Typische potenzielle Fehlerquellen in solaren Prozesswärmeanlagen

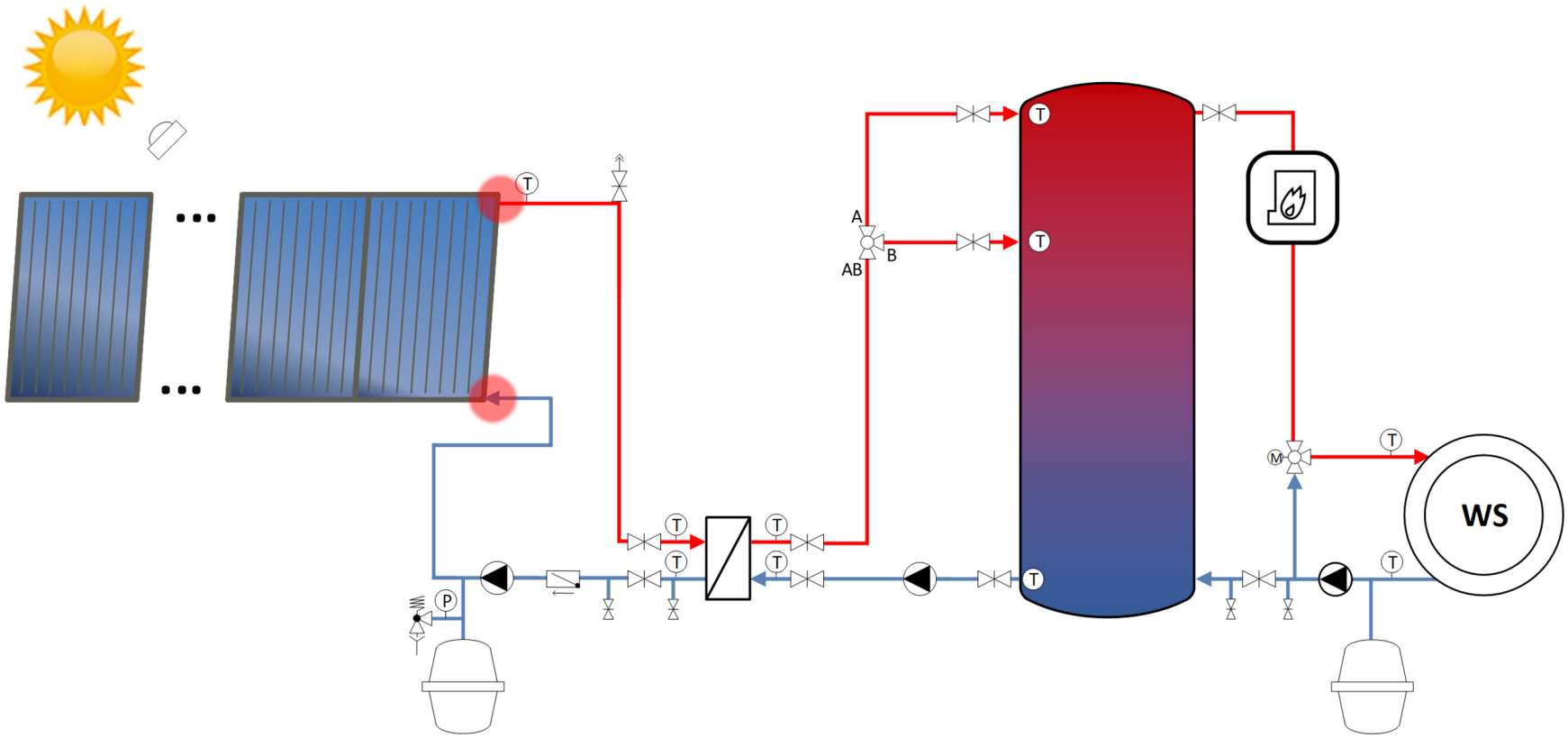
Erläuterung zum Dokument

Die nachfolgend dargestellten potenziellen Fehlerquellen in solaren Prozesswärmeanlagen sind das Ergebnis des Monitorings diverser Anlagen aus dem Bereich der solaren Prozesswärme in unterschiedlichen Branchen. Die Erkenntnisse aus diesem Monitoring wurden zu den besonders relevanten Fehlerquellen zusammengefasst, um Anlagenplanern und Installationsbetrieben eine Hilfestellung zu geben, mit der sie typische Probleme, die einen wesentlichen Einfluss auf den Ertrag der solaren Prozesswärmeanlage haben können, zu vermeiden.

Dargestellt sind die potenziellen Fehlerquellen stets nach demselben Prinzip: In einem vereinfachten Hydraulikschema sind die Stellen bzw. Bauteile rot hervorgehoben, die ausschlaggebend für das Auftreten des beschriebenen potenziellen Fehlers sind. In der darunter stehenden Tabelle finden sich dann kurze Erläuterungen zum Fehler bzw. dem Problem, zu den daraus resultierenden möglichen Folgen sowie Hinweise zur Vermeidung des Fehlers.

