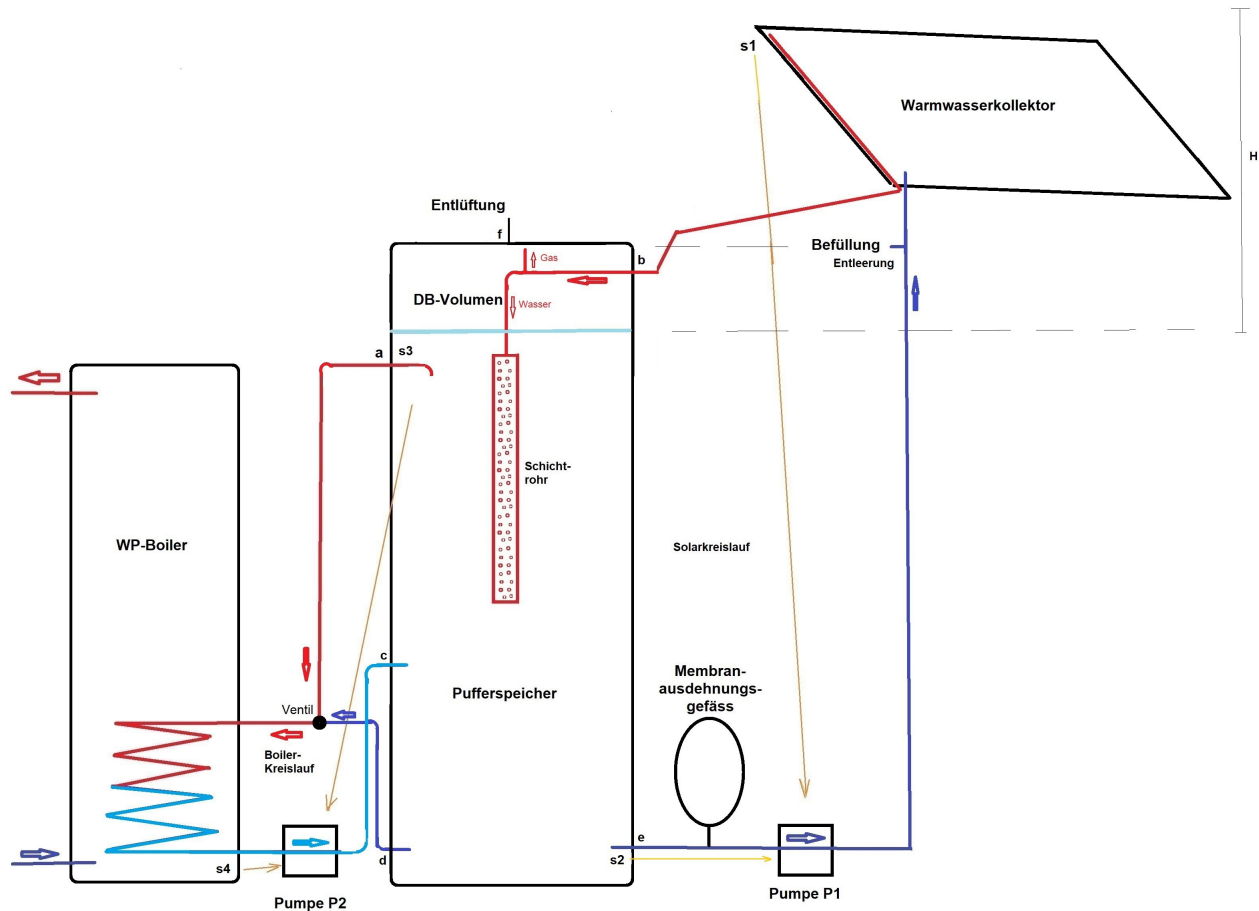


Warmwasserkollektoren „Drainback Prototyp Bruno“

(Stand: 30. Juli 2023)



blau=kaltes Wasser; rot=heisses Wasser; s=Temperatursensoren; orange=Informationsfluss

1. Funktionsweise

Sowohl der Boilerkreislauf wie der Solarkreislauf sind mit demselben Wasser und Korrosionsschutz-Zusatz gefüllt. Im oberen Teil des Pufferspeichers befindet sich das Drainback-Volumen, in das das Wasser des Kollektors bei tiefer Kollektortemperatur und bei Gefahr der Überhitzung per Schwerkraft zurückfließt.

Start und Betrieb der Anlage: Wenn der Kollektor genügend warm ist, wird die Pumpe P1 eingeschaltet; das im Kollektor befindliche Gas wird dann in den Pufferspeicher gedrückt bzw. gesaugt, und die Kollektoren füllen sich mit Wasser aus dem unteren Bereich des Pufferspeichers. Im Kollektor wärmt sich das Wasser auf und fließt zurück zum Pufferspeicher. Mit dem Boilerkreislauf wird das heiße Wasser in den WP-Boiler transportiert. Wenn dieses Wasser für den WP-Boiler zu heiß ist, wird es vorher im Ventil mit kühlerem oder kaltem Wasser gemischt. Der Rücklauf mündet in den mittleren Teil des Pufferspeichers, weil es in der Regel wärmer ist als das Wasser im unteren Teil des Pufferspeichers.

