Überkapazitäten in den Stunden der höchsten Energiebereitstellung am Beispiel von 40% Überproduktion
- Abbildung 09:
Ausnutzung der solarthermischen Überproduktion in den Tagen der höchsten Energiebereitstellung am Beispiel von 40% Überproduktion

1 Problemstellung

Die Speicherung von thermischer Energie ist bei der Umstellung vom konventionellen Primärenergieträger auf regenerative unverzichtbar. Der Unterschied zwischen den Primärenergieträgern ist die stoffgebundene Form der konventionellen Energie, wie chemischer Energie und der regenerativen in Form von Strahlung und bewegten Luftmassen. Aufgrund der schweren Speicherung der regenerativen Energieträger müssen Speicherkonzepte für Sekundärenergien entwickelt werden, welche den Unterschied zwischen Last- und Einspeisezyklen jährlich ausgleichen können (Sauer, 1983, S.227). Hierbei bezieht sich diese Arbeit speziell auf die mögliche Speicherung von thermischer Solarenergie zur ganzjährigen Fernwärmeversorgung Nürnbergs.

2 Stand der Forschung

Der Bedarf an Fernwärme wird abnehmen. Dies ist besonders durch Sanierungen und Energieeffizienzmaßnahmen zu erklären. Der Bedarf an der Speicherung von thermischer Energie wird aufgrund der Abhängigkeit von regenerativen Energien und deren zeitlich unveränderbarer Verfügbarkeit steigen (Sternner, 2017, S.165).

Im Fernwärmenetz der Stadt Nürnberg gibt es einen Warmwasserspeicher. Dieser speichert die thermische Energie des angegliederten Heizkraftwerkes. Mit einem Fassungsvermögen von 33000 m³ (N-ERGIE Abs.4) trägt er hauptsächlich dazu bei das Heizkraftwerk bei Strombedarf in Betrieb nehmen zu können und somit die Wirtschaftlichkeit des Heizkraftwerkes zu erhöhen (Schramm M.). Der Speicher ermöglicht es momentan den Fernwärmeverbrauch für ca. 16 h zu speichern (Theiss H.). Um Nürnberg regenerativ mit Fernwärme aus Solarthermie zu versorgen, ist ein Speicher nötig, der den saisonalen Wärmebedarf und die saisonale Energiebereitstellung ausgleicht. Die Spitzenlast des Wärmebedarfes ist im Winter, die Spitzeneinspeisung der Solarthermie ist im Sommer (vgl. Abb. 02).

3 Zielsetzung

Die Zielsetzung ist die Untersuchung und Dimensionierung eines Warmwasserspeichers zur ganzjährigen Fernwärmeversorgung Nürnbergs. Hierzu muss eine Energiebilanz für den Warmwasserspeicher vorgenommen werden. Dies ist in Abbildung 01 schematisch dargestellt. Eine positive Differenz aus Q_{Zu} und Q_{Ver} kann gespeichert oder an die Umgebung abgegeben werden. Eine negative Differenz muss ausgeglichen werden oder die Versorgung kann nicht aufrechterhalten werden. Aus den zeitlichen Energieströmen lässt sich dann eine Energiedifferenz pro Stunde berechnen und somit kann eine Dimensionierung eines Warmwasserspeichers zum Ausgleich von Sommer und Winter vorgenommen werden.

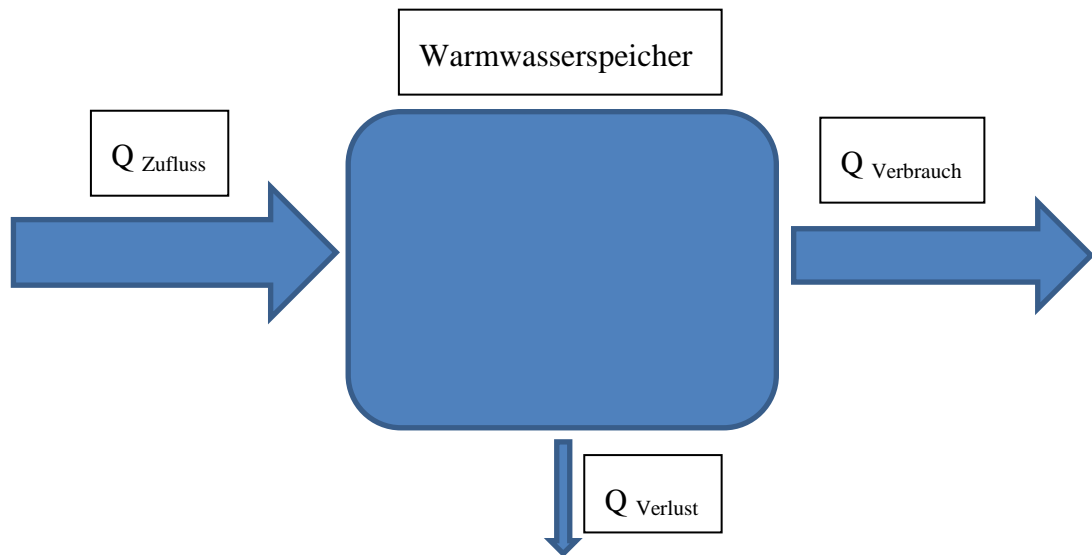


Abb. 01: Funktionsprinzip eines Warmwasserspeichers

4 Vorgehensweise

Der beschrittene Arbeitsweg lässt sich in 4. Arbeitsschritte einteilen. Der erste war die Datenbeschaffung für die solare Strahlung und Fernwärme in stündlichen Zeitreihen und der durch Fernwärme versorgte Anteil der Bevölkerung Nürnbergs. Der nächste die Datenverarbeitung und der Vergleich der obengenannten Datenreihen. Als 3. Schritt wurde der Speicherbedarf Nürnbergs ermittelt. Der letzte Arbeitsschritt befasste sich mit der möglichen Speicherverkleinerung durch eine Überproduktion von thermischer Energie durch Solarthermie.