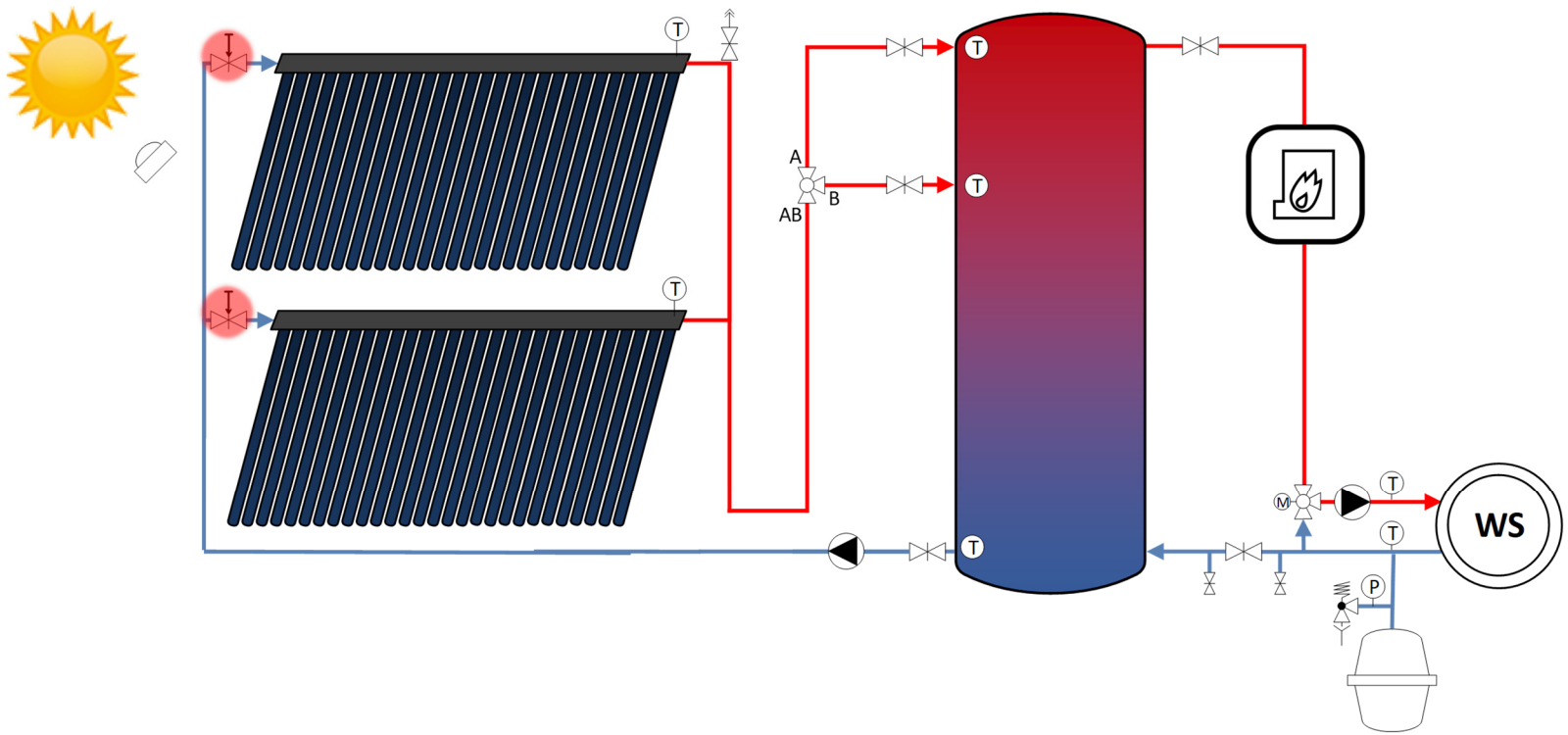
Eine Legende zur Erklärung der verwendeten Symbole in den Hydrauliken ist am Ende des Dokumentes zu finden.

1. Ungeeigneter Anschluss von Kollektorreihen



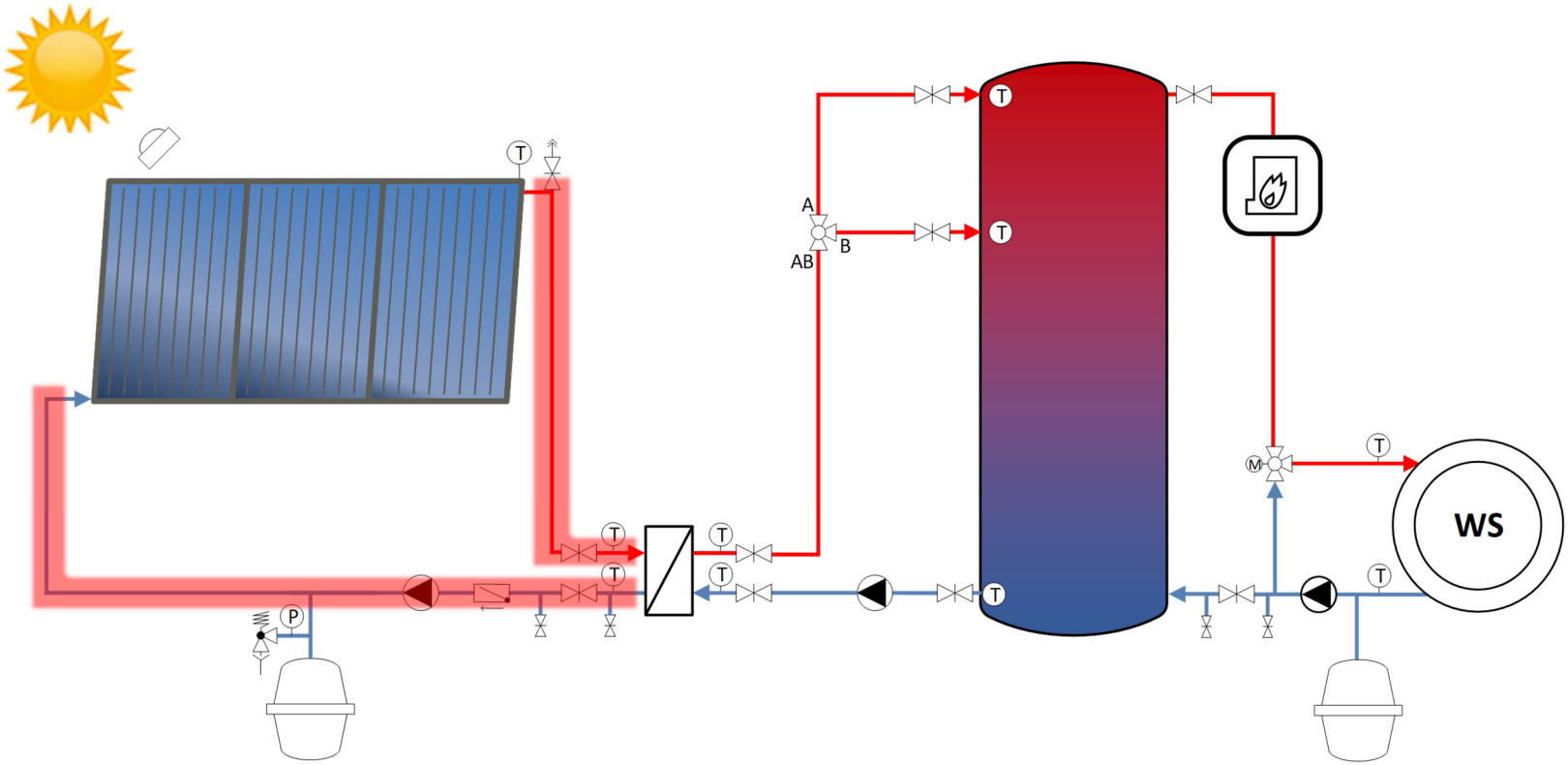
Fehler / Problem	Mögliche Folgen	Vermeidung
Einseitiger Anschluss einer Kollektorreihe, ohne die maximal zulässige Anzahl an Kollektoren in der Reihe zu Berücksichtigen. Es entsteht eine ungleichmäßige Durchströmung der Reihe.	Die Durchströmung der Kollektoren nimmt durch den steigenden Druckverlust mit der Entfernung vom Anschluss ab. D.h. die vom einseitigen Anschluss der Kollektoren entferntesten Kollektoren werden am wenigsten durchströmt. Dadurch kann es zu Stagnation in den Kollektoren am Reihenende kommen, was zur Stagnation der gesamten Anlage führen kann.	Auf keinen Fall sollten die Vorgaben der Hersteller zur maximalen Kollektoranzahl in einer Reihe bei einseitigem Anschluss überschritten werden. In Bezug auf eine gleichmäßige Durchströmung ist der beidseitige Anschluss der Kollektoren besser geeignet, wobei auch hier die Herstellervorgaben zu beachten sind, um Probleme zu vermeiden.