Frost- und Überhitzungsschutz: Wenn der Kollektor zu kalt oder zu heiß ist, dann schaltet die Pumpe P1 aus, womit das Wasser im Kollektor per Schwerkraft zurück in den Pufferspeicher fließt; der Kollektor füllt sich mit Gas aus dem Pufferspeicher.

2. Vor- und Nachteile

Vorteile: Der Pufferspeicher braucht keine Wärmetauscher und ist daher kostengünstiger; die Speicherung und der Wärmetransfer erfolgen lediglich mit einem einzigen Medium und ohne Glykol, welches die Leistung der Pumpen und die Speicherkapazität reduzieren und die Umwelt

belasten würde. Die Steuerung der Pumpen ist einfach mittels je zwei Thermosensoren. Es braucht nur wenige, wartungsarme und betriebssichere Bestandteile. Der Pufferspeicher wird von oben nach unten geschichtet aufgeheizt. Die Pumpe P1 muss nur laufen, wenn Solarstrom vorhanden ist. Keine der Pumpen muss heisses Wasser fördern, was deren Lebensdauer verlängert. Die Inbetriebnahme ist einfach, die Anlage im Betrieb wartungsarm. Die Anlage braucht keinen minimalen Betriebsdruck.

Nachteile: Die Verbindungsrohre vom Pufferspeicher zum höchsten Punkt des Kollektors dürfen ausschliesslich Steigungen aufweisen, die Verbindungsrohre vom höchsten Punkt des Kollektors zum Pufferspeicher nur Gefälle. Es muss eine positive Höhendifferenz zwischen Pufferspeicher und Kollektor bestehen; wenn diese Höhendifferenz aber gross ist, muss die Pumpe P1 leistungsfähig sein und braucht dann relativ viel elektrische Energie. Eine gute Isolation des Solarkreislaufs gegen Wärmeverlust ist sehr wichtig. Geringe Sonneneinstrahlung wird nur verzögert genutzt. Die korrekte, fehlerfreie Installation ist wichtig; bei kleinsten Fehlern funktioniert die Anlage nicht. Selbstentleerende Warmwasserkollektoren werden nur von wenigen Firmen angeboten. Der Pufferspeicher muss speziell angefertigt werden. Eine nachträgliche Erweiterung der Anlage ist mit technischen Schwierigkeiten verbunden.

3. Beschreibung der Anlageteile

Speichermedium: Es besteht aus entionisiertem Leitungswasser mit Korrosionsschutz-Zusatz, wie es auch in normalen Heizkreisläufen verwendet wird.

Gas im Solarkreislauf: Die Luft soll zur Verminderung von Korrosion bei der Inbetriebnahme durch N₂ ersetzt werden.

Warmwasserkollektor: Mit ausschliesslich aufsteigenden bzw. absteigenden (mind. 2% Steigung/Gefälle) Kupferrohren mit Innendurchmesser von mind. 10 mm, auf Kupferblechstreifen von 10 cm Breite und 0.5 mm Dicke geschweisst, in einem wetterfesten Rahmen; unten Thermo-Isolation, oben schlagfestes, möglichst thermoisolierendes, möglichst wenig reflektierendes Glas mit Abstand 10-30 mm zur Absorberfläche; mit Temperatursensor s1 am höchsten Punkt. Die richtige Dimensionierung des Kollektors ist sehr wichtig, um eine Überhitzung der Anlage zu vermeiden.

Bsp.: In meinem Fall hat der Kollektor ein Aussenmass von 115 mm x 2300 mm x 4095 mm, Absorberfläche 8.4 m², mit Vor- und Rücklauf vorne links auf der Unterseite des Kollektors; Eindeckrahmen: oben Anschluss an Fassade, unten Anschluss an Dachrinne, Eindeckrahmen seitlich (?). Die Steigung von vorne nach hinten beträgt 10.13%, die Steigung von links nach rechts 8%, Exposition 105° (ESE). Das Dach muss folgendermassen angepasst werden: vorne links: Höhe Oberkante des Türsturzes (=Höhe 0); vorne rechts: Höhe +31.4 cm; hinten links: Höhe + 22 cm; hinten rechts: Höhe + 53.4 cm. Material: 6 Balken 9 cm x 9 cm x 230+5 cm (Abstand ca. 80 cm), 9 Dachlatten 2.4 cm x 4.8 cm x 400 cm (Abstand ca. 33 cm).

Vorlauf des Solarkreislaufs: Aus thermisch isoliertem Kupferrohr, nur aufsteigend (Steigung mind. 2%); Durchmesser 3/4", möglichst geringe Distanz. Er soll einen Einfüll-Stutzen knapp unterhalb des obersten Teils des Pufferspeichers aufweisen.

Rücklauf vom Solarkreislauf: Aus thermisch isoliertem Kupferrohr, nur absteigend (Gefälle mind. 2%); Durchmesser 3/4", möglichst geringe Distanz.

Pufferspeicher: Zylinderförmig, möglichst schlank und hoch, möglichst aus rostfreiem Material, thermisch isoliert; Grösse in Abhängigkeit der Kollektorgrösse, des WP-Boilers, des Drainback-Volumens und des Warmwasserbedarfs. Die richtige Dimensionierung des Pufferspeichers ist sehr wichtig, damit eine Überhitzung des Kollektors vermieden werden kann.

