

Karl-Heinz Mentzel

Solarplanung

Optimierung einer Solarwärmeanlage



Solarplanung - Optimierung einer Solarwärmanlage

0	Inhaltsverzeichnis	2
1	Einleitung	4
2	Erfassung Objektdaten	4
2.1	Anforderung an die Erfassung	4
2.2	Jahresbedarf Heizwärme und Warmwasser, sonstige systemrelevante Parameter	4
2.3	Anlagenhydraulik - Komponenten, Einbindepunkte	5
2.4	Betriebsweise - Reglereinstellungen, Nutzeranforderungen	5
2.5	Standortdaten zur Solarsimulation	5
3	Das Zusammenspiel der Solarkomponenten	6
3.1	Grundlegende Anforderungen an das System	6
3.2	Kollektoren - die neuen Wärmeerzeuger	6
3.3	Speicher im Solar- und Heizkreis	6
3.4	Die hydraulische Einbindung	8
3.4.1	Rohrleitungen, Fluide	8
3.4.2	Wärmetauscher, Pumpen, Schaltventile und Co.	8
3.5	Solarregler - Schaltzentralen für Heizung, Warmwasser und mehr	9
3.5.1	Fühler und Relais	9
3.5.2	Temperaturdifferenzfunktionen und Thermostatfunktionen	9
3.5.3	Zeitfunktionen	10
3.5.4	UND-ODER-Verknüpfungen	10
3.6	Sicherheitseinrichtungen im Solarkreis	11
4	Solarertrag planen und optimieren	11
4.1	Erfassung von Systemtemperaturen im Heiz- und Warmwasserkreis	11
4.1.1	Solare Warmwasserbereitung, Verbrauchsprofile	11
4.1.2	Solare Heizungsunterstützung, Ermittlung der Heizlast	12
4.2	Zielgrößen für die Auslegung von Komponenten	12
4.2.1	Auslegung nach Primärenergiebedarf	12
4.2.2	Auslegung nach Kostenoptimierung	13
4.3	Kollektorneigung - Einflüsse auf Ertrag und Funktionssicherheit	13
4.3.1	Kollektorneigung nach Ertrag optimieren	13
4.3.2	Begrenzung von Schäden durch Kondensat, Hagelschlag und thermische Belastung	13
4.4	Ein- oder Mehrspeichersysteme?	14
4.5	Solarschemen- Variantenauswahl	14
4.6	Abbildung der Konfiguration bei erhöhten Anforderungen	15
4.7	Optimierung bei Hydraulik und Regelung	16
4.7.1	Fluidströme im Solarkreis	16
4.7.1.1	Frostschutz und Energieeffizienz, Aspekte	17
4.7.1.2	Von High- Flow bis Low- Flow, strömungsabhängige Verluste	17
4.7.1.3	Vorrangschaltung bei solarer Beladung	18
4.7.1.4	Geschichtete solare Beladung, Lösungen	18
4.7.2	Fluidströme im Heiz- und Warmwasserkreis	19
4.7.2.1	Differenzierte Rücklauf- Einbindung am Heizungspuffer	19
4.7.2.2	Umgehung des konventionellen Wärmeerzeugers	20
4.7.2.3	Umschichtung vom Heizungspuffer auf Warmwasser	20
4.7.2.4	Warmwasserbereitung mit Plattenwärmetauscher	22
4.7.2.5	Zirkulationssteuerung	22
4.7.3	Regelfunktionen und Einstellungen	24
4.7.3.1	Optimierung von Schaltwerten	24
4.7.3.2	Definition von Fühlerpositionen	25

4.7.4	Aussetzen der Beheizung, zeit oder außentemperaturabhängig	26
4.7.5	Wärmeverluste durch Wärmeschutz und weitere Lösungen reduzieren	26
4.7.5.1	Speicherverluste	26
4.7.5.2	Anschlussverluste	27
4.7.5.3	Rohrleitungsverluste	28
4.8	Stagnation vermeiden, Lösungsansätze	28
4.9	Solarertragssimulation als Planungs- und Kontrollgrundlage	29
4.9.1	Anforderungen an eine Solarertragssimulation	29
4.9.2	Solarsoftware und Benutzerstufen	30
4.9.3	Simulationsergebnisse	30
4.9.4	Abgleich von Plan- und Istwerten	31
4.9.5	Auftrag zur Planung	32
5	Das Solarkonzept- die anspruchsvollere Variante der Solarplanung	32
5.1	Wechselwirkungen von Randbedingungen und solarer Deckung	32
5.2	Die Solaranlage als Haupt-Versorgungssystem	34
5.2.1	Lösungen zur Ergänzungsheizung	34
5.2.2	Saisonale Speicherung	35
5.3	Solarstromversorgung	35
6	Inbetriebnahme, Wartung und Ertragskontrolle	36
6.1	Inbetriebnahme, Unterlagen	36
6.2	Reglereinstellungen, Anpassung und Datensicherung	36
6.3	Wartung, Ertragskontrolle und Fehlersuche	36
7	Wirtschaftlichkeit solarer Systemlösungen	37
7.1	Amortisationsdauer einer Investition	37
7.2	Ermittlung der Annuität	38
	Abkürzungen:	39
	Literaturverzeichnis:	39
	Anlagen:	
Anlage 1	Checkliste Fehlersuche Solarwärmeanlage	40
Anlage 2	Anleitung Angebotsvergleich	42

1 Einleitung

Dach ansehen, Solaranlage anbieten, montieren - fertig?