2. Unterschiedliche Volumenströme in den einzelnen Kollektorreihen



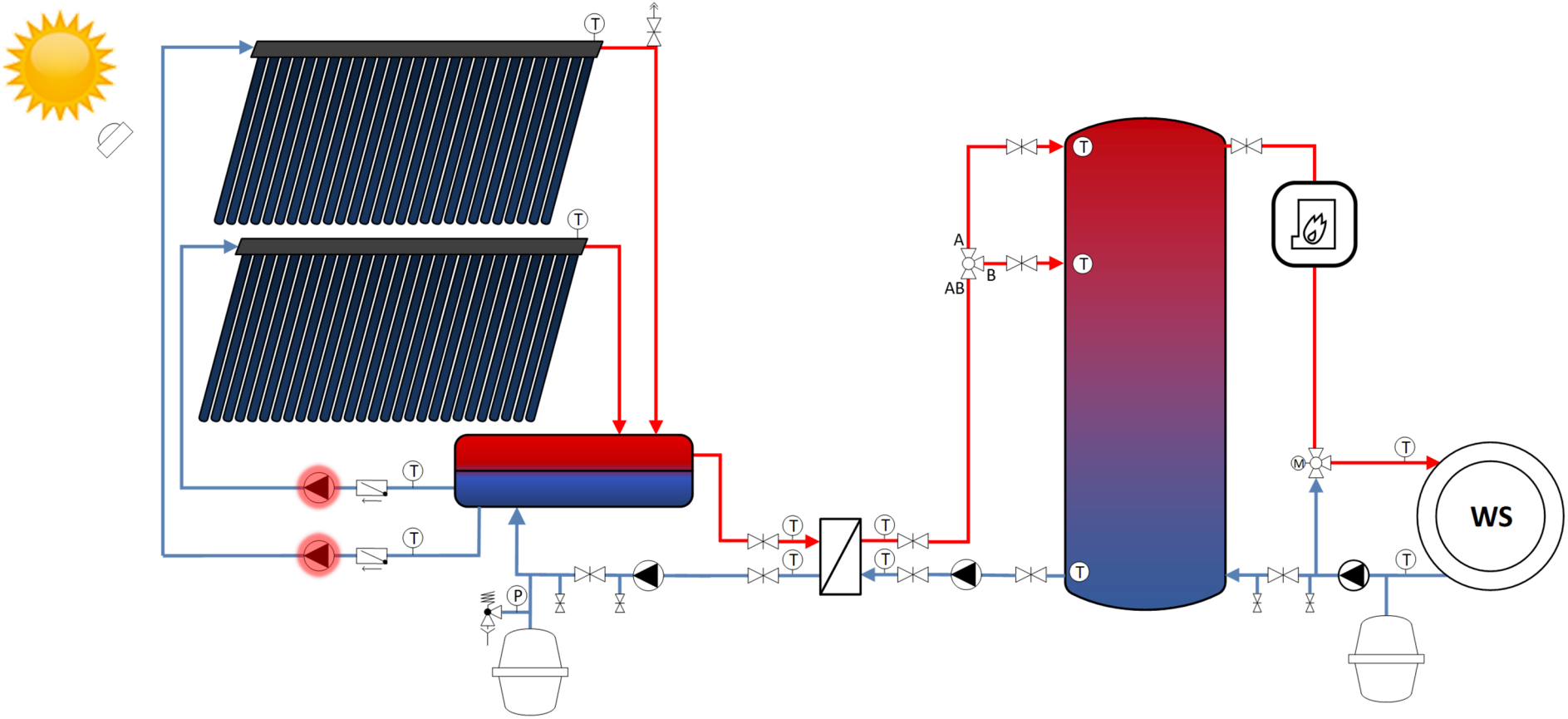
Fehler / Problem	Mögliche Folgen	Vermeidung
Es liegt eine ungleichmäßige spezifische Durchströmung (l/m²h) der Kollektorreihen bzw. von Teilfeldern durch nicht korrekt eingestellte Regulierventile bzw. fehlende bauliche Maßnahmen vor.	Die ungleichmäßige Durchströmung führt zu unterschiedlichen VL-Temperaturen am Austritt der Kollektorreihen, die dann wieder vermischt werden. Im Sommer kann dies auch dazu führen, dass eine schwächer durchströmte Reihe (oder ein Teilfeld) durch die unnötig hohe Temperatur stagniert, obwohl die Wärme abgenommen werden könnte. Dies kann durch die Dampfbildung zum Stillstand der gesamten Solaranlage führen.	Bei der Planung und Installation ist darauf zu achten, dass der spezifische Volumenstrom für alle Teilbereiche des Kollektorfeldes nahezu identisch ist. Dies kann durch Strangregulierventile erfolgen, die bei der Inbetriebnahme eingeregelt werden, oder aber durch eine angepasste Verrohrung, die in jeder Reihe / jedem Teilfeld einen gleichmäßigen spezifischen Volumenstrom sicherstellt (Verrohrung nach Tichelmann). Ventile bieten die Möglichkeit der Nachjustierung im Betrieb.

