

# Dynamisches Verhalten eines thermischen Speichers

Energiespeicher (ESP), Laborversuch Wärmespeicher

2. November 2021

<b>Verfasser:</b>	Jonas Fuhrmann	560960
	Constantin Nölte	561439
	Abdoualkahar Ameziane	560241
	Filip Tandara	579676
	Martin Teichert	564191
	Jana Deichsel	564440
<b>Studiengang:</b>	Regenerative Energien	
<b>Semester:</b>	WiSe 2021/22	
<b>Prüfer:</b>	Prof. Dr. Friedrich Sick	

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis . . . . .	2
1 Einleitung . . . . .	3
2 Vorbereitungsaufgaben . . . . .	3
2.1 Kollektorbauformen und Einsatzgebiete . . . . .	3
2.1.1 Schwimmbadabsorber . . . . .	3
2.1.2 Speicherkollektoren . . . . .	3
2.1.3 Flachkollektoren . . . . .	3
2.1.4 Vakuum-Röhrenkollektoren . . . . .	4
2.1.5 Wärmemedium . . . . .	4
2.1.6 Verluste eines Solarkollektors . . . . .	4
2.2 Optimale Kollektorausrichtung . . . . .	5
2.3 Regellogik und Sicherheit solarthermischer Anlagen . . . . .	5
2.4 Speicherbauformen für Trinkwarmwasser und Heizungsunterstützung . . . . .	6
2.5 Schichtenladesysteme: Bauformen und Bedeutung . . . . .	6
2.6 Konventionelle Nachheizsysteme . . . . .	7
3 Versuchsdurchführung und -aufbau . . . . .	7
4 Auswertung . . . . .	8
4.1 Wochensimulation . . . . .	8
4.2 Jahressimulation . . . . .	10
4.2.1 Berechnung . . . . .	11
Literaturverzeichnis . . . . .	14

# Abbildungsverzeichnis

1 Vergleich der mittleren Speichertemperaturen der vier Versuche für die Wochensimulation . . . . .	8
2 Vergleich der mittleren Speichertemperaturen der vier Versuche für die Jahressimulation . . . . .	10
3 Vergleich der solaren Wärmemenge, der konventionellen Wärmemenge und der solaren Deckungsrate der vier Versuche . . . . .	12
4 Vergleich der Anzahl der Kesselstarts der vier Versuche . . . . .	12

# 1 Einleitung

Das Ziel des Versuches ist das dynamische Verhalten von Speichersystemen zu ermitteln. Dies wird im Versuch mittels Simulation durch das Programm TRNSYS umgesetzt, um langatmige Echtzeitmessungen zu umgehen.

## 2 Vorbereitungsaufgaben

In den nachfolgenden Unterkapiteln werden die unterschiedlichen Themengebiete der Vorbereitungsfragen behandelt.

### 2.1 Kollektorbauformen und Einsatzgebiete

#### 2.1.1 Schwimmbadabsorber

Bei der einfachsten Kollektorbauform handelt es sich um einen unverglasten Absorber. Dieser kann aus Matten bestehen, welche auf der Wasseroberfläche aufgelegt werden. Weiterhin kann dieser auch aus Schläuchen bestehen, durch welche das Wasser gepumpt wird. Durch die solare Einstrahlung auf den Absorber wird das Sonnenlicht absorbiert und als Wärme an das Wasser abgegeben. Wegen des erhöhten Absorptionsgrads werden die Matten oder Schläuche schwarz eingefärbt.

Unverglaste Absorber sind sehr günstig. Sie erzeugen jedoch eine geringere Temperaturdifferenz im Wasser. Für ein Schwimmbad reichen diese Temperaturdifferenzen von 3°C bis 4°C aber meist aus. Für einen Einsatz auf einem Haus zur Trinkwassererwärmung oder zur Heizungsunterstützung sind diese Absorber jedoch nicht geeignet. Hier werden Flach- oder Vakkum-Röhrenkollektoren verwendet.

#### 2.1.2 Speicherkollektoren

Bei Speicherkollektoren handelt es sich um Kollektoren, bei denen der Speicher gleich mit in den Kollektor integriert ist <sup>[1]</sup>. Im Gegensatz zum Flachkollektor wird kein Solarglas verwendet, welches möglich wenig Reflexionsverluste besitzt. Es wird sich für eine Glasart mit etwas mehr Reflexionsverlusten, dafür aber mit einem geringeren Wärmedurchgangskoeffizienten entschieden, der die Wärmeverluste des Speicherkollektors minimiert.

Durch die hohe Masse eines Speicherkollektors ist nicht jedes Dach für einen Speicherkollektor geeignet. Die am weitesten verbreitete Variante ist ein Flachkollektor mit externem Wärmespeicher, welcher sich dann im Haus befindet.