Das geht zwar, ist aber nicht besonders kundenfreundlich. Wie will man wissen, wieviel Energie man mit dieser Anlage einspart? Ließe sich mit geringen Änderungen der Solarertrag deutlich erhöhen? Oder könnte man gar mit dem gleichen Geldeinsatz durch eine ganz andere Maßnahme (z.B. Wärmedämmung) eine größere Einsparung erzielen?

Zugegeben, von einem Solaranlagenverkäufer kann man nicht erwarten, dass er einige dieser Betrachtungen vertiefend anstellt, schließlich will er ja eine Anlage verkaufen. Aber von einem erfahrenen Energieberater sollte zu erwarten sein, daß er das Vorhaben seriös bewertet und, bleibt es bei dem Vorhaben, eine hocheffiziente Lösung mit bestem Preis-Leistungsverhältnis darlegt.

Zielstellung dieser kleinen Fibel „Solarplanung - Optimierung einer Solarwärmanlage“ ist daher nicht so sehr, allgemeine Beschreibungen einer Solarwärmanlage vorzunehmen, sondern vielmehr die vielen kleinen Stellschrauben aufzuzeigen, die bei ihrer Beachtung erst in der Summe eine gut geplante und eingestellte Solaranlage ermöglichen.

Sie soll helfen, die sinnvolle Verknüpfung der Komponenten und ihre Steuerung besser zu verstehen. Dies hilft im Dialog mit dem Anbieter und bei der energieeffizienten Betriebsweise der Anlage.

Haftungshinweis:

Trotz sorgfältiger Ausarbeitung wird keine Haftung für die Vollständigkeit und Richtigkeit der Inhalte übernommen.

Copyright:

Alle Rechte am Gesamtwerk einschließlich der Texte, Grafiken und Bilder verbleiben beim Autor. Eine Nutzung außerhalb der Grenzen des Urheberrechts wird nur nach gesonderter Vereinbarung gestattet.

Ich wünsche dem Leser spannende Unterhaltung.

Karl-Heinz Mentzel

Gößnitz, September 2015

2 Erfassung Objektdaten

2.1 Anforderungen an die Erfassung

Nur wenn der Wärmebedarf und seine jahreszeitliche Verteilung hinreichend genau bekannt ist, kann die Solaranlage passend abgestimmt und eine realitätsnahe solare Abdeckung prognostiziert werden.

Bei Bestandsbauten kann zunächst der Jahres- Mittelwert an bezogener Heizenergie heran gezogen werden. Hierbei sind die Umwandlungsverluste der konventionellen Wärmeerzeugungsanlage zu berücksichtigen.

Beispiel: Jahresbedarf lt. Rechnung 20.000 kWh. Bei einem Jahresnutzungsgrad des Wärmeerzeugers von 80 % beträgt der Bedarf $20.000 \cdot 0,8 = 16.000$ kWh.

Beim Neubau oder einer komplexen Sanierung wird nach der Energieeinsparverordnung [1] gerechnet, dies ist aufwendig, eröffnet aber vielfältige neue Möglichkeiten (sh. Pkt. 5.).

Der Gesamtbedarf ist in Heizwärme- und Warmwasserbereitung (WW) zu trennen. Weitere Verbraucher, wie Waschmaschinenanschluss u.a. können ggf. dem Verbrauchsprofil beim WW-Bedarf zugeordnet werden.

2.2 Jahresbedarf Heizwärme und Warmwasser, sonstige systemrelevante Parameter

Zu erfassende Parameter für Solar- Ertragssimulationen und weitere Berechnungen:

a) *Warmwasserbedarf:* Hier gibt es typische Verbrauchsprofile, die hilfswise genutzt werden können.

Ist kein Warmwasserzähler installiert, kann ggf. als Faustformel 40 % der Wasserentnahme als Warmwasser angenommen werden. Bei Wohngebäuden ist der Verbrauch im Jahresverlauf annähernd gleichmäßig.

b) *Heizwärmebedarf:* Eingesetzte Heizenergie abzüglich des Bedarfs für die Warmwasserbereitung, ggf. Abzug fürs Kochen u.a. Prozesse

c) **Gebäudedaten:** beheizte Wohnfläche (in x Etagen - ersatzweise Gebäudemasse $L*B*H$), Auslegungs- Vorlauf (VL) und Rücklautemperaturen (RL) im Winter, Heizzeiten, Soll-Raumtemperaturen, Nachtabsenkung, Angaben zur Qualität der Gebäudehülle (U-Wert der Außenbauteile + Flächenanteile), Ausrichtung des Gebäudes (Definition der Montageseite mit Südabweichung, Dachneigung (bzw. Neigung der Kollektoraufstellfläche), verfügbare Montagefläche, Mitteltemperatur im Speicherraum. Einbringe- und Aufstellmaße für neue Puffer- oder Solarspeicher.

Tipp: Die verfügbare Kollektor-Montagefläche lässt sich einfach feststellen. Bei Ziegeldächern Lattenabstand, Latthöhe und Verlegebreite eines ganzen Dachsteines messen, Foto vom Dach anfertigen. Bei sonstigen Dachbelägen ein Metermaß (rechtwinklig aufgeklappter Zollstock mit