3. Undichtigkeiten im Solarkreis



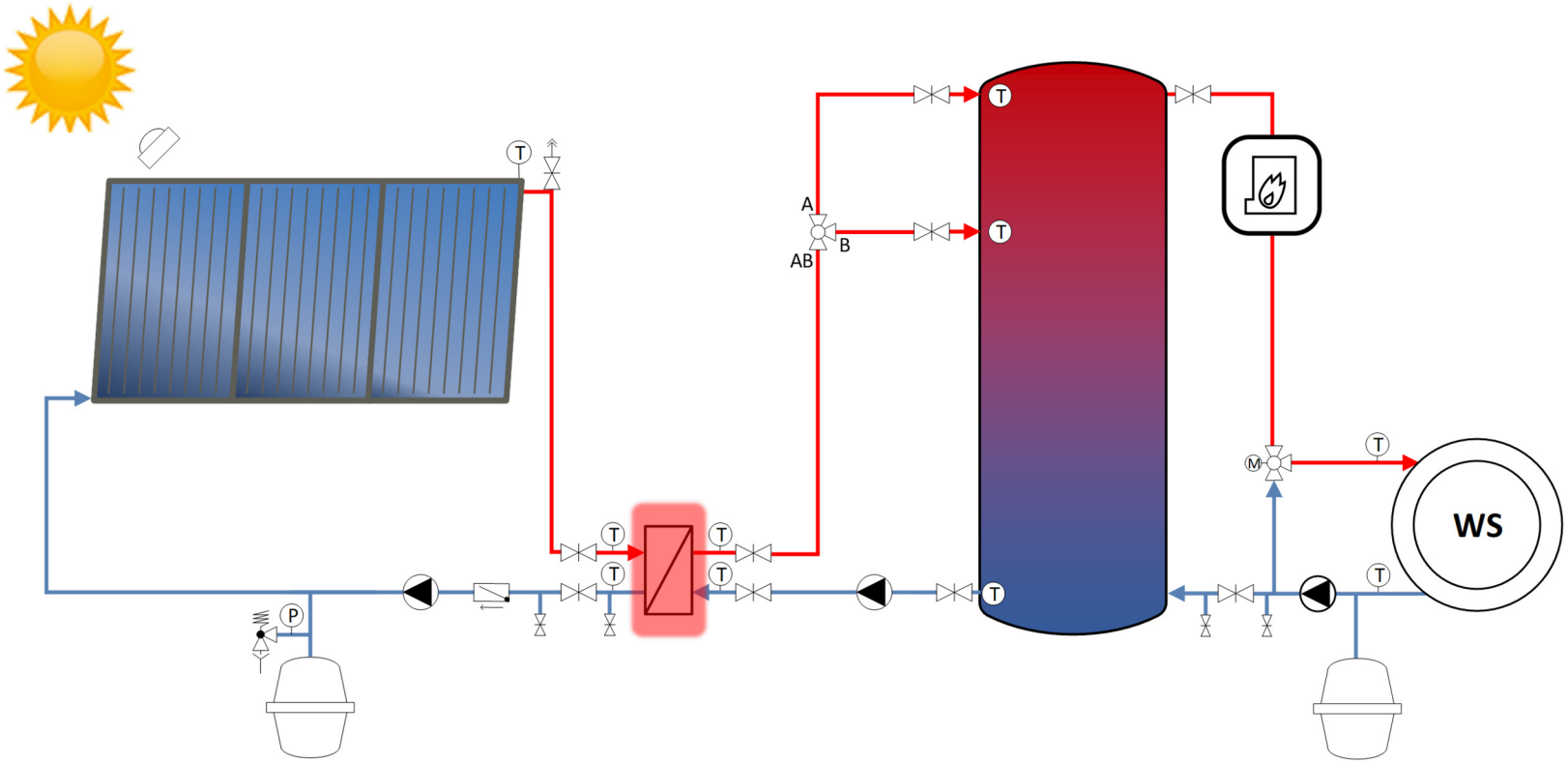
Fehler / Problem	Mögliche Folgen	Vermeidung
Durch Undichtigkeiten im Solarkreis tritt mit der Zeit Solarfluid aus, der Druck fällt ab.	Im Solarkreis fällt mit zunehmender Menge an ausgetretenem Fluid der Druck ab. Nach relativ kurzer Zeit wird der Punkt erreicht, an dem die Pumpe im Solarkreis nicht mehr regelrecht anlaufen kann; die Anlage kann den Betrieb nicht aufnehmen und stagniert.	Gründe für Leckagen können nicht ausreichend temperaturbeständige Dichtungen (Regelbetreib und Stagnation), Spannungen an Verschraubungen durch nicht korrekt verlegte Rohrleitungen oder auch zu fest angezogenen Verschraubungen sein, die die Dichtungen schädigen. Auf diese Punkte ist bei der Planung (Wahl der Dichtungen) und vor allem bei der Installation zu achten, um Probleme zu vermeiden.

4. Zu kleine Pumpen für einzelne Kollektorreihen



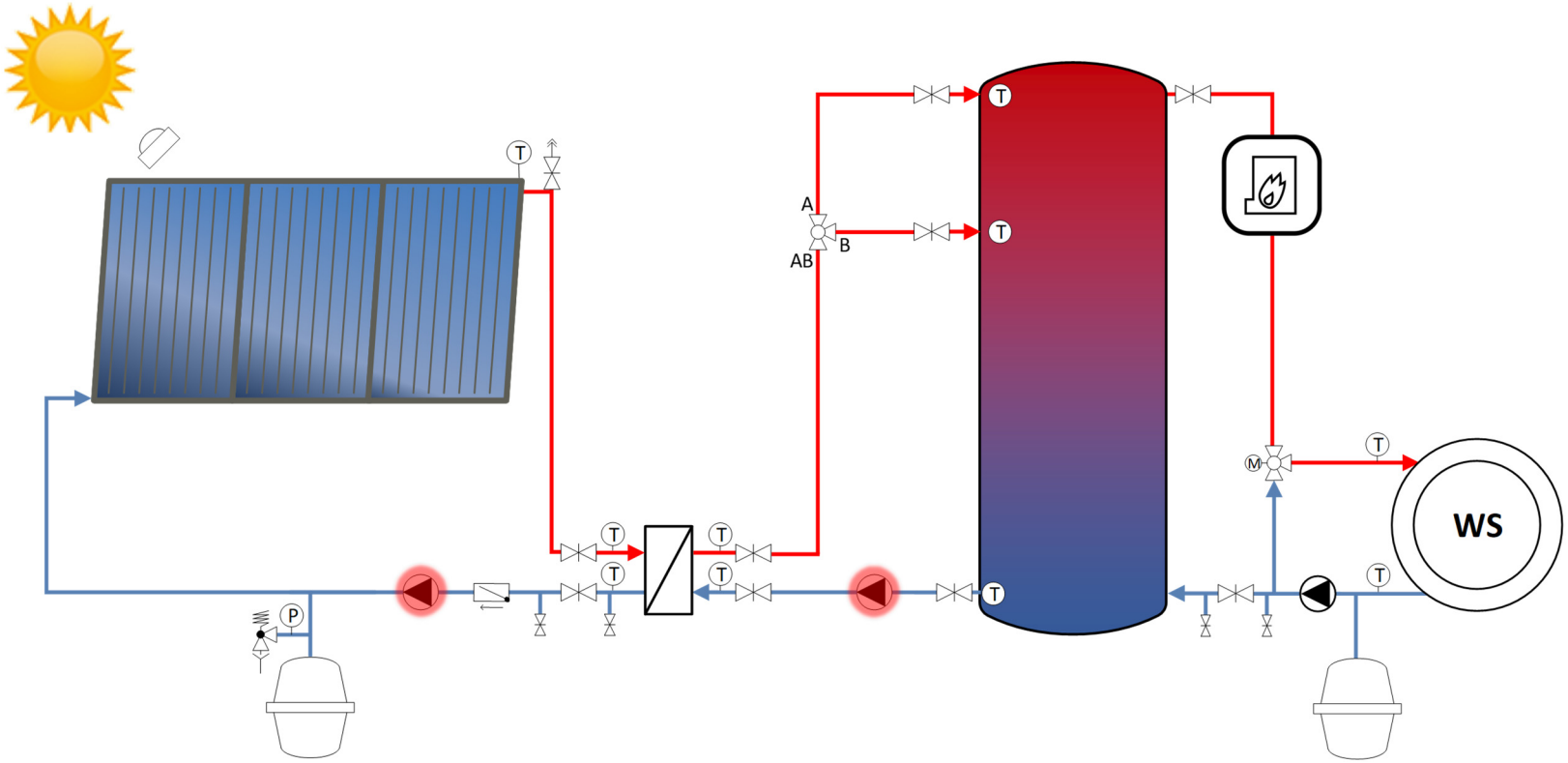
Fehler / Problem	Mögliche Folgen	Vermeidung
Eine zu kleine Dimensionierung der Pumpen im Solarkreis, ggf. auch nur von einzelnen Teilfeldern, durch das Unterschätzen des Druckverlustes in den Kreisen, resultiert in zu kleinen Volumenströmen im Feld bzw. in Teilfeldern.	Zu klein ausgelegte Pumpen im Solarkreis führen dazu, dass diese nicht den geplanten Volumenstrom erreichen können. Dadurch kann die solar erzeugte Wärme bei hoher Einstrahlung nicht im ausreichenden Maße vom Kollektor zum Speicher transportiert werden. Hierdurch steigt die Kollektortemperatur unnötig, wodurch die Effizienz durch Wärmeverluste im Solarkreis sinkt. Im schlechtesten Fall kommt es zu Stagnation, obwohl der Speicher nicht voll beladen ist und ein Wärmbedarf besteht.	Bei der Auswahl der geeigneten Pumpe sollte der Druckverlust im Solarkreis genau berechnet werden, damit der gewünschte Volumenstrom im Betrieb erreicht werden kann. Hierbei sind nicht nur die Kollektoren, sondern auch der WÜT, die Leitungen sowie alle Einbauten wie Sensoren, Rückschlagklappen oder auch Entlüfter zu berücksichtigen. Das Einplanen einer Leistungsreserve ist zu empfehlen.