Anschlüsse oben: a) Heisswasser-Ausgang 3/4" oder 1" unterhalb des tiefstmöglichen Wasserspiegels, d.h. im Betriebszustand des Solarkreislaufs (allenfalls durch eine Krümmung des Rohrs nach unten zu erreichen), mit Temperatursensor s3 zur Steuerung der Pumpe P2. b) Heisswassereingang 3/4" zum Schichtrohr, mit Gasentlüftungsrohr bis zum obersten Punkt des Pufferspeichers.

Anschluss Mitte: c) Kühlwassereingang 3/4" oder 1" von Pumpe P2, möglichst turbulenzarm.

Anschlüsse unten: d) Kaltwasser-Ausgang 3/4" oder 1" zum Dreiwegventil. e) Kaltwasserausgang 3/4" zur Pumpe P1 mit Sensor s2.

f) Entlüftungsventil ganz oben im Pufferspeicher.

Berechnung der maximalen Grösse des Pufferspeichers: Sie ist in erster Linie vom Heisswasserbedarf im Sommer abhängig, ausserdem von der zur Verfügung stehenden Kollektorfläche, deren Qualität (Neigungswinkel, Beschattung, Reflexion, Isolation etc.) und dem Wirkungs-

grad der Anlage. Die Sonne liefert ca. 1'000 W pro Quadratmeter, womit theoretisch innert einer Stunde ca. 11.5 Liter Wasser von 15°C auf 90°C erhitzt werden können*. Die maximale täglich produzierbare Warmwassermenge berechnet sich folgendermassen:
Heisswassermenge = $0.11 \times \text{Kollektorfläche [m}^2] \times \text{tägliche Einstrahlung [h]} \times \text{Wirkungsgrad [\%]}$.
Bsp.: Ein Kollektor von 9 m² Fläche produziert innert 3 Stunden voller Sonneneinstrahlung und einem Wirkungsgrad von 33% (?) maximal 102 Liter heisses Wasser von 90°C; ein 1'000 Liter-Pufferspeicher wäre also unter diesen Bedingungen innert zehn Sonnentagen voll aufgeheizt, wenn ihm in dieser Zeit keine Wärme entzogen würde.

* <https://gettopics.com/de/calc/wasser-erhitzen-energie-rechner>

Geschätzter täglicher Bedarf an Warmwasser: Pro Person und Tag wird in der Regel mit einem Warmwasserbedarf von 60 Liter von 45°C gerechnet, was einer Heisswassermenge von 24 Litern von 90°C entspricht. Bsp: Acht Personen benötigen also täglich ca. 192 Liter heisses Wasser von 90°C. Der oben genannte Kollektor mit einer Fläche von 9 m² und einer Sonnenscheindauer von 3 Stunden könnte also maximal die Hälfte des Warmwasserbedarfs von 8 Personen decken.

Berechnung des Drainback-Volumens: Es entspricht dem Solarkreisvolumen oberhalb des Einfüllstutzens, also dem Kollekturvolumen und seiner zu- bzw. wegführenden Rohre. Ich empfehle eine grosszügige Reserve. Bsp: Kollektoren Variosol E haben ein Kollekturvolumen von 0.6 l/m²; bei einer Kollektorfläche von 9.64 m² entspricht dies einem Volumen von ca. 6 Litern. Für Vor- und Rücklauf (20 m à 1") rechne ich mit zusätzlich 8 Litern. Ein Drainback-Volumen von 20 Litern sollte demnach ausreichen.

Pumpe P1: Eine Pumpe, die durch Druckunterschiede hocheffizient gesteuert wird, ist nicht sinnvoll, weil bei höchstem Druck (Startphase) die maximale Leistung erbracht werden soll. Es darf eine Nassläuferpumpe sein, sie darf weder hydraulischen Widerstand noch ein Rückschlagventil enthalten, mit minimaler Förderhöhe H, maximale Temperatur 65°C. Standort möglichst nahe beim Pufferspeicher. Gesteuert wird die Pumpe durch die Sensoren s1 und s2: Je höher die Temperatur bei s1, desto höher die Fördermenge. Dies kann erreicht werden mit Verwendung einer Pumpe mit 0 -10 V Ansteuersignal für Pumpendrehzahl oder Verwendung einer Pumpe mit pwm-Ansteuersignal. Bei Verwendung des Steuergeräts Steca TR A502 TT U muss das Stromkabel zur Pumpe einen Aussendurchmesser von 6.5-10 mm aufweisen, massiver Kupferdraht > 2.5 mm², sonst > 1.5 mm².

Berechnung der maximalen Förderleistung der Pumpe P1: Die Pumpe muss in der Lage sein, in der Startphase das Drainback-Volumen innert ca. 3-5 Minuten umzusetzen. Bei maximaler Sonneneinstrahlung soll sie ausserdem in der Lage sein, die gesamte von der Sonne gelieferte Energie abzutransportieren, um eine Überhitzung des Kollektors zu verhindern.