#### 2.1.3 Flachkollektoren

Flachkollektoren sind die am meisten verbreitete Kollektorbauform für Trinkwassererwärmung in Europa <sup>[1]</sup>. Der Flachkollektor besteht aus einer Verglasung, dem Kollektorgehäuse und dem eigentlichen Absorber im Gehäuse. Der Absorber absorbiert dabei das Sonnenlicht, was durch die Verglasung auf den Absorber trifft. Dieses Sonnenlicht wird als Wärme an das Wasser-Glykol-Gemisch abgegeben. Das warme Wasser fließt aus dem Kollektor in einen Wärmespeicher, wo die Wärme wieder abgegeben wird. Kaltes Wasser wird erneut durch den Absorber geleitet, wo sich das Wasser wieder erwärmt.

### 2.1.4 Vakuum-Röhrenkollektoren

Vakuum-Röhrenkollektoren werden verwendet, um Wärmeverluste durch Luftzirkulation (Konvektion) zu verhindern. Für das Vakuum werden Glasröhren verwendet, die in der Lage sind das Vakuum besser zu halten, als andere Kollektoren, die manuell vakuumiert werden <sup>[1]</sup>. Es gibt zwei verschiedene Arten von Vakuum-Röhrenkollektoren:

1. Kollektor mit Heatpipe
2. Kollektor mit durchgehendem Wärmerohr

Bei einem Kollektor mit Heatpipe befindet sich in einer Glasröhre ein flaches Absorberblech, welches ein Wärmemedium zum verdampfen bringt. Über einen Wärmetauscher, der das Wärmemedium wieder kondensieren lässt, wird die enthaltene Wärme an einen Wasserkreislauf abgegeben.

Bei einem Kollektor mit durchgehendem Wärmerohr kann auf einen Wärmetauscher im Absorber verzichtet werden, da das Medium den Kollektor selbst durchläuft.

Ein Vakuum-Röhrenkollektor kann durch die geringeren Wärmeverluste ein höheres Temperaturniveau erzeugen, als der Flachkollektor. So können sie auch im Winter zur Heizungsunterstützung verwendet werden, da sie noch ein ausreichendes Temperaturniveau erzeugen.

### 2.1.5 Wärmemedium

Der Absorber erwärmt ein Wasser-Glykyl-Gemisch, welches dann über den Kollektorkreis in den Speicher geleitet wird, wo die Wärme an den Speicher abgegeben wird. Aufgrund von Frostschutz, ist immer ein Wasser-Glykol-Gemisch zu verwenden, da sonst im Winter das Wasser im Kollektorkreis gefrieren könnte.

### 2.1.6 Verluste eines Solarkollektors

Die Absorption des Sonnenlichts vom Kollektor ist verlustbehaftet. Es treten folgende Verlustkomponenten bei einer Absorption auf:

1. Reflexionsverluste der Verglasung und des Absorbers
2. Absorptionsverluste der Verglasung
3. Wärmeleitungsverluste im Absorber
4. Strahlungsverluste des Absorbers
5. Konvektionsverluste durch Luftzirkulation im Kollektor

Um die Wärmeverluste des Kollektors möglichst gering zu halten wird der Kollektor an der Rückseite gedämmt. Weiterhin wird für die Verglasung Solarglas verwendet, welches nur einen geringen Anteil des Sonnenlichts reflektiert und einen geringen Absorptionskoeffizienten besitzt.

Um die Strahlungsverluste des Absorbers zu minimieren muss dieser selektiv beschichtet werden. Bei einer selektiven Beschichtung besitzt der Absorber einen möglichst guten Absorptionskoeffizient, verliert jedoch auch möglichst wenig Wärme durch Strahlung.

Der Absorber wird mit einem Material beschichtet, welches einen hohen Absorptionsgrad im Bereich des sichtbaren Lichts und einen geringeren Absorptionsgrad im Infrarotbereich des Lichts besitzt. Dadurch, dass laut dem Kirchhoff'schen Gesetz der Absorptionsgrad gleich dem Emmissionsgrad ist, kann so ein Verlust durch Wärmestrahlung verringert werden. Gängige Absorptionsgrade einer selektiven Beschichtung liegen bei 0,95 im sichtbaren Bereich und bei 0,05 im Infrarotbereich (z.B. Tinox oder Cermet) <sup>[1]</sup>.

## 2.2 Optimale Kollektorausrichtung

Für die Trinkwassererwärmung richtet man den Kollektor so aus, dass die Sonne senkrecht auf den Kollektor trifft. Hierfür muss der Kollektor um ca. 35° aufgeständert werden. Möchte man den Solarkollektor für Heizungsunterstützung im Winter verwenden, muss dieser weitaus steiler ausgerichtet werden, als für die Trinkwassererwärmung. Die Aufständering wird hier also explizit auf die Sonnenstände im Winter optimiert.