4.1 Datenbeschaffung

4.1.1 Solarthermie Daten

Die solarthermischen Daten, die in dieser Arbeit benutzt werden, wurden von der NASA als MERRA-2 Daten im Internet veröffentlicht. Sie beziehen sich auf den 11,25 Längengrad und 49,50 Breitengrad. Der Download erfolgt mit Hilfe eines VBA-Programmes, welches von Herr Prof. Popp geschrieben wurde und diverser Konverter. Die Daten wurden von Frau Meyer L. zu einer optimalen Himmelsausrichtung und thermischen Nutzen aufgearbeitet.

Das Stadtzentrum Nürnberg besitzt die Koordinaten 11,08 Längengrad und 49,45 Breitengrad. Dieser mögliche Fehler wird in der weiteren Betrachtung vernachlässigt. Er wird als geringer als die jährliche Schwankung gegenüber dem Basisjahr 2016 abgeschätzt. Die solarthermischen Energiedaten sind in Abbildung 02 als tägliche Summen in blau aufgelistet.

4.1.2 Fernwärme Daten

Die Daten der Fernwärme wurden mir durch die N-ERGIE, bei einem persönlichen Treffen durch Herrn Theiss zur Verfügung gestellt. Diese werden in dieser Arbeit nicht veröffentlicht, sondern lediglich die daraus entstanden Schlussfolgerungen. Die Daten, über die mit Fernwärme versorgten Haushalte, wurden mir von Herrn Schramm, ebenfalls Mitarbeiter der N-ERGIE, zu Verfügung gestellt.

Um Nürnbergs gesamten Wärmebedarf abzuschätzen, wurden die Fernwärmedaten mit einem Haushaltsfaktor von 4,35 multipliziert. Dieser Faktor entspricht dem Verhältnis von 65.000 (Schramm M.) versorgten Haushalten zu den 282.496 (online-service2.de) Haushalten Nürnbergs. Die Energiedaten der Fernwärme sind in Abbildung 02 als tägliche Summen in rot dargestellt.

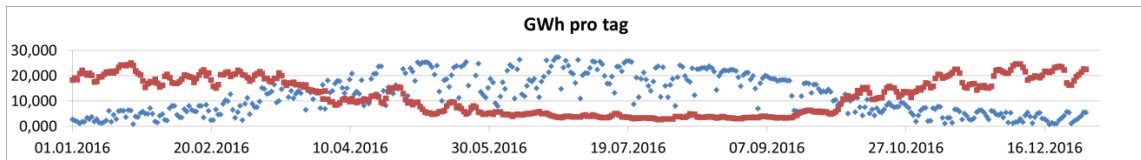


Abb. 02: Tägliche Summe für Solarthermie (blau) und Fernwärme (rot)

4.2 Ermittlung von stündlichen Differenzen

Die Daten der Solarthermie in W/m^2 wurden mit einer Fläche multipliziert. Diese Fläche wurde aus der Summe der stündlichen Verbrauchswerte plus der Speicherverluste geteilt durch die Summe der stündlichen Solarthermie in W/m^2 berechnet.

$$A_{Solaranlagen} = \frac{\sum_{8784}^1 W_{Verbrauch} + W_{Verlust}}{\sum_{8784}^1 W_{Solaranlagen/m^2}}$$

$$W_{Solaranlagen/m^2} * A_{Solaranlagen} = W_{Solaranlagen}$$

$$\Delta W_{Stündlich} = W_{Solaranlagen} - W_{Verbrauch}$$

$$W_{Stündlich} = W_{Solaranlagen/m^2} - W_{Verbrauch}$$

4.3 Ermittlung der benötigten Speicherkapazität

Im Schritt 4.2 wurden 2 Zeitreihen berechnet, deren stündliche Differenz auf ein Jahr aufsummiert, den Speicherverlust als Ergebnis liefert.

$$W_{Solaranlagen/m^2} * A_{Solaranlagen} = W_{Solaranlagen}$$

$$\Delta W_{Stündlich} = W_{Solaranlagen} - W_{Verbrauch}$$

$$W_{Stündlich}/8784 = W_{Verlust}$$

Der benötigte Speicherbedarf lässt sich nun aus der Summe des Minimums und Maximums bestimmen. Die Verlustenergie ist in der Abbildung 03 als Endwert erkennbar.

$$C_{Wärmespeicher} = W_{Stündlich:Max} - W_{Stündlich:Min}$$

Der Wärmeverlust:

$$W_{Verlust} = \Psi * A_{Speicher} * t$$

Bei der Annahme eines kubischen Speichers:

- Geometrische Beziehungen: $A_{Speicher} = l^2 * 6$ $l = \sqrt[3]{V_{Speicher}}$
 $l =$ kantenlänge
- Wärmespeicherkapazität: $V_{Speicher} = \frac{C_{Wärmespeicher}}{c_{wasser} * \Delta T * \rho_t}$

Die Verlustarbeit ergibt sich aus $W_{Verlust}$ mit $A_{Speicher}$ mit l mit $V_{Speicher}$ zu folgender Formel:

$$W_{Verlust} = \Psi * \left(\sqrt[3]{\frac{C_{Wärmespeicher}}{c_{wasser} * \Delta T * \rho_t}} \right)^2 * 6 * t$$

Mit den Annahmen:

- Nürnberg Baureferat: $\Psi = 15 \frac{W}{m^2}$ $T_1 = 113 \text{ } ^\circ C$
 Ψ flächenbezogene Leistungsdichte
- Rücklauftemperatur Fernwärme (Theiss H.): $T_2 = 60 \text{ } ^\circ C$
- Zeit: $t = 1 \text{ a} = 366 \text{ t} = 8784 \text{ h}$
- Speicherkapazität Wasser (Wikipedia Abs. 2): $c_{wasser} = 4,182 \frac{kJ}{kg K}$
- Dichte Wasser (itv Aachen S7.):
durch lineare Interpolation $\rho_{t=113^\circ C} = 948 \frac{kg}{m^3}$ bei 1,65 bar

Diese Annahmen sind in Anlehnung an einen realen Warmwasserspeicher der N-ERGIE. Die Leistungsdichte Ψ ist eine Vorgabe der KWKG Förderung und entspricht einer Isolierung bei den genannten Temperaturen von 0,5 m Wärmedämmung (Nürnberg Baureferat)

Nun ist die Kapazität des Wärmespeichers eine Funktion der Energieverluste und umgekehrt. Deshalb wird die Verlustarbeit für den ersten Schritt als 0 angenommen und dann durch Iterationsverfahren berechnet. Die Iterationsschritte sind so gewählt, dass eine Abweichung von 0,5 % als hinreichend genau angenommen wird. Dies entspricht bei einer Kapazität von 2000 GWh 10 GWh.

Iteration:

$$C_{\text{Wärmespeicher}/n+1} = C_{\text{Wärmespeicher}/n} + 10 \text{ GWh}$$

Abbruchbedingung:

$$C_{\text{Wärmespeicher}/n} > \sum_{8784}^1 W_{\text{Stündlich:Max}} - \sum_{8784}^1 W_{\text{Stündlich:Min}}$$

Hieraus resultiert, dass ein Wärmespeicher, wie in Abbildung 03 erkenntlich ist, mit einer Kapazität von 2300 GWh benötigt wird. Dies entspricht einem Warmwasserspeicher im Arbeitsbereich von 113 °C bis 60 °C mit einem Volumen von 0,039 km³. Ein solches Volumen entspricht einem Würfel mit einer Kantenlänge von 340 m