Bsp.: In meinem Fall sollen in der Startphase also 20 Liter Wasser innert 3 Minuten umgesetzt werden können, d.h. 6 Liter pro Minute oder 360 Liter pro Stunde. Bei voller Sonneneinstrahlung werden bei einem theoretischen Wirkungsgrad von 100% 310 Liter heisses Wasser in 3 Stunden produziert, also ca. 103 Liter pro Stunde. Einerseits ist der tatsächliche Wirkungsgrad aber tiefer, andererseits ist die Wassertemperatur tiefer als 90°C, und das von der Pumpe gelieferte Wasser ist oft wärmer als 15°C, weshalb eine grosszügige Reserve eingebaut werden soll. In der Betriebsphase rechne ich daher mit einer maximalen Pumpenleistung von 480 Litern pro Stunde oder 8 Litern pro Minute.

Membranausdehnungsgefäss: Dieses Gefäss dient lediglich der Vermeidung von zu hohem Anlagedruck bei der Ausdehnung der Speichermedien, nicht der Aufrechterhaltung eines Minimaldrucks. Die Anlage benötigt keinen Überdruck.

Berechnung der notwendigen Grösse des Membranausdehnungsgefässes: Die kalte Anlage (bei Inbetriebnahme und ev. Im Winter) besteht aus dem Wasser des Pufferspeichers und der Rohre unterhalb des Einfüllstutzens, ausserdem aus dem Gas oberhalb des Einfüllstutzens. Ich gehe von einer tiefsten Anfangstemperatur von 15°C aus. Das Wasser kann maximal auf eine Temperatur von 90°C aufgeheizt werden, das Gas auf 120°C (gemäss Schlussbericht ReSoTech2 vom 19.6.2020, S. 11). Beide Medien dehnen sich dabei aus. Die Ausdehnung von Wasser wird berechnet, indem das Wasservolumen mit dem Faktor 0.0349 multipliziert wird*. Die Ausdehnung des Gases wird berechnet, indem das Volumen mit der Temperaturdifferenz multipliziert und durch den Quotienten 273.15 geteilt wird**. In der Regel wird die Grösse des Membranausdehnungsgefässes mit 10% des Wasservolumens angegeben.

Bsp: Bei einem Wasservolumen von 1'000 Litern und einem Gasvolumen von 20 l beträgt das Volumen, das durch das Expansionsgefäss aufgenommen werden können muss, 34.9 Liter + 7.6 Liter = 42.6 Liter. 10% des Wasservolumens entsprechen ca. 100 Liter. Ein Expansionsgefäss von 120 Liter Gesamtvolumen sollte daher ausreichen. Auf dem Markt werden Expansionsgefässe von 120 Liter Gesamtvolumen nicht angeboten, daher fällt die Wahl auf ein Expansionsgefäss mit 150 Liter Gesamtvolumen.

* http://bosy-online.de/Schwerkraftheizung/Ausdehnung_von_Wasser_bei_Erwaermung.htm

Wärmepumpen-Boiler: Mit Wärmetauscher in der unteren Hälfte, mit Temperatursensor s4 unten beim Ausgang des Wärmetauschers, Standort möglichst in der Nähe des Pufferspeichers, damit die Abwärme des Pufferspeichers genutzt werden kann und die Leitungen kurz gehalten werden können. Grösse gemäss Warmwasserbedarf im Gebäude und Grösse des Pufferspeichers. An der Steuerung des WP-Boilers muss grundsätzlich nichts verändert werden. Er kann aber manuell ausgeschaltet werden, wenn der Warmwasserkollektor voraussichtlich genügend Leistung erbringt, z.B. im Sommer. Bei genügender Leistung des Warmwasserkollektors kann der WP-Boiler so programmiert werden, dass er (wenn mit Solarstrom betrieben), nicht schon vormittags, sondern erst am Nachmittag einschaltet, also dann, wenn der Warmwasserkollektor keine Leistung mehr erbringen kann. Wenn der WP-Boiler nicht mit Solarstrom betrieben wird, soll er nur im Zeitfenster des Nachttarifs eingeschaltet sein.

Bsp.: In meinem Fall hat der WP-Boiler ein Volumen von 278 Liter für drei Vierzimmerwohnungen bzw. max. 8 Bewohner. (WP-Boiler mit über 300 Liter Inhalt sind unverhältnismässig teuer und bedürfen einer Trennung zwischen Speicher und Wärme-Aggregat.) Weil der WP-Boiler mit 300 Litern eher knapp bemessen ist, soll diese Anlage durch Solarwärme und einen Pufferspeicher ergänzt werden.

Pumpe P2: Standard-Nassläufer-Umwälzpumpe. Maximale Temperatur: 65°C. Die Förderhöhe kann minimal sein, weil sich sowohl Vor- wie Rücklauf im ca. 2 m hohen Pufferspeicher befinden. Ihr Standort befindet sich zwischen dem unteren Teil des WP-Boilers und dem unteren Teil des Pufferspeichers. Gesteuert wird die Pumpe mit einem Temperaturdifferenzregler durch die Sensoren s3 und s4 (wobei s4 durch das Ventil beeinflusst wird): Einschalten bei hoher Temperaturdifferenz, ausschalten bei tiefer Temperaturdifferenz. Bei Verwendung des Steuergeräts Steca TR A502 TT U muss das Stromkabel einen Aussendurchmesser von 6.5-10 mm aufweisen, der massive Kupferdraht > 2.5 mm², sonst > 1.5 mm². Die Förderleistung kann konstant bleiben, d.h. nur „ein“ oder „aus“. Die erforderliche Förderleistung berechnet sich anhand der im Kollektor produzierten Energiemenge bzw. dem Warmwasserbedarf im Haus. Eine zu starke Durchflussgeschwindigkeit bewirkt ein unerwünschtes häufiges Ein- und Ausschalten der Pumpe und vergrössert unerwünschte Turbulenzen im Pufferspeicher. Wenn die Pumpe nicht genügend stark sein sollte, so kann das Zeitfenster des Betriebs vergrössert werden.