## 2.3 Regellogik und Sicherheit solarthermischer Anlagen

Für eine Regelung einer solarthermischer Anlage müssen mindestens folgende Parameter vermessen werden:

1. Speichertemperatur
2. Vorlauftemperatur des Kollektorkreises

Die meisten solarthermischen Anlagen besitzen eine Pumpe, die das Wärmedium im Kollektor umwälzt und so das warme Wasser vom Kollektor in den Speicher pumpt. Gleichzeitig wird das kalte Wasser nach der Wärmeabgabe wieder in den Kollektor gepumpt, um dort erneut erwärmt zu werden.

Die Pumpe darf nur anspringen, wenn das Wasser aus dem Kollektor eine höhere Temperatur als der Speicher besitzt, da sonst Energie aus dem Speicher genutzt wird, um den Kollektorkreis zu erwärmen. Zusätzlich muss eine gewisse Temperaturdifferenz vorliegen, damit die Pumpe nicht ständig an- und ausgeschaltet wird. Hat der Kollektor nun eine gewisse positive Temperaturdifferenz erreicht, wird die Pumpe eingeschaltet und das Wasser in den Wärmespeicher geleitet.

Die Pumpe wird wieder ausgeschaltet, wenn die Vorlauftemperatur des Kollektors zu klein ist, oder die Speichertemperatur das Maximum erreicht hat. Um eine Überhitzung des Speichers und die damit verbundene Wasserabgabe über das Überdruckventil zu verhindern muss die Pumpe ab einer gewissen Speichertemperatur ausgeschaltet werden.

Durch die Abschaltung der Pumpe erwärmt sich das Wasser im Kollektorkreis immer weiter und fängt an zu verdampfen. Der Druck in den Rohrleitungen des Kollektorkreises steigt. Um ein Platzen der Leitungen zu verhindern ist in jedem Kollektorkreis einer solarthermischen Anlage ein Ausdehnungsgefäß verbaut, in das sich das Wasser-Glykol-Gemisch bei erhöhter Temperatur ausdehnen kann.

Der Kollektor selbst kann bei Stillstand des Kollektorkreises auch auf hohe Stillstandstemperaturen kommen. Es muss darauf geachtet werden, dass der Kollektor so gebaut wird, dass diese Temperaturen nicht zu einer Beschädigung der Materialien führt.

## 2.4 Speicherbauformen für Trinkwarmwasser und Heizungsunterstützung

Der Speicher ist mit dem Solarkreislauf verbunden und leitet somit das Wärmeträgermedium in den Speicher. Diese sind im unteren Teil des Speichers in spiralförmigen Rohren angeordnet. Hier wird das Wasser erwärmt und steigt durch den Dichteunterschied nach oben. Die abgekühlte Wärmeträgerflüssigkeit wird aus dem Speicher zum Kollektor transportiert.

Die standardisierte Bauform eines Speichers ist hoch und schmal. Das Verhältnis von Durchmesser und Höhe beträgt somit 1:2,5. Der Aufbau der Wärmedämmung des Speichers ist dick, damit eine gute Isolierung gewährleistet werden kann. Diese ist für die Erzielung guter Wirkungsgrade essentiell. Ähnlich wie die Dämmung der Rohre, um hier die Verluste so gering wie möglich zu halten.

Die Größe des Speichers solarunterstützter Systeme ist größer als die eines reinen Warmwasserspeichers, um Zeiten geringerer Einstrahlung zu überbrücken.

Warmwasserspeicher werden unterschieden in:

- **Pufferspeicher** werden in den Heizungskreislauf aber nicht in den Warmwasserkreislauf eingebunden. Die Aufgabe eines Pufferspeichers ist das erwärmte Heizungswasser in Zeiten geringeren Bedarfs zu speichern. Verwendet werden diese Speicher beim Einsatz von Wärmepumpen, Solarkollektoren und weiteren Heizungsanlagen mit regenerativen Energieträgern.
- **Kombispeicher** bestehen aus einem Pufferspeicher mit einem Wärmetauscher für die Warmwasserversorgung. Dieser kann neben dem Heizungswasser auch Trinkwarmwasser erzeugen. Der Kombispeicher wird direkt oder indirekt über einen Wärmeübertrager vom Heizungswasser durchflossen und hält die dabei transportierte Wärme bis zum Bedarf im Haus bereit. Hier unterscheidet man zwischen einem integrierten Trinkwassersertank und einem Speicher mit einem Frischwassermodul.