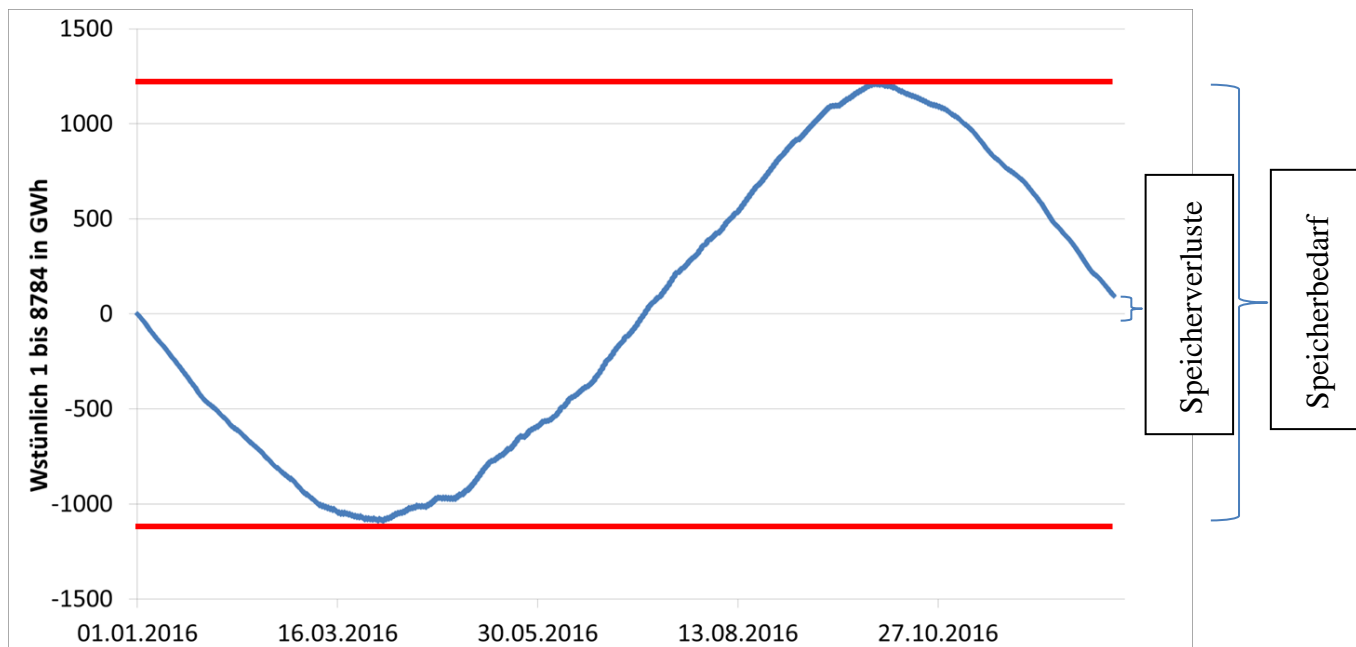


Abb. 03: $\sum_{8784}^1 W_{\text{Stündlich}}$

4.4 Ermittlung der benötigten Speicherkapazität bei einer Überkapazität von Solarthermie

Eine Verkleinerung des saisonalen Wärmespeichers durch Überproduktion von solarthermischen Anlagen ist aufgrund der zyklisch eingespeisten Energie der Solarmodule möglich. Wie in Abbildung 02 zu erkennen ist, schwanken die monatlichen Spitzen der Solarthermie ca. zwischen 30 GWh und 10 GWh. Durch eine Überproduktion an Solarthermie sinkt dadurch die benötigte Speicherkapazität.

Zur Berechnung müssen folgende Formeln angepasst werden.

Es wird ein Faktor zur Überproduktion eingeführt, wobei nur x Werte größer 0 % betrachtet werden. Dieser vergrößert die Fläche der Solaranlagen, was zu einer Überproduktion führt.

$$x = \frac{A_{\text{Solaranlagen}x\%}}{A_{\text{Solaranlagen}100\%}} - 1$$

Die Formel der Wärmespeicherkapazität wird folgendermaßen erweitert:

$$C_{\text{Wärmespeicher}} = \sum_{8784}^1 W_{\text{Stündlich:Max}} - \sum_{8784}^1 W_{\text{Stündlich:Min}} - W_{\text{Stündlich:8784}} + W_{\text{Verlust}}$$

Der Graph in Abbildung 04 ist hier beispielsweise für 40 % Überproduktion der benötigten Energie dargestellt. Durch die Maßnahme der Überproduktion verkleinert sich der benötigte Speicher auf 1900 GWh. Dies ist ebenfalls in der Abbildung 04 zu erkennen.

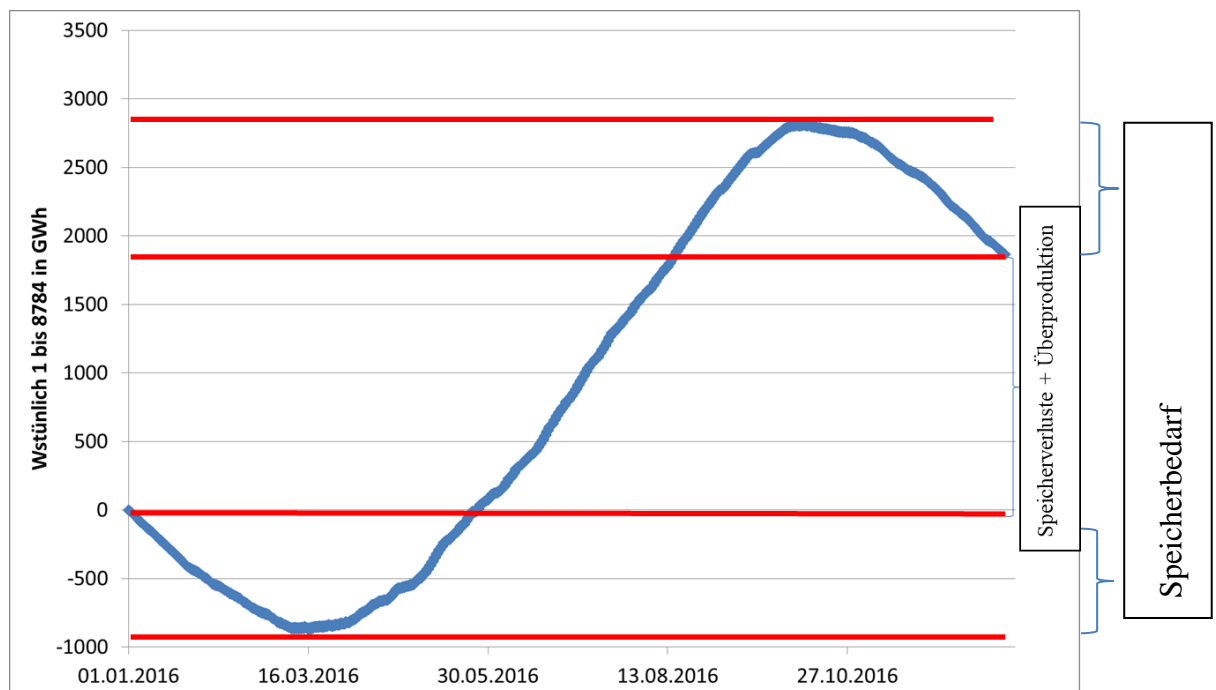


Abb. 04: $\sum_{8784}^1 W_{\text{Stündlich}}$ für x = 40 %

Durch die Maßnahme der Überproduktion ist der Endwert die Summe aus Verlustleistung und der Überproduktion.