5. Zu hohe logarithmische Temperaturdifferenz über den Solar-Wärmeübertrager



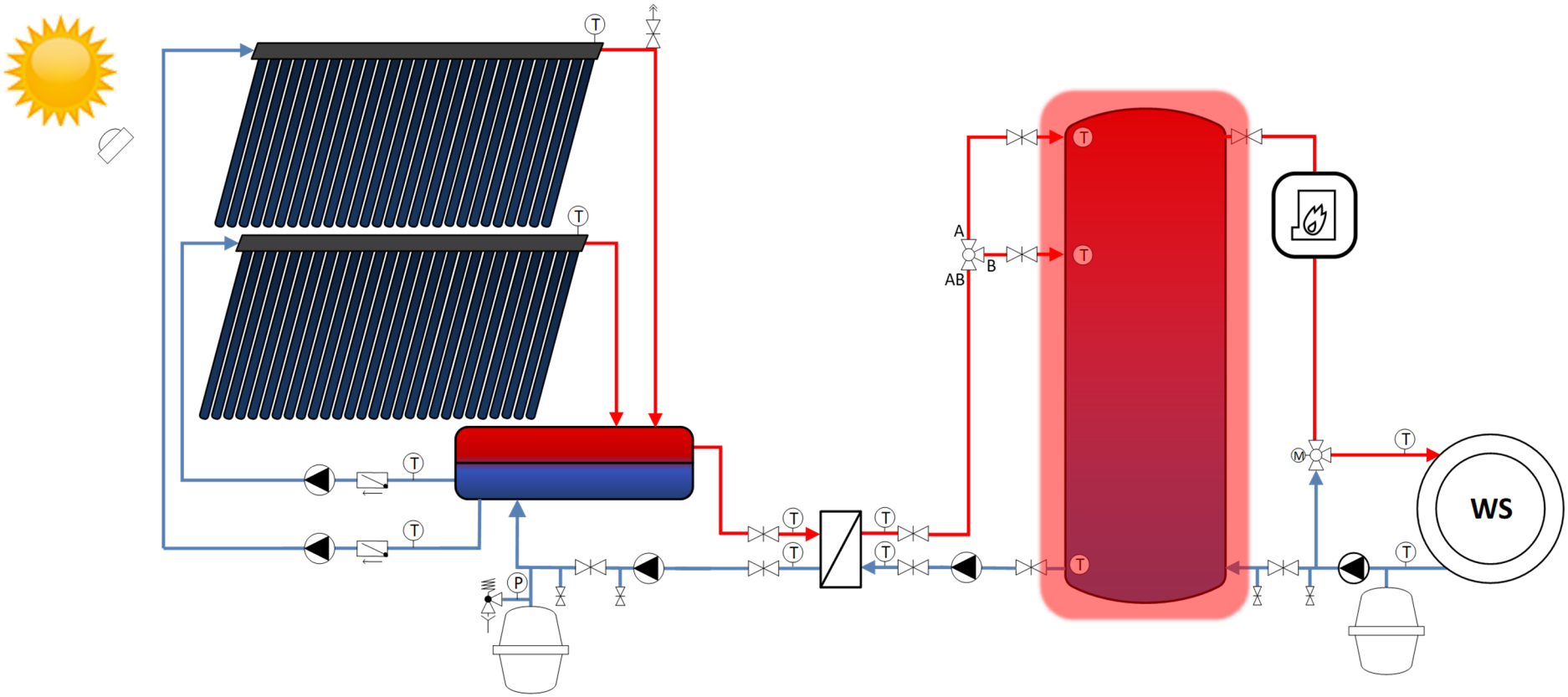
Fehler / Problem	Mögliche Folgen	Vermeidung
Durch die zu kleine Dimensionierung des Solar-WÜT in der Planung, bzw. den Einbau eines von der Planung abweichenden WÜT (Übertragungsleistung, Plattengeometrie, vertauschte Anschlüsse) übersteigt die logarithmische Temperaturdifferenz den anzustrebenden Wert von 5 K (externer Platten-WÜT) im Betrieb nicht nur bei Solarstrahlungsspitzen.	Hohe Temperaturdifferenzen über den WÜT sorgen für unnötig hohe Temperaturen im Solarkreis, wodurch die thermischen Verluste steigen, und der Ertrag sinkt, was sich negativ auf die Wirtschaftlichkeit auswirkt. Da dieses Problem nicht unbedingt zu Stagnation führen muss, bleibt der Fehler oft unentdeckt.	Bei der Auslegung des WÜT sollte eine spezifische Leistung von 120 bis 130 W/(m²K) bezogen auf die Kollektorfläche und 5 K Temperaturdifferenz angestrebt werden. D.h. im Betriebspunkt sollte der WÜT ausreichend groß dimensioniert sein, um 600 bis 650 W/m² Kollektorfläche übertragen zu können, ohne dass die log. Temperaturdifferenz über 5 K ansteigt. Die VDI 3988 empfiehlt dies ebenfalls mit der Anforderung von 600 W/m² bei 5 K Temperaturdifferenz.