## 2.5 Schichtenladesysteme: Bauformen und Bedeutung

Bei einem Schichtenladespeicher befindet sich das Wasser in verschiedenen Schichten mit unterschiedlichen Temperaturen. Aufgrund der verschiedenen Dichteverhältnisse des Wassers befindet sich im oberen Teil des Speichers das warme und im unteren Teil das kalte Wasser. Ein Schichtenladesystem nutzt das Prinzip dieser Schichtung. Hier wird dafür gesorgt, dass bei der Entnahme von Wasser und der Zuführung von neuem Wasser die Schichtung nahezu erhalten bleibt und sich die Vermischung des verschieden temperierten Wassers deutlich verzögert. Dies wird durch sogenannte Schichtladerohre erzielt, welche am Speicher zu den verschiedenen Wasserschichten angebracht sind. Durch die Rohre kann das neue warme Wasser im Speicher ausströmen und sich in einer Temperaturschicht anordnen. Durch Bleche zwischen den Schichten wird verhindert, dass sich das in den Schichten gelagerte kalte und warme Wasser vermischt. Wenn Wasser entnommen wird, erfolgt die Abnahme in der Wasserschicht, welche das geeignete Temperaturniveau besitzt, um so die Wärmeenergie optimal ausnutzen zu können.

## 2.6 Konventionelle Nachheizsysteme

Sofern die vom Kollektor gelieferte Energie nicht ausreicht, um den Wärmebedarf gedeckt zu bekommen, muss die Restenergie durch ein Nachheizsystem bereitgestellt werden. Diese halten die Speichertemperatur bei einem gewünschten Sollwert damit jederzeit Warmwasser verwendet werden kann. Hierfür stehen unter anderem eine zusätzliche Kesselheizung, ein elektrischer Heizstab oder ein Durchlauferhitzer zur Verfügung.

- **Kesselheizung:**

Vorteile: verhältnismäßig kostengünstig (Pellet, Öl), gute Wirkungsgrade der modernen Brennwertkessel

Nachteile: größerer Platzbedarf, jährlicher Nachkauf von Brennstoff

- **Heizstab/Durchlauferhitzer:**

Vorteile: relativ platzsparend

Nachteile: geringere Wirkungsgrade

## 3 Versuchsdurchführung und -aufbau

Im Versuch wurde mithilfe des Programms TRNSYS ein thermisches Speichersystem mit einem Kollektor, einem Heizkreis, einer Trinkwassererwärmung und konventioneller Nachheizung simuliert.

Die Parameter dieser Bauteile wie zum Beispiel Kollektortyp oder Speichervolumen waren im Programm voreingestellt und wurden vor der Durchführung auf Plausibilität überprüft.

Der Versuch unterteilt sich in eine Wochen- und eine Jahressimulation. Die Wochensimulation bildet den Zeitraum vom 08.04. zum 15.04. ab. In der Jahressimulation wird ein vollständiges Jahr vom 01.01. zum 31.12. simuliert.

Als Datengrundlage der Einstrahlung und der Temperatur werden Wetterdaten einer Station in Freiburg verwendet. Sowohl für die Wochen- und Jahressimulation wurden verschiedene Variationen des thermischen Speichersystems simuliert.

Der Kollektorkreis in Variationsversuch eins umfasst ein High Flow System mit einem nicht schichtendem Speicher und einem Einspeiseort im unteren Fünftel des Speichers. In Variationsversuch zwei, drei und vier wurde der Kollektorkreis auf ein Low Flow System mit schichtendem Speicher und einem Einspeiseort in den unteren 90% des Speichers geändert.

Die untere Eintrittsposition der konventionellen Nachheizung war für die ersten beiden Variationsversuche 0.2 und für die letzten beiden Versuche 0.6.

Als letztes wurden die Temperaturen des Heizkreises unterschiedlich parametrisiert. In den ersten drei Variationsversuchen beträgt die gewünschte Speichertemperatur 70°C, die gewünschte Brennertemperatur 80°C, die Vorlauftemperatur 55°C und die Vorlauftemperatur 45°C. Für den letzten Variationsversuch wurden die gewünschte Speichertemperatur und Brennertemperatur um 10°C und die Vorlauftemperatur um 15°C reduziert.

## 4 Auswertung

Die Wochensimulation dient der Veranschaulichung dynamischer Verläufe der Speichertemperatur. Es handelt sich um den Zeitraum von Anfang April, dem üblichen Ende der Heizperiode. Je nach Außentemperatur und Einstrahlung kann das Speichersystem zur Trinkwassererwärmung oder Heizungsunterstützung genutzt werden, weshalb dieser Zeitraum besonders interessant für eine Simulation ist.