Berechnung der notwendigen Förderleistung der Pumpe P2: Die Pumpe soll mindestens in der Lage sein, entweder die im Kollektor produzierte Energiemenge oder aber die Energiemenge des Warmwasserbedarfs abzutransportieren. Zur Berechnung wird eine Temperaturdifferenz zwischen s3 und s4 (Δs) von 10°C (bedingt durch die Steuerung) und 40°C (bedingt durch das Dreiwegventil) angenommen.

Bsp.: Berechnung gemäss Produktion: Der Kollektor von 9 m² Fläche ist - bei einem angenommenen Wirkungsgrad von 33% - in der Lage, täglich 102 Liter Wasser von 15°C auf 90°C zu erwärmen; dies entspricht einer Energiemenge, die nötig ist, um 765 Liter Wasser (im schlechtesten Fall) um 10°C oder 192 Liter Wasser (im besten Fall) um 40°C zu erwärmen. Je nach Δs muss die Pumpe also täglich 192 bis 765 Liter Wasser umwälzen können. Wenn die Pumpe während 3 Stunden täglich in Betrieb ist, dann beträgt die notwendige Förderleistung der Pumpe P2 255 l/h oder 4.25 l/min.

Berechnung gemäss Bedarf: Der geschätzte tägliche Warmwasserbedarf von 8 Personen beträgt 192 Liter à 90°C; dies entspricht einer Energiemenge, die nötig ist, um 1'440 Liter Wasser um 10°C oder 360 Liter Wasser um 40° zu erwärmen. Je nach Δs muss die Pumpe also täglich 360 bis 1'440 Liter Wasser umwälzen können, um den ganzen Bedarf zu decken. Wenn die Pumpe während 3 Stunden täglich in Betrieb ist, dann beträgt die Förderleistung der Pumpe P2 480 l/h oder 8 l/min. Da diese Energiemenge gar nicht zur Verfügung steht, gilt der Wert gemäss Produktion, d.h. die Pumpe P2 muss 4.25 l/min umwälzen können.

Thermisches Mischventil: Das Wasser im Pufferspeicher kann eine Temperatur von bis zu 90°C erreichen, und es wäre mit Störungen der Steuerung des WP-Boilers zu rechnen. Im Mischventil wird dieses heisse Wasser daher mit Wasser aus dem unteren Teil des Pufferspeichers gemischt, so dass das in den Wärmetauscher fliessende Wasser nicht höher als die Maximaltemperatur des WP-Boilers hat (65°C). Das Kühlwasser hat eine Maximaltemperatur von 60°C (wegen der Steuerung der Pumpe P1), womit eine ausreichende Mischung gewährleistet ist (siehe auch Steuerung der Pumpe P2).

Elektrische Anschlüsse: Für die gesamte Anlage braucht es elektrische Anschlüsse für den WP-Boiler sowie für das Steuergerät. Die Stromversorgung der Pumpen erfolgt über das Steuergerät. Alle diese Anschlüsse brauchen nur tagsüber (Solar-) Strom, nachts befinden sie sich im Standby-Modus, damit sie die Programmierung nicht verlieren.

Temperatursensoren s1, s2, s3 und s4: Sie sollen die Temperatur an der platzierten Stelle messen und dieses Signal an das Steuergerät übermitteln. Der Sensor s1 ist zeitweise von Gas,

zeitweise von Wasser umgeben, sein Verbindungskabel zum Steuergerät muss ausserdem lang sein. Die übrigen Sensoren sind stets von Wasser umgeben, und die Verbindungskabel zum Steuergerät sind kurz. Bei Verwendung des Steuergeräts Steca TR A502 TT U sind nur pt1000-Sensoren erlaubt. Wenn das Steuergerät Steca TR A502 TT U verwendet wird, müssen Kabelverlängerungen von weniger als 10 m paarweise miteinander verdrehte Adern aufweisen (*twisted-pair conductor*, S. 54).

Steuergerät: Es muss in der Lage sein, die beiden Pumpen P1 und P2 korrekt zu steuern, damit möglichst wenig Energie verloren geht und die Anlage keinen Schaden nimmt. Bei einem kurzfristigen Stromausfall darf die Programmierung nicht verloren gehen. Das Steuergerät Steca TR A502 TT U muss nach einem Stromausfall von über 15 Minuten neu eingestellt werden; sein Stromverbrauch beträgt ca. 1 Watt (<0.8 Watt bei Verwendung von 2 Temperatursensoren). Standort: An die Wand montiert in der Nähe des Pufferspeichers, bevorzugt zwischen Pufferspeicher und Kollektor, in der Nähe einer Steckdose.