Die restliche zur Verfügung gestellte thermische Energie kann anderweitig benutzt werden. Als Beispiel wird ein Kalina-Prozess oder ORC-Prozess zur Erzeugung elektrischer Energie genannt. Diese werden aber nicht weiter betrachtet, sondern nur die abfallende Wärme und deren zeitlichen Verlauf im Kapitel 4.6 aufgezeigt.

Dies wurde für den Bereich von 0 % bis 500 % solarthermische Überproduktion in 2 % Schritten ausgewertet, wobei der Iterationsschritt auf 1 GWh reduziert wurde. Dies entspricht einer maximalen Abweichung von 0,5 % bei 200 GWh. Die Ergebnisse der benötigten Speicherkapazität in GWh sind in Abbildung 05 dargestellt. Die Speicherkapazität sinkt von 2300 GWh bei einer Überproduktion von 0 % auf 500 % thermisch benötigter Energie auf 177 GWh.

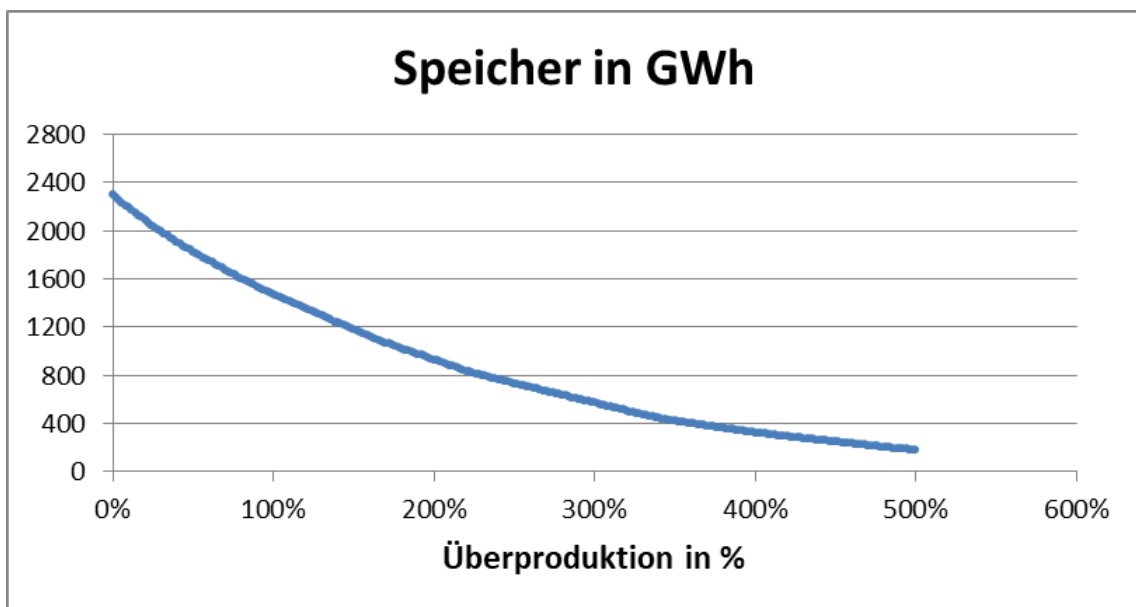


Abb. 05: $C_{\text{Wärmespeicher}}$ für x 0 % bis 500%

Zu erwähnen ist das 500 % Überproduktion der Versorgungsleistung nicht die 6-fache Fläche der Solarmodule gegenübersteht, sondern eine 5,9-fache Fläche. Diese Differenz erklärt sich aus dem sinkenden Wärmeverlust des Speichers aufgrund dessen geringeren Volumens.

4.5 Ermittlung von Speicherverlusten in Abhängigkeit der Größe

Die Speicherverluste ergeben sich aus der Oberfläche des Wärmespeichers und dem daraus abgeleiteten Speichervolumens. Die Oberfläche gibt 15 w/m² spezifischer Wärmestrom nach KWKG ab (Nürnberg Baureferat). Diese Speicherverluste werden von 0 % bis 500 % Überproduktion ausgewertet. Sie sinken dabei von 90 GWh auf 17 GWh, wie in Abbildung 06 zu erkennen ist. Die Volumenreduktion ist hierbei von 0,039 km³ auf 0,003 km³ weitaus größer. Dies entspricht jeweils einer Kantenlänge von 340 m beziehungsweise von 145 m und wird in Abbildung 07 gezeigt.