Die Jahressimulation dient zur Darstellung saisonaler Unterschiede im thermischen Speichersystem. So agiert das Speichersystem durch die höhere Außentemperatur und höhere Einstrahlung deutlich anders als im Winter bei niedriger Außentemperatur und niedriger Einstrahlung. Besonders interessant ist die solare Deckungsrate in diesem Zusammenhang. Diese beschreibt wie viel Prozent der benötigten Wärme für Trinkwassererwärmung und Heizung durch das thermische Speichersystem mit Kollektorkreislauf gedeckt werden können. Demensprechend gilt: Je höher die solare Deckungsrate ist, umso weniger muss die konventionelle Heizung betrieben werden.

Ebenso interessant ist die Kesseltaktung der konventionellen Heizung. Diese beschreibt wie oft der Kessel ein- und ausgeschaltet werden muss. Über das Jahr verteilt sollte diese möglichst niedrig sein, da eine hohe Taktung die Komponenten des Kessels belastet.

Das Ziel des Versuches ist, ein thermisches Speichersystem zu finden, welches eine möglichst hohe solare Deckungsrate bei gleichzeitig niedriger Kesseltaktung aufweist. Alle genannten Variationsversuche des Systems werden hinsichtlich dieser Parameter verglichen.

### 4.1 Wochensimulation

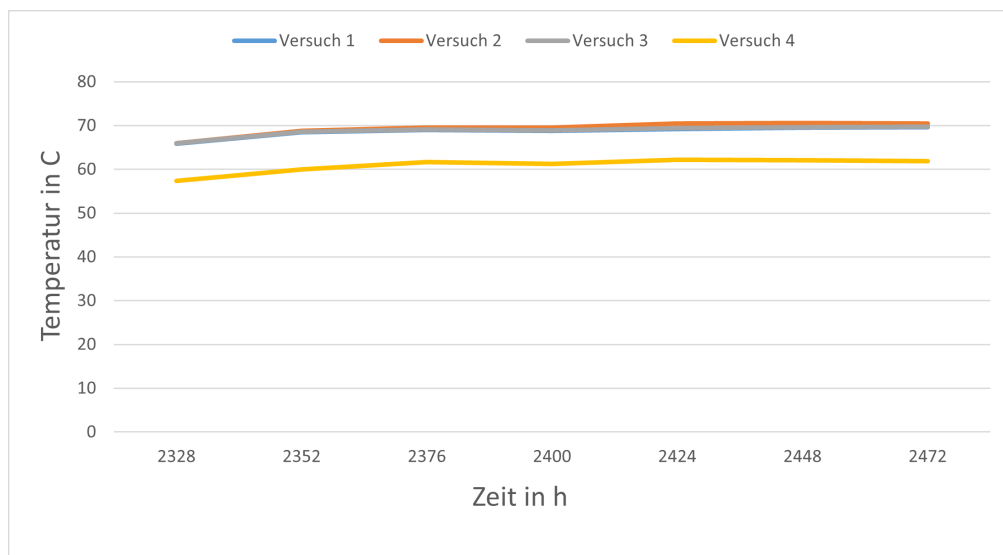


Abbildung 1: Vergleich der mittleren Speichertemperaturen der vier Versuche für die Wochensimulation

Im Teilversuch der Wochensimulation wird die mittlere Speichertemperatur der verschiedenen Versuche verglichen. Wie in der Grafik erkennbar, steigt die Speichertemperatur in dem ersten, zweiten und dritten Versuch über die Woche langsam an. Ab einer Zeit von ungefähr 2400 Stunden bleibt die Temperatur relativ konstant bei 72°C. Weiterhin bleibt die Speichertemperatur bei dem vierten Versuch konstant bei 62°C.



Der Warmwasserverbrauch ist unter der Woche nicht ganz so hoch, da die Personen arbeiten oder in der Schule sind. Der Speicher kann also mehr Wärme speichern als er abgeben muss. Am Wochenende hingegen ab Stunde 2448, ist die Speichertemperatur im Versuch 4 kleiner als die Temperatur im Versuch 1, 2 und 3.

Dies ergibt sich daraus, dass der Warmwasserverbrauch steigt, weil alle Personen zu Hause sind und die Wärme nutzen.

Daraus erschließt sich, dass der Unterschied zwischen High Flow und Low Flow System entgegen der Erwartung nicht allzu groß ist.

Die Optimierung der Vor- und Rücklauftemperatur sowie der Speicher- und Brenner-Solltemperatur verursachen eine Verbesserung und eine Senkung der mittleren Speichertemperatur.