Steuerung der Pumpe P1: Sie ist nur eingeschaltet in einem zu definierenden Temperaturintervall, und zwar innerhalb dieses Intervalls mit zunehmender Fördermenge bei zunehmender Temperatur bei s1. Unterhalb des Temperaturminimums ist die Pumpe ausgeschaltet (Vermeidung der Abkühlung des Pufferspeichers und Frostschutz), oberhalb des Temperaturmaximums schaltet sie aus, damit der Solarkreislauf nicht überhitzt wird. Wenn s1 nach der Startphase kurz unter die Grenze von 50°C fällt, so soll die Pumpe P1 in einer Stabilisierungsphase nur mit zu definierender Verzögerung ausschalten. Damit wird ein rasches Ein- und Ausschalten der Pumpe P1 bei kurzer Bewölkung und beim Füllen des Kollektors vermieden. Wenn der Sensor s2 eine zu definierende Temperatur übersteigt, wird die Pumpe P1 ausgeschaltet. Damit wird einer Überhitzung der Anlage vorgebeugt und die Pumpe vor Betrieb mit heissem Wasser verschont.

Bsp. Steuerung der Pumpe P1 mit dem Steuergerät von Steca TR A502 TT U: System: 0.1. Mit der Funktion F:01 „**Drainback**“ (Kap. 10.3.1.) wird zwischen 4 aufeinanderfolgenden Phasen unterschieden: 1. Phase „Füllung“: Sobald im Sensor s1 die gewünschte Temperatur erreicht ist, läuft die Pumpe P1 während der gewählten Zeit, die notwendig ist, um den Kollektor mit Wasser zu füllen. 2. Phase „Stabilisierung“: Die Pumpe läuft - unabhängig von der Temperatur von s1 - eine einstellbare Zeit lang weiter; wenn eine Pumpe mit Geschwindigkeitsregulierung gewählt wird, dann geschieht dies mit reduzierter Geschwindigkeit. Nach der gewünschten Stabilisierungszeit läuft die Pumpe weiter gemäss Signal von s1 innerhalb des ausgewählten Temperaturintervalls. 3. Phase „Drain“: Bei einer einstellbaren Maximaltemperatur von s1 wird die Pumpe ausgeschaltet und bleibt während einer einstellbaren Zeit ausgeschaltet, bis der Kollektor vollständig entleert wird. 4. Phase „Kurzstart nach Drain“: Wenn diese Phase aktiviert wird, dann schaltet die Pumpe nach der Phase „Drain“ nochmals kurz ein, um die vollständige Kollektorentleerung sicherzustellen. Eingestellt werden folgende Parameter: Maximal- und Minimaltemperatur bei Sensor s1, Maximaltemperatur im Sensor s2, Kollektorfüllzeit, Stabilisierungszeit, Drainzeit, Kurzstartzeit, Pumpentyp und Pumpengeschwindigkeit.

Steuerung der Pumpe P2: Sie schaltet in einem zu definierenden Zeitfenster dann ein, wenn die Temperaturdifferenz zwischen s3 und s4 (Δs) einen zu definierenden Wert übersteigt, sonst ist sie ausgeschaltet. Die Temperatur bei s3 kann wegen der Steuerung der Pumpe P1 maximal 90°C betragen, die Temperatur bei s4 kann zwischen 15°C (bei Kaltwassereinlass in den WP-Boiler) und 65°C (wegen des thermischen Mischventils) variieren. Δs und die Grösse des Zeitfensters sollen in Abhängigkeit des Warmwasserbedarfs, der Kollektorleistung und der Leistung der Pumpe P2 ausprobiert werden. Wenn Δs zu klein ist, wird die Pumpe P2 zu häufig eingeschaltet, wenn Δs zu gross gewählt wird, schaltet die Pumpe P2 zu selten ein, und das Mischventil wird zu häufig geöffnet.

Bsp. Steuerung der Pumpe P2 mit dem Steuergerät Steca TR A502 TT U: System: 0.1. Mit der Funktion F:08 „**Differenzialthermostat**“ (Kap. 10.3.8.); es steuert sowohl Standard- wie auch Hocheffizienzpumpen an. Angegeben können der Pumpentyp, die erwünschte Förderleistung, Δs zum Einschalten der Pumpe, Δs zum Ausschalten der Pumpe, die maximale Temperatur im Wärmetauscher ($s4 < 60^\circ\text{C}$) und die maximale Temperatur im oberen Teil des Pufferspeichers (z.B. 90°C); auch bis zu 3 Zeitfenster für die Pumpeneinschaltung können eingegeben werden (z.B. täglich von 15 Uhr bis 17 Uhr, wenn der Warmwasserkollektor im Schatten ist, die PV-Anlage aber noch Energie liefert).

4. Extreme Situationen der Anlage, Konsequenzen und Lösungen

Frost: Wenn der Sensor s1 eine Temperatur unter 50°C anzeigt, ist die Pumpe P1 ausgeschaltet und damit alle frostgefährdeten Anlageteile ohne Wasser.