Die Verlustarbeit vgl. S. 10:

$$W_{Verlust} = \Psi * \left(\sqrt[3]{\frac{C_{Wärmespeicher}}{C_{wasser} * \Delta T * \rho_t}} \right)^2 * 6 * t$$

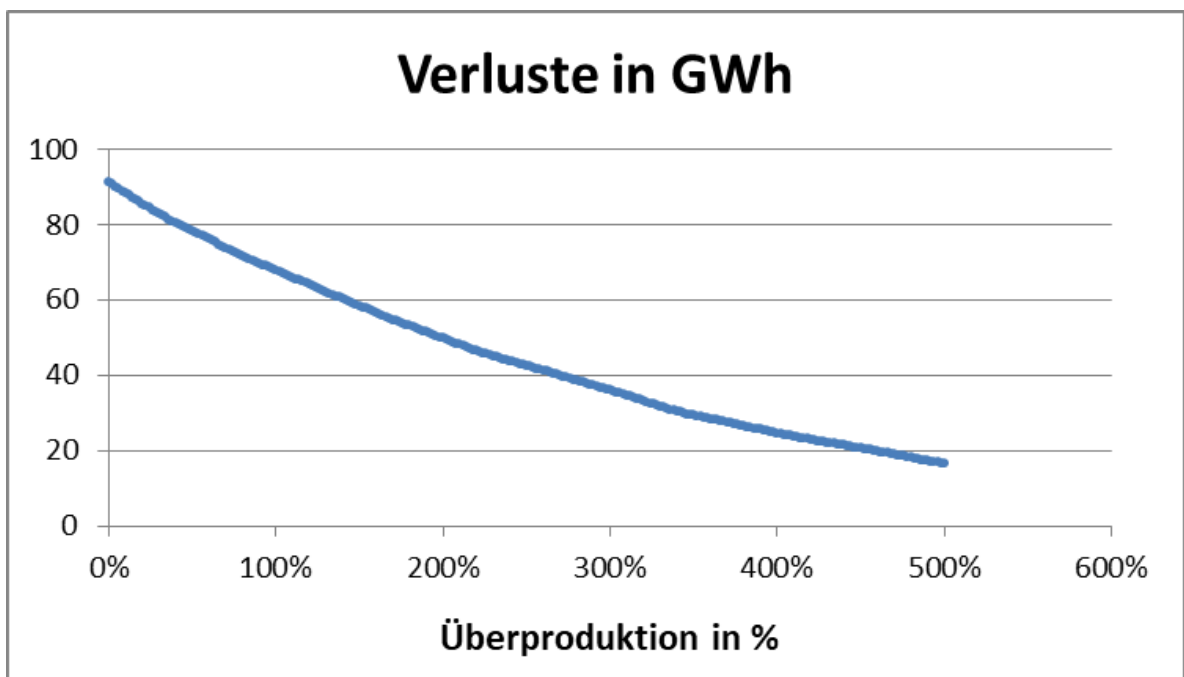


Abb. 06: $W_{Verlust}$ für x 0 % bis 500 %

Die Kantenlänge ergibt sich zu:

$$l = \sqrt[3]{\frac{C_{\text{Wärmespeicher}}}{c_{\text{wasser}} * \Delta T * \rho_t}}$$

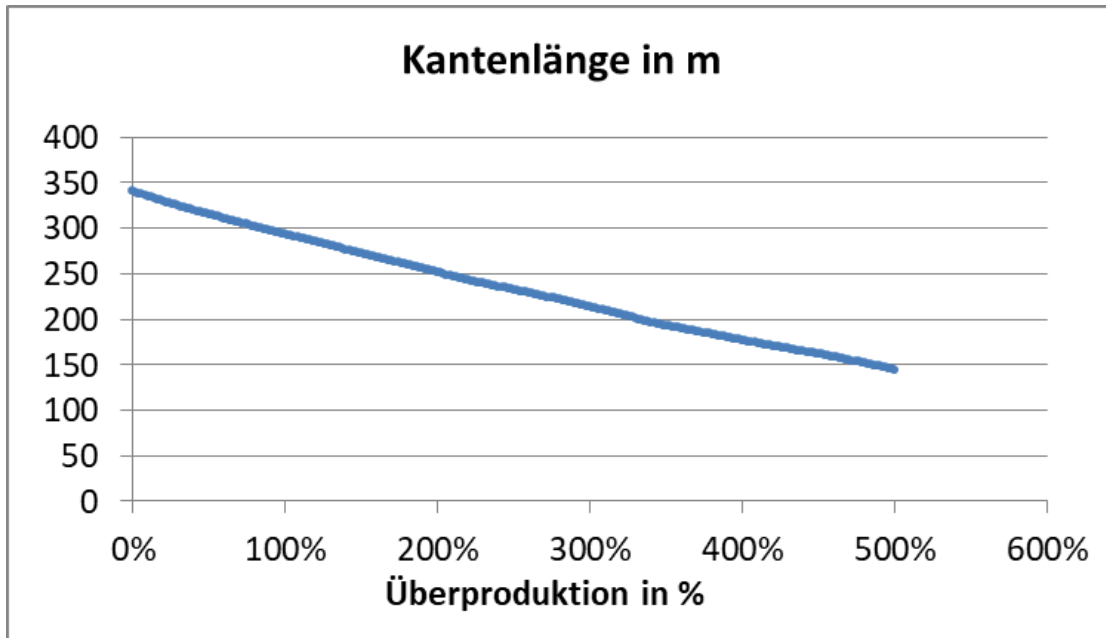


Abb. 07: Kantenlänge l für x 0 bis 500%

4.6 Nutzen der stündlichen oder täglichen Maxima bei einer Überkapazität von Solarthermie

Zur Nutzung der Überproduktion ergeben sich mehrere Möglichkeiten. Hier wird, am Beispiel von einer Überproduktion von 40 %, eine Nutzung der täglichen und stündlichen Maxima vorgestellt.