Die Größe (DP) wird für die Berechnung der solaren Deckungsrate benötigt. Diese wird mittels Excel berechnet. Dazu wird die Summe über die Werte von DP1, also der Wärmemenge im Kollektorkreis, gebildet. Dies auch wird für DP3, der Wärmemenge der Nachheizung, berechnet. Die Solare Deckungsrate ist mit der Formel  $\frac{DP1}{DP1+DP3}$  zu berechnen.

#### Versuch 1:

Wärmemenge Kollektorkreis (DP 1)	506,69 MJ = 140,75 kWh
Wärmemenge konventionelle Nachheizung (DP 3)	514,27 MJ = 142,85 kWh
Solare Deckungsrate = $\frac{DP1}{DP1+DP3} = \frac{506,69 \text{ MJ}}{506,69 \text{ MJ}+514,27 \text{ MJ}} =$	0,49 = 49%
Anzahl Kesselstarts	8

Tabelle 1: Versuch 1

#### Versuch 2:

Wärmemenge Kollektorkreis (DP 1)	578,69 MJ = 160,75 kWh
Wärmemenge konventionelle Nachheizung (DP 3)	451,28 MJ = 125,36 kWh
Solare Deckungsrate = $\frac{DP1}{DP1+DP3} = \frac{578,69 \text{ MJ}}{578,69 \text{ MJ}+451,28 \text{ MJ}} =$	0,56 = 56%
Anzahl Kesselstarts	8

Tabelle 2: Versuch 2

#### Versuch 3:

Wärmemenge Kollektorkreis (DP 1)	591,41 MJ = 164,28 kWh
Wärmemenge konventionelle Nachheizung (DP 3)	369,98 MJ = 102,77 kWh
Solare Deckungsrate = $\frac{DP1}{DP1+DP3} = \frac{591,41 \text{ MJ}}{591,41 \text{ MJ}+369,98 \text{ MJ}} =$	0,61 = 61%
Anzahl Kesselstarts	9

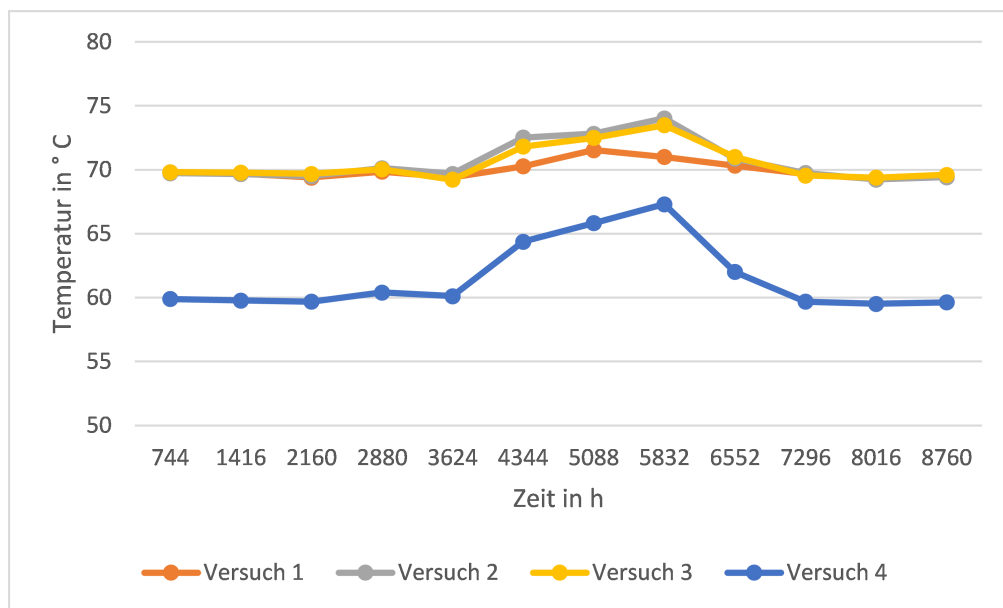
Tabelle 3: Versuch 3

**Versuch 4:**

Wärmemenge Kollektorkreis (DP 1)	621,78 MJ = 172,72 kWh
Wärmemenge konventionelle Nachheizung (DP 3)	344,46 MJ = 95,68 kWh
Solare Deckungsrate = $\frac{DP1}{DP1+DP3} = \frac{621,78 \text{ MJ}}{621,78 \text{ MJ}+344,46 \text{ MJ}} =$	0,64 = 64%
Anzahl Kesselstarts	9

**Tabelle 4:** Versuch 4

Bei allen vier Versuchen ist die Kesseltaktung sehr ähnlich und liegt zwischen acht bis neun Kesselstarts. Dies ist verwunderlich, da gleichzeitig die solare Deckungsrate vom ersten zum vierten Versuch immer weiter ansteigt. Im gleichen Zuge wird die benötigte Wärmemenge der konventionellen Nachheizung immer geringer und die produzierte Wärmemenge im Kollektorkreis immer größer. Aufgrund dieser Parameter ist klar ersichtlich, dass das Low-Flow System zu erheblichen Einsparungen führt. So kann die solare Deckungsrate durch Umstellung auf ein Low-Flow System mit veränderten Systemparametern für die konventionelle Nachheizung und Speicherung die solare Deckungsrate um 15 % erhöhen.