6. Unausgeglichene Kapazitätsströme über den Solar-Wärmeübertrager



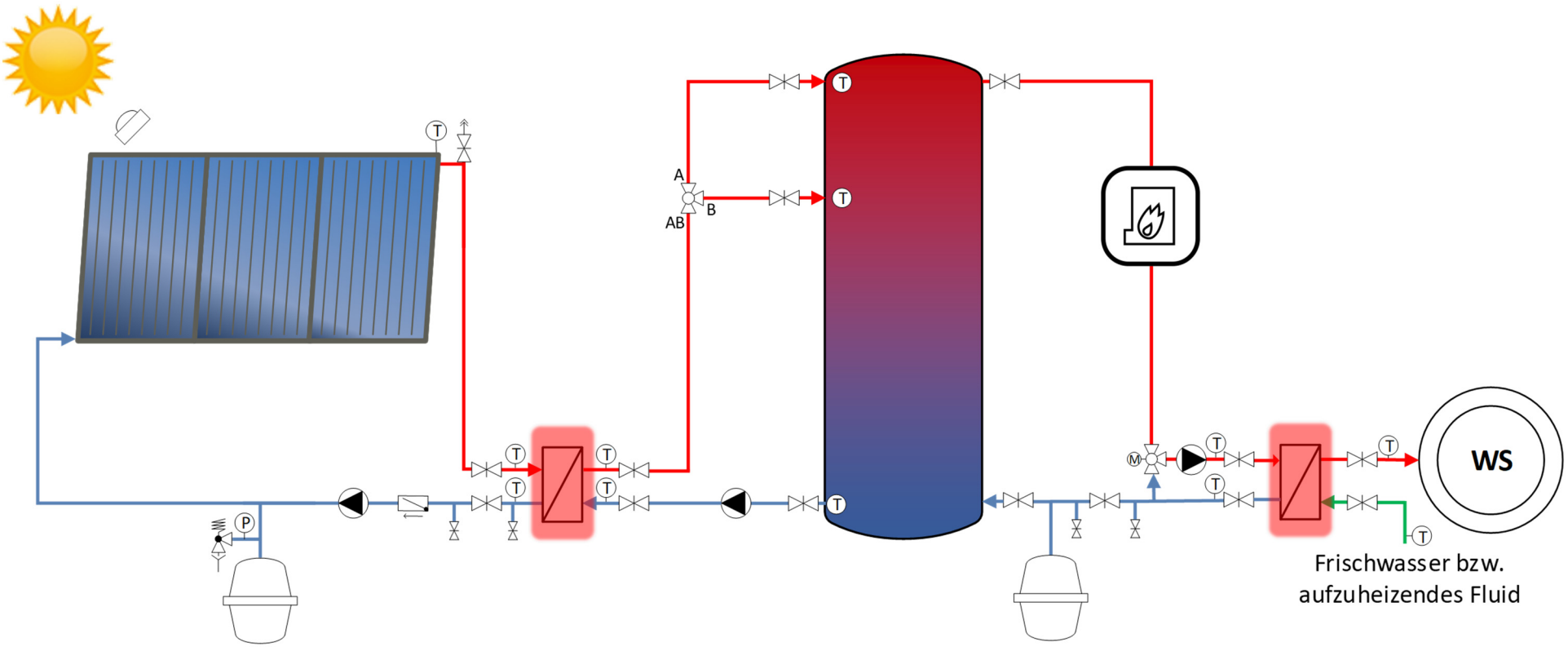
Fehler / Problem	Mögliche Folgen	Vermeidung
Die Kapazitätsströme über den Solar-WÜT sind nicht ausgeglichen. Hierbei kann a) der Kapazitätsstrom im Kollektorkreis oder b) der Kapazitätsstrom zur Speicherbeladung größer sein.	Unausgeglichene Kapazitätsströme über einen WÜT führen dazu, dass die Wärmeübertragung nicht optimal ist; die logarithmische Temperaturdifferenz steigt an. Der Fall a) hat zur Folge, dass die RL-Temperatur im Kollektorkreis höher ist als nötig, wodurch die mittlere Kollektortemperatur und damit die thermischen Verluste steigen. Fall b) hat zur Folge, dass die Differenz zwischen primärer und sekundärer VL-Temperatur steigt und die Zieltemperatur für den sekundären VL ggf. nicht mehr erreicht wird. Somit ist die primäre VL-Temperatur für die erreichbare sekundäre VL-Temperatur unnötig hoch, wodurch vermeidbare thermische Verluste entstehen.	Bei der Auslegung der Pumpen ist darauf zu achten, dass die Pumpen auf der Primärseite (Kollektorkreis) und Sekundärkreis (Speicherbeladung) den gleichen Kapazitätsstrom erzeugen. Diese ergeben sich aus den erzeugten Massenströmen der Pumpe und der jeweiligen spezifischen Wärmekapazität des verwendeten Fluids. Der Einsatz variabler Pumpen ermöglicht die nachträgliche Justierung der Kapazitätsströme, sofern dies erforderlich ist.