Überhitzung: Grundsätzlich können alle Anlageteile in Extremsituationen überhitzt werden. Allerdings kann dies durch geeignete Programmierung der Anlagensteuerung verhindert werden, abgesehen vom Warmwasser-Kollektor, der auch bei perfekter Steuerung der Sonneneinstrahlung ausgesetzt bleibt. Einerseits soll der Kollektor daher möglichst hitzeresistent sein, andererseits soll eine Überhitzung der Anlage vermieden werden durch korrekte Dimensionierung von Pufferspeicher und Kollektor sowie regelmässigen Gebrauch von Warmwasser. Überhitzung kann in verschiedenen Situationen auftreten:

- wenn die Pumpe P1 zu wenig leistungsfähig ist in Bezug auf die Kollektorgrosse. In diesem Fall wird die Pumpe P1 durch den Sensor s1 ausgeschaltet und der Kollektor entleert, womit danach auftreffende Sonnenenergie nicht mehr verwertet werden kann. Die Pumpe P1 wird erst dann wieder einschalten, wenn s1 einen Wert von unter 90°C anzeigt, d.h. nach Bewölkung, Beschattung des Kollektors oder am Folgetag.
- wenn die Pumpe P2 zu wenig leistungsfähig ist in Bezug auf die Kollektorgrosse: In diesem Fall wird dem Pufferspeicher mehr Wärme zugeführt, als die Pumpe P2 abzuführen vermag. Das Zeitfenster für den Betrieb der Pumpe P2 kann dann vergrössert werden, allenfalls auch in den Abend hinein.
- wenn der Pufferspeicher mit heissem Wasser gefüllt ist (oben 90°C, unten 60°C). In diesem Fall wird der Sensor s2 die Pumpe P1 ausschalten. Der Pufferspeicher erhält dann keine Wärme mehr, der Kollektor wird entleert, aber weiterhin erhitzt. Die Pumpe P1 wird erst wieder einschalten, wenn dem WP-Boiler Warmwasser entnommen wird und im Kollektor eine Temperatur zwischen 50°C und 90°C herrscht.
- bei Stromausfall oder Defekt der Steuerung: In diesem Fall funktionieren weder die Pumpen noch die Steuerung, d.h. die Anlage ist im Stillstand. Nach Ende eines kurzen Stromausfalls wird die Anlage weiterhin funktionieren, sobald im Kollektor eine Temperatur zwischen 50°C und 90°C herrscht.
- bei Defekt von Pumpe 1: Der Solarkreislauf ist unterbrochen, bei Sonneneinstrahlung erhitzt sich der Kollektor, ohne dass die Wärme abtransportiert wird. Die Pumpe muss ersetzt, der Kollektor zugedeckt werden.
- bei Defekt von Pumpe P2: Bei Sonneneinstrahlung wird der Pufferspeicher weiter aufgeheizt und allenfalls überhitzt, die Wärme aber nicht abtransportiert. Der WP-Boiler wird durch elektrischen Strom aufgeheizt, als ob keine zusätzliche Unterstützung durch einen Warmwasserkollektor bestünde. Die Pumpe muss ersetzt, der Kollektor zugedeckt werden.

5. Installation der Anlage

Alle „heissen“ Leitungen sollen möglichst kurz gewählt werden, um Verluste zu minimieren. Es sollen auch enge Kurven vermieden werden, damit der Fliesswiderstand nicht unnötig zu vergrössert wird. Der Anlagenteil unterhalb des Befüllungsstutzens muss frostfrei sein. Zwischen dem Einfüllstutzen und der Unterkante der Kollektoren dürfen keine Gefälle oder Horizontalen bestehen, und es muss eine ausreichende Steigung bestehen, die die Entleerung der Kollektoren erlaubt. Ansonsten soll aber die Höhe H möglichst klein gewählt werden. Der Rücklauf von den Kollektoren zum Pufferspeicher darf bis zur Höhe des Einfüllstutzens keine Steigungen bzw. Horizontalen aufweisen. Die Sensorkabel müssen einen Mindestabstand von 10 cm zu Stromkabeln aufweisen. Wenn induktive Geräte in der Nähe sind, müssen die Sensorkabel davor abgeschirmt werden. Das Steuergerät wird über Stecker/Steckdose mit der Hauptverteilung des Hauses verbunden. Vor und nach den störungsanfälligen Bauteilen (Pumpen, Ventil, Membranausdehnungsgefäss) Absperr-Einrichtungen einbauen, um den Austausch bei Defekt zu erleichtern.

Inbetriebnahme nach der Installation der Anlage: Die Pumpe P1 und die Thermosensoren sind vorerst noch nicht in Betrieb. Das Entlüftungsventil im Pufferspeicher wird geöffnet, danach die Anlage über den Einfüll-Stutzen mit kaltem Heizungswasser gefüllt. Danach soll die Pumpe P2 kurz eingeschaltet werden, damit allfällige Gaseinschlüsse aus dem Boilerkreislauf ausgespült werden, und das Membranausdehnungsgefäss bei Bedarf mit N₂ nachgefüllt, damit die volle Ausdehnungskapazität vorhanden ist. Nun wird über den Einfüllstutzen Heizungswasser nachgefüllt bzw. überschüssiges Wasser durch den Einfüllstutzen wieder abgelassen. Die Luft im Kollektor wird danach über den Einfüllstutzen durch N₂-Gas ersetzt. Danach werden Einfüllstutzen und Entlüftungsventil geschlossen. Nun können die Steuerung programmiert und die Pumpen ans Netz angeschlossen werden. Damit ist die Anlage betriebsbereit. Sollte die Anlage je entleert werden müssen, so kann dies ebenfalls durch den Einfüllstutzen geschehen bei eingeschalteter Pumpe P1 und geöffnetem Entlüftungsventil.