**4.2 Jahressimulation****Abbildung 2:** Vergleich der mittleren Speichertemperaturen der vier Versuche für die Jahressimulation

Die Jahressimulation zeigt die mittlere Speichertemperatur des thermischen Speichers für Monatsenden eines Jahres auf. Dabei werden die vier Versuche miteinander verglichen. Erkennbar ist, dass die Graphen von Versuch 1-3 in den kälteren Monaten der Soll-Temperatur von 70 °C folgen, der Graph von Versuch 4 in gleichen Monaten der Soll-Temperatur von 60 °C entspricht. In dem Zeitraum Ende Mai (3624 h) bis Ende Oktober (6552 h) übersteigt die mittlere Speichertemperatur die Soll-Vorgaben. Zu erklären ist dies mit der erhöhten solaren Wärmemenge in diesen Monaten sowie einem reinen Trinkwarmwassergebrauch. Dabei

ist der Anstieg der mittleren Speichertemperatur bei Versuch 4 stärker als in den anderen Versuchen, da hierbei generell mit einer geringeren Soll-Temperatur gearbeitet wird. In der Heizperiode hingegen wird der Speicher durch eine Hysterese-Regelung auf einer voreinstellbaren mittleren Temperatur gehalten, um den Heizbedarf sicher zu stellen.

#### 4.2.1 Berechnung

##### Versuch 1:

Wärmemenge Kollektorkreis (DP 1)	17,976 GJ = 4993 kWh
Wärmemenge konventionelle Nachheizung (DP 3)	27,539 GJ = 7650 kWh
Solare Deckungsrate = $\frac{DP1}{DP1+DP3} = \frac{17,976 \text{ GJ}}{17,976 \text{ GJ}+27,539 \text{ GJ}} =$	0,3950 = 39,5%
Anzahl Kesselstarts	537

**Tabelle 5:** Versuch 1

##### Versuch 2:

Wärmemenge Kollektorkreis (DP 1)	20,848 GJ = 5791 kWh
Wärmemenge konventionelle Nachheizung (DP 3)	25,850 GJ = 7181 kWh
Solare Deckungsrate = $\frac{DP1}{DP1+DP3} = \frac{20,848 \text{ GJ}}{20,848 \text{ GJ}+25,850 \text{ GJ}} =$	0,4464 = 44,6%
Anzahl Kesselstarts	501

**Tabelle 6:** Versuch 2

##### Versuch 3:

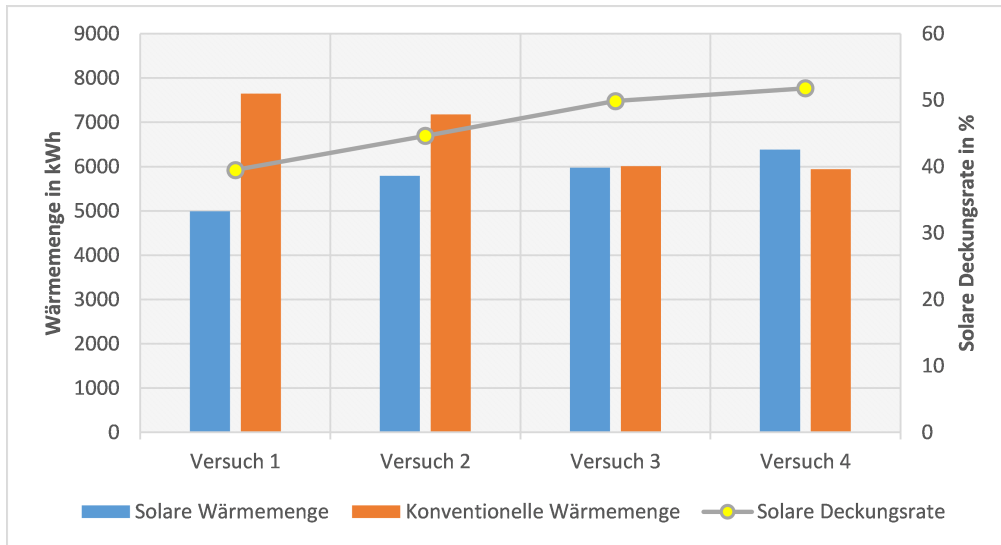
Wärmemenge Kollektorkreis (DP 1)	21,514 GJ = 5976 kWh
Wärmemenge konventionelle Nachheizung (DP 3)	21,629 GJ = 6008 kWh
Solare Deckungsrate = $\frac{DP1}{DP1+DP3} = \frac{21,514 \text{ GJ}}{21,514 \text{ GJ}+21,629 \text{ GJ}} =$	0,4986 = 49,9%
Anzahl Kesselstarts	516

**Tabelle 7:** Versuch 3

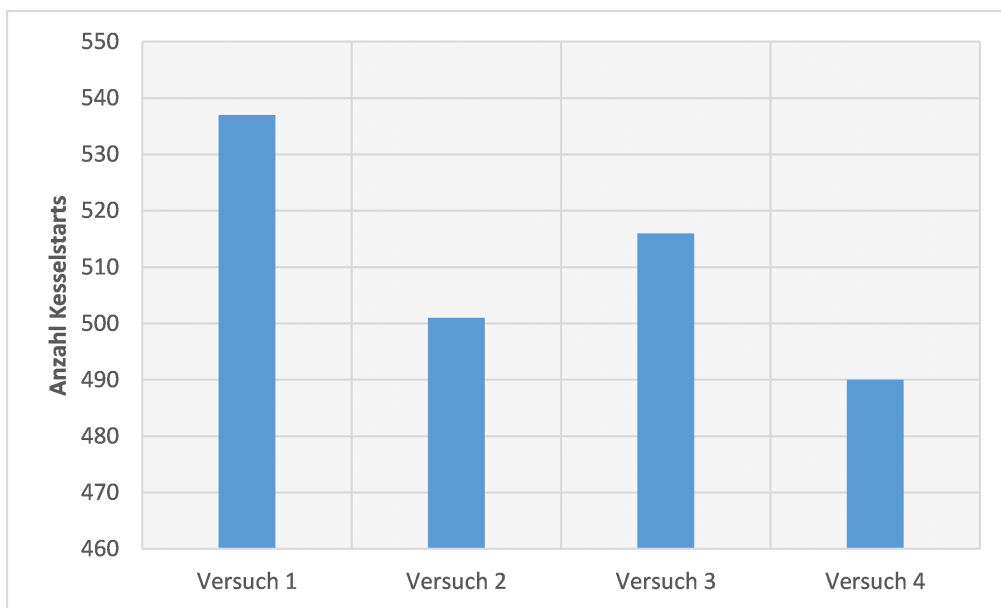
##### Versuch 4:

Wärmemenge Kollektorkreis (DP 1)	22,989 GJ = 6386 kWh
Wärmemenge konventionelle Nachheizung (DP 3)	21,390 GJ = 5942 kWh
Solare Deckungsrate = $\frac{DP1}{DP1+DP3} = \frac{22,989 \text{ GJ}}{22,989 \text{ GJ}+21,390 \text{ GJ}} =$	0,5180 = 51,8%
Anzahl Kesselstarts	490

**Tabelle 8:** Versuch 4



**Abbildung 3:** Vergleich der solaren Wärmemenge, der konventionellen Wärmemenge und der solaren Deckungsrate der vier Versuche



**Abbildung 4:** Vergleich der Anzahl der Kesselstarts der vier Versuche

Versuch 1 im High-Flow Betrieb zeigt die geringste solare Deckungsrate von allen, das heißt, dass vor allem konventionell nachgeheizt werden muss. Ebenso ist hier die Anzahl der Kesselstarts mit 537 im Jahr am höchsten. Durch einen Wechsel auf ein Low-Flow-Schichtenladesystem kann die Anzahl der Kesselstarts stark reduziert und die solare Deckungsrate gesteigert werden. Durch Erhöhung des unteren Double Ports von 0,2 auf 0,6 kommt es zu einem etwa ausgeglichenen Verhältnis von solarer und konventioneller Wärmemenge, der solare Deckungsgrad beträgt 49,9 %. Die Anzahl der Kesselstarts hat sich jedoch bei Versuch 3 wieder erhöht. Der letzte Schritt (Versuch 4) beinhaltet ein Herabsetzen der Parameter Speicher-Solltemperatur, Brenner-Solltemperatur, Vorlauf- und Rücklaufftemperatur. Es zeigen sich positive Effekte: die Kesseltaktung nimmt den geringsten Wert von 490

an und die solare Deckungsrate steigt auf den höchsten Wert von 51,8 %. Somit lässt sich zusammenfassend sagen, dass Versuch 4 die optimale Lösung darstellt.

## Literaturverzeichnis

- [1] Volker Quaschnig. *Regenerative Energiesysteme*. Hanser Verlag, 2011.