7. Realisierung benötigtes Speichervolumen mit mehreren kleinen Speichern



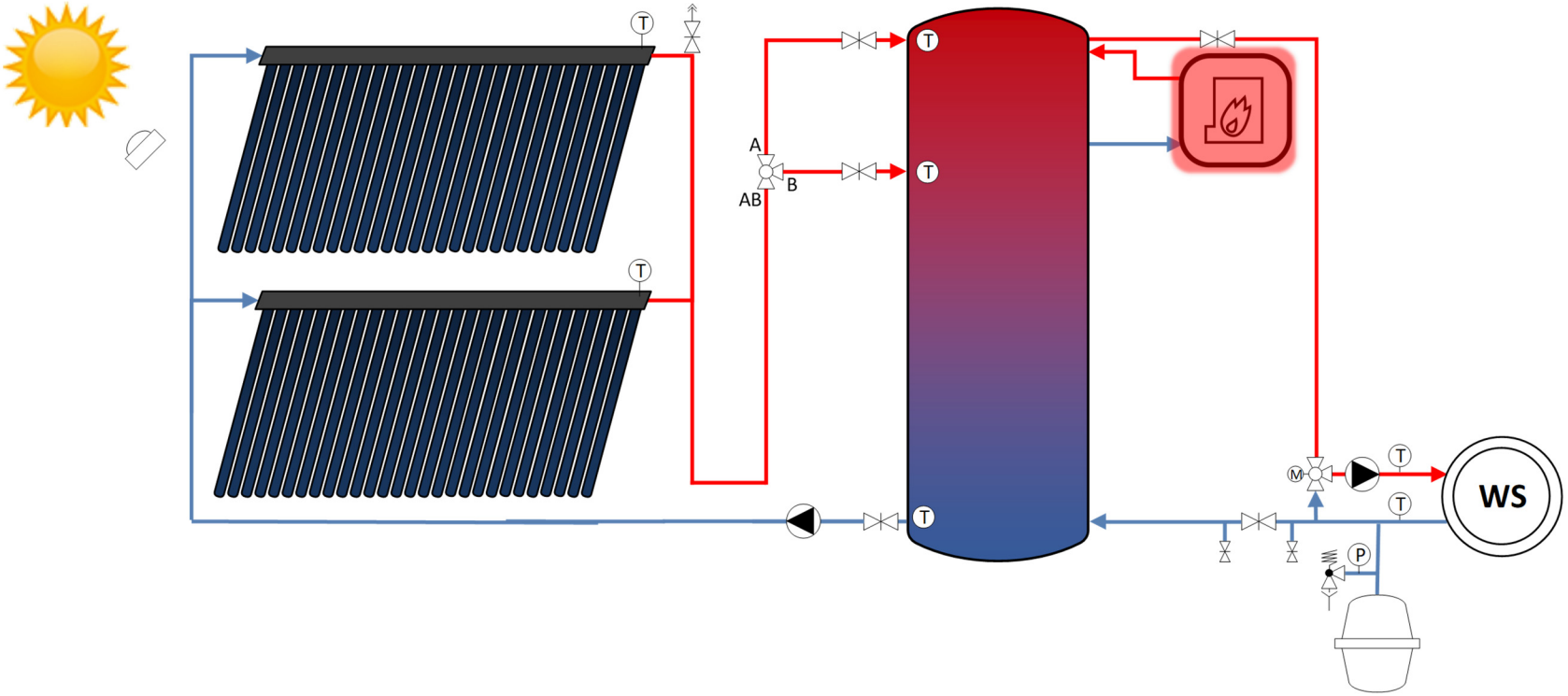
Fehler / Problem	Mögliche Folgen	Vermeidung
Das benötigte Speichervolumen wird durch die Verschaltung mehrerer kleinerer Speicher realisiert, statt auf einzelne, ggf. auch vor Ort geschweißte oder modular aufgebaute Einzelspeicher zurückzugreifen.	Die Verschaltung mehrerer Speicher zeigte in Langzeiterfahrungen mehrere Nachteile gegenüber einem Einzelspeicher. Das größte Problem sind stark zunehmende Wärmeverluste verglichen mit einem einzelnen großen Speicher, da die Oberfläche des Gesamtspeichers mit jedem Behälter stark zunimmt und die Rohrleitungen zur Verbindung ebenfalls Wärmeverluste verursachen. Bei der parallelen Speicherverschaltung entstehen bereits in den ersten Jahren zusätzlich Probleme bei der gleichmäßigen Be- und Entladung. Eine gleichmäßige Durchströmung kann nicht dauerhaft gesichert werden.	Zur Vermeidung von unnötigen Wärmeverlusten und Problemen bei der Be- und Entladung sollte entsprechend VDI 3988 möglichst nur ein einzelner Speicherbehälter verwendet werden. Sollte dies aus Platzgründen nicht möglich sein, sollten nicht mehr als zwei Speicher parallel oder drei Speicher seriell verbunden werden. Kann das benötigte Speichervolumen mit dieser Empfehlung nicht realisiert werden, sollte primär die Aufstellung eines einzelnen Speichers im Außenbereich geprüft werden.

8. Abnahme der Übertragungsleistung des Solar- oder Wärmesenken-Wärmeübertrager



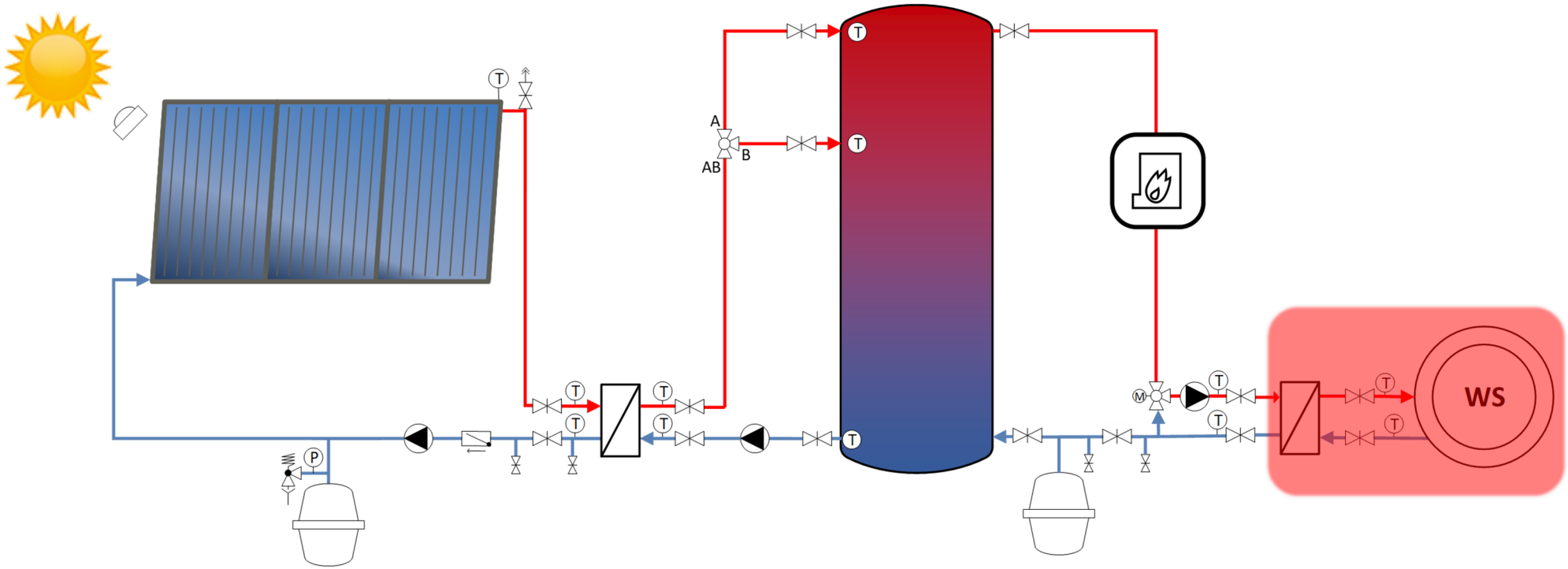
Fehler / Problem	Mögliche Folgen	Vermeidung
Die Übertragungsleistung der WÜT nimmt zeitnah nach der Inbetriebnahme bedingt durch Ablagerungen oder Fouling ab, da die verwendeten Fluide im Solar-, Speicher-, oder Wärmesenkenkreis nicht ausreichend aufbereitet wurden. Hierdurch steigen die Druckverluste im WÜT und die Volumenströme nehmen ebenso wie die Übertragungsleistung deutlich ab.	Beim Solar-WÜT hat dies zur Folge, dass der VL des Kollektorkreises nicht ausreichend abgekühlt werden kann, wodurch Temperaturen und Wärmeverluste im Solarkreis steigen. Bezogen auf den Speicher führt es dazu, dass dieser ggf. nicht mehr mit der angestrebten Temperatur beladen werden kann. Analog gilt dies für den WÜT zur Entladung: Der speicherseitige RL kann nicht ausreichend abgekühlt werden, der wärmesenkenseitige VL erreicht ggf. nicht den Soll-Wert.	Um Ablagerungen in den WÜT zu vermeiden, ist eine den Herstellerangaben entsprechende Aufbereitung der verwendeten Fluide im Solar-, Speicher- und ggf. Wärmesenkenkreis beim Be- und Nachfüllen unerlässlich. Ist eine Aufbereitung nicht möglich, da bspw. Frischwasser für den Prozess aufgeheizt wird, sollten Absperrventile um den WÜT vorgesehen werden, um diesen ohne großen Aufwand ausbauen und spülen zu können. Dies empfiehlt sich generell für den Einbau von externen WÜT, da Ablagerungen über die Zeit nicht vollständig vermeidbar sind.