6. Kosten der Anlage

Artikel	Beschreibung	Preis-Schätzung
WP-Boiler	300 l mit Wärmetauscher 1"	3'556.--
Pufferspeicher ¹⁾	930 l mit 5 Anschlüssen und Schichtrohr, Pufferspeicher Typ PS von Deltasolar	2'600.--
Pumpe P1 ²⁾	IMP NMT PLUS ER 25/40 180 Niedrigenergiepumpe mit 0-10V Heizungspumpe 979523880 Klasse A oder IMP NMT MINI PWM 25/40-180 Solarpumpe Hocheffizienzpumpe Heizungspumpe 979527618	250.--
Pumpe P2 ³⁾ oder ⁴⁾	Wilo-Yonos-Pico-27365-7 Wilo Hocheffizienzpumpe Yonos PICO plus	Fr. 150.-- bis Fr. 269.90
Membranausdehnungsgefäß ⁵⁾	Atmos MAG 150 Liter	Fr. 460.--
Warmwasserkollektor gemäss Offerte Winkler	Variosol E, 4095 mm x 2300 mm, Absorberfläche ca. 8.4 m ²)	Fr. 6'500.--
Kupferrohre für Vor- und Rücklauf des Solakreislaufs	22 mm Durchmesser, ca. 16 m	Fr. 200.--
Temperatursensor s1 ⁶⁾	Pt1000-Typ, Platin-Chip-Temperatursensoren mit Anschlussklammern nach DIN EN 60751,	Fr. 20.--
Temperatursensoren s2-s4	Pt1000, 3 Stück	Fr. 60.--
Temperaturdifferenzregler ⁷⁾	Steca TR A502 TT U mit PWM-Ansteuersignal	Fr. 225.--
Thermostatisches Mischventil ⁸⁾	65°C	Fr. 77.--
Montage des Kollektors		ca. Fr. 800.--
Dach-Anpassung		ca. Fr. 800.--
Montage Sanitär		ca. Fr. 2'000.--
Förderbeitrag		ca. Fr. -3'000.--
Total (Schätzung)		FR. 14'817.9
Total (Schätzung)	Ohne WP-Boiler	Fr. 11'261.90

- <https://www.deltasolar.ch/wp-content/uploads/2023/03/Pufferspeicher-PS-01.04.23.pdf>
- <https://www.pumpendiscouter.de/ReigaGbR-p2076h349s930-IMP-NMT-PLUS-ER-25-4.html> (220 Euro, maximale Förderhöhe 4.2 m, maximale Fördermenge 2.1 m³/h, Leistung 3-21 W) oder
<https://www.manomano.de/p/imp-nmt-mini-pwm-2540-180-solarpumpe-hocheffizienzpumpe-heizungspumpe-979527618-53533931> (233 Euro, maximale Förderhöhe 4 m, maximale Fördermenge 3 m³/h, Leistung 1-17W)
- https://www.amazon.de/-/en/Wilo-Yonos-Pico-27365-7-Heating-Pump/dp/B073VHR7KR/ref=sr_1_4?adgrpid=1198468329544952&hvadid=74904388690531&hvbm=be&hvdev=c&hvlocphy=3300&hvnetw=o&hvqmt=e&hvtargid=kwd-74904475354672%3Aloc-175&hydadcr=17838_2301119&keywords=wilo+yonos+pico+plus&qid=1687893786&refinements=p_89%3AWilo%2Cp_36%3A-20000&rnid=118555031&s=diy&sr=1-4
- <https://www.bauhaus.ch/de/p/grundfos-energiesparumwaelzpumpe-alpha-2-25-40-67046009> (3-18 W)
- <https://www.waermequelle.ch/ausdehnungsgef%C3%A4%C3%9Fe/> oder <https://www.atmos-schweiz.ch/de/heizungszubehoer/ausdehnungsgefaess/ausdehnungsgefaess-100-liter-151.html>
- https://www.amazon.de/-/en/Temperature-Sensor-PT1000-Heating-Systems/dp/B00F39KI50/ref=sr_1_3?adgrpid=1203965883138717&hvadid=75247985770545&hvbm=bp&hvdev=c&hvlocphy=154067&hvnetw=s&hvqmt=p&hvtargid=kwd-75248064191610%3Aloc-175&hydadcr=8594_2297033&keywords=pt1000+temperaturf%C3%BChler&qid=1687284233&sr=8-3&language=de_DE
- [https://www.conrad.ch/de/p/steca-tr-a502tt-temperatur-differenz-regler-1339396.html"\);](https://www.conrad.ch/de/p/steca-tr-a502tt-temperatur-differenz-regler-1339396.html)
- <https://www.ecohaushop.ch/thermostatisches-mischventil-novamix-value-dn-15-45-60c-rv-3-4-25l-min-kvs-15>

Rückmeldungen sind erwünscht an: gotobrasil@gmx.ch oder Tel/Whatsapp +41 76 206 70 79