Abbildung 08 und 09 zeigen die Differenzenergien von Einspeisung und Verbrauch. Alle rot markierten Punkte werden für die Fernwärmeversorgung benötigt, alle blau markierten Punkte stehen einer sekundären Nutzung zur Verfügung, oder müssen durch einen Kühlturm abgeführt werden, das heißt bei einer Überproduktion von 0 % würden alle Punkte rot gefärbt sein.

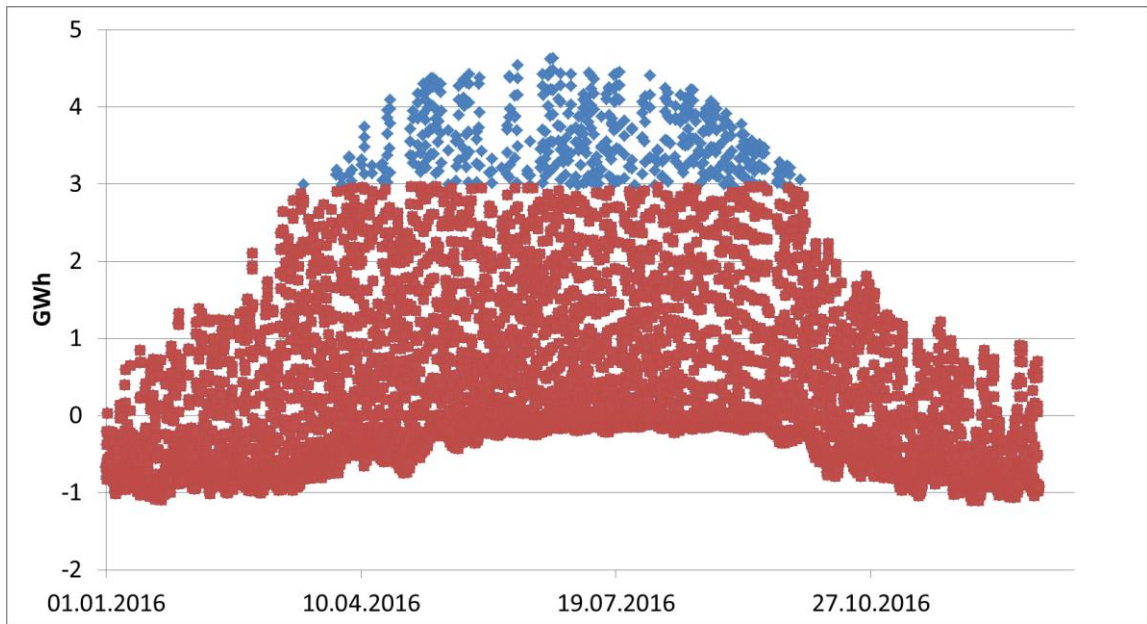


Abb. 08: stündliche Differenzenergie

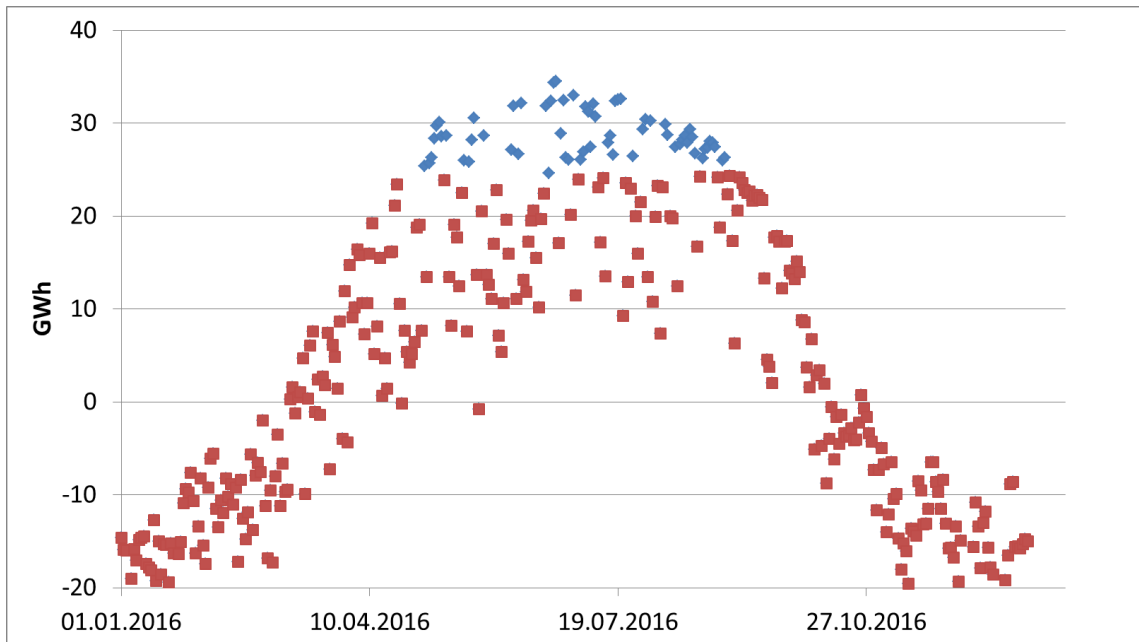


Abb. 09: tägliche Differenzenergie.

Hierbei ist darauf zu achten, dass man keine Werte, die sich innerhalb des Speicherzeitraumes befinden, für eine sekundäre Nutzung verwendet. Denn hieraus würde ein erhöhter Speicherbedarf resultieren. Die sekundäre Nutzung würde dann der primären Nutzung entgegenstehen. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass diese Nutzung erst im folgenden Jahr bestimmt werden kann.

Wie groß ein Sicherheitsfaktor sein müsste, um jährliche Schwankungen auszugleichen, müssen zukünftige Forschungen zeigen.

5 Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass eine Fernwärmeversorgung aus solarthermischen Anlagen eine große Speicherkapazität von 2300 GWh benötigt. Diese lässt sich durch eine Überproduktion verringern. Hierzu müssten allerdings deutlich mehr Flächen für die solarthermischen Anlagen zur Verfügung gestellt werden. Hierbei stellt sich die Frage, ob ein Nutzen der Flächen durch Solarkollektoren zur elektrischen Energiegewinnung nicht sinnvoller ist und in den Wintermonaten mithilfe von Wärmepumpen die benötigte Wärme erzeugt wird.

Des Weiteren betrachtet diese Untersuchung nicht die Deckung der Fernwärme durch Holzverbrennung. Diese regenerative Energiequelle ist ohne technischen Aufwand speicherbar und bietet somit das Potential den Speicherbedarf weiter zu senken.

Bei einer Fernwärmeversorgung Nürnbergs mittels regenerativer Energie ist die jetzige Versorgungsinfrastruktur in der Fernwärme nicht ausreichend. Es wird momentan nur $\frac{1}{4}$ der Bewohner Nürnbergs versorgt, desweiteren werden die momentanen Netze mit 140 °C betrieben. Diese Temperaturen sind momentan zur Leistungsübertragung notwendig. Solche Temperaturen können allerdings nur mit erhöhtem technischem Aufwand von solarthermischen Anlagen erreicht werden. Um die Temperaturen zu senken, ist es nötig die Leitungsquerschnitte zu erhöhen. Eine Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit ist aufgrund einer Geräuschbelästigung der Anwohner nicht erwünscht (Theiss H.).

6 Zusammenfassung

Wenn die Fernwärmeversorgung Nürnbergs durch solarthermische Anlagen ohne Überproduktion stattfinden soll, ist ein Warmwasserspeicher mit einer thermischen Speicherkapazität von 2300 GWh von Nöten. Dieser benötigt bei vergleichbaren Eigenschaften zum Warmwasserspeicher der N-ERGIE über das 1000 fache Volumen, was einer Kantenlänge von 340 m eines Würfels entspricht. Hierbei würde jährlich ein Verlust von 90 GWh abfallen.

Dieser Wärmespeicher kann durch eine Überproduktion von 500 % solarthermischer Anlagen auf 177 GWh verkleinert werden und benötigt somit nur noch einen Warmwasserspeicher mit 145 m Kantenlänge. Der Verlust würde sich hierbei auf 17 GWh reduzieren. Ob eine Überproduktion wirtschaftlich sinnvoll ist, müssen zukünftige Forschungen zeigen.

7 Literaturverzeichnis

Bundesregierung: Energiewende

www.bundesregierung.de/Content/DE/StatischeSeiten/Breg/Energiekonzept/0-Buehne/ma%C3%9Fnahmen-im-ueberblick.html

(Datum des Zugriffs: 16. Oktober. 2017).

itv Aachen

https://www.itv.rwthachen.de/fileadmin/LehreSeminar/Thermodynamik_I/Vorlesungen_SS13/Thermo_Kap2_Teil2von2_newLayout.pdf

(Datum des Zugriffs: 05.Dezember. 2017)

Nürnberg Baureferat

www.nuernberg.de/imperia/md/baureferat/dokumente/bkb/2012/2_beschreibung_plaene_ansichten_2012_10_25.pdf

(Datum des Zugriffs: 19. Oktober. 2017).

Sauer E. (1982) Energietransport, -speicherung und –verteilung

Technischer Verlag Resch

Sterner, M., Stadler I.(2017) Energiespeicher Bedarf Technologien Integration

Köln:Springer

Schramm M. Vorstellung des Unternehmens N-ERGIE, Th-Nürnberg 19.10.17

Schramm M. persönliche Korrespondenz 17.11.17

Theiss H. persönliche Korrespondenz 08.11.17

Wikipedia

https://de.wikipedia.org/wiki/Spezifische_W%C3%A4rmekapazit%C3%A4t

(Datum des Zugriffs: 05.Dezember. 2017)

8 Ehrenwörtliche Erklärung

„Hiermit versichere ich, Uli Rosel, ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Hausarbeit mit dem Titel: „Warmwasserspeicher“ selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Die Stellen der Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen wurden, sind in jedem Fall unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht. Die Arbeit ist noch nicht veröffentlicht oder in anderer Form als Prüfungsleistung vorgelegt worden.

<Hilpoltstein 20.12.2017, Unterschrift>