9. Ungeeignete Regelstrategie und Anschlüsse für die Nachheizung des Solarspeichers



Fehler / Problem	Mögliche Folgen	Vermeidung
Die an den Solarspeicher angebundene Nachheizung bzw. ein weiterer Wärmeerzeuger belädt den gesamten Speicher und hält diesen (fast) komplett auf Temperatur. Dies kann durch einen ungeeigneten Anschluss der Nachheizung an den Speicher oder durch eine ungeeignete Regelstrategie der Fall sein.	Aus dieser Situation folgt ein sehr geringer Solarertrag, da der Speicher durch die Nachheizung bzw. den zusätzlichen Wärmeerzeuger ständig auf Zieltemperatur gehalten wird. Die Solaranlage kann also keine oder nur wenig Wärme in den Speicher einbringen und stagniert vor allem im Sommerhalbjahr regelmäßig. Darüber hinaus sinken die Erträge noch weiter, da die Solaranlage auf höheren Temperaturen arbeiten muss und somit die Wärmeverluste steigen.	Bei Planung und Installation ist darauf zu achten, dass Anschlüsse der Nachheizung und Regelparameter so gewählt werden, dass diese nur das obere Drittel bis Viertel des Speichers aufheizt und die Solaranlage somit den Rest des Speichers zum Zwischenspeichern der Solarwärme zur Verfügung hat. Darüber hinaus ist es zu Zeiten, in denen der Wärmebedarf komplett solar gedeckt werden kann, nicht sinnvoll parallel den zusätzlichen Wärmeerzeuger laufen zu lassen. Soll der Speicher bspw. im Winterhalbjahr komplett von der Nachheizung genutzt werden, sind Anschlüsse oben und unten am Speicher notwendig. Der Regelstrategie kommt dann eine besondere Bedeutung zur Sicherung eines hohen Solarertrages zu.

10. Unzureichende Datengrundlage zur Wärmesenke

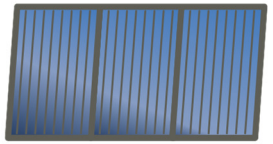


Fehler / Problem	Mögliche Folgen	Vermeidung
Während der Planung werden Informationen wie die Temperaturen, der Wärmebedarf oder auch Lastspitzen der Wärmesenke nur unzureichend ermittelt, wodurch die Gesamtanlage eine ungeeignete Größe haben kann oder aber der Wärmesenken-WÜT für den Anwendungsfall falsch ausgelegt wird.	Eine aufgrund eines überschätzten sommerlichen Wärmebedarfes zu groß dimensionierte Solaranlage führt dazu, dass im Sommer regelmäßig Wärme produziert wird, die die Wärmesenke nicht abnehmen kann, wodurch die Anlage gerade im Sommer häufig stagniert und der jährliche Ertrag stark sinkt. Ein zu klein ausgelegter Wärmesenken-WÜT, weil bspw. regelmäßige Lastspitzen nicht bekannt waren, führt dazu, dass die logarithmische Temperaturdifferenz über den Wärmesenken-WÜT zu hoch ist (für externe Platten-WÜT max. 5 K) und die Zieltemperatur auf Prozessseite regelmäßig verfehlt wird, obwohl die Speichertemperatur ausreichend hoch ist.	Bei Auslegung des Kollektorfeldes und des WÜT der Wärmesenke (WS) ist eine gute Datenbasis zur WS entscheidend. Neben den Temperaturen müssen vor allem der sommerliche tägliche Wärmebedarf für die Dimensionierung des Kollektorfeldes und für den WÜT die erwartbaren Lastspitzen (stündliche Basis) bekannt sein. Treten die Lastspitzen nur selten auf, können sie bei der Planung vernachlässigt werden, sind sie eher der Regelfall und übersteigen die Grundlast, sollten sie berücksichtigt werden, was durch einen entsprechend Leistungsstarken WÜT erfolgen kann, oder durch einen zusätzlichen Batch-Speicher, der kontinuierlich solar beladen werden kann. Der sommerliche Wärmebedarf ist entscheidend für die Festlegung der korrekten Größe des Kollektorfeldes.

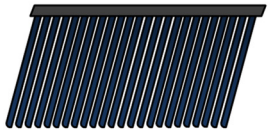
Legende

Verteilerbalken

Speicher



Flachkollektor



Vakuumröhrenkollektor

Vorlauf Heizung/Solar

Rücklauf Heizung, Solar

Frischwasser, Fluid

Plattenwärmeübertrager, extern

Wärmesenke

konventioneller Wärmeerzeuger

Absperrventil

Umschaltventil

Befüll-/Entlüftungsvorrichtung

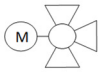
Sicherheitsventil

Pumpe

Membran-Ausdehnungsgefäß

Rückschlagklappe

Autom. Entlüfter



Beimischventil mit Motorantrieb

Strangregulierventil

Solarstrahlungssensor

Temperatursensor

Drucksensor

Herausgeber
Universität Kassel
Fachgebiet Solar- und Anlagentechnik
Kurt-Wolters-Str. 3
34125 Kassel

Autoren
Dominik Ritter, Felix Pag, Prof. Dr. Klaus Vajen

Kontakt
Universität Kassel
Fachgebiet Solar- und Anlagentechnik
prozesswaerme@uni-kassel.de
www.solare-prozesswärme.info

SOLAR.
UNI-KASSEL.DE

gefördert durch
Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Stand 12.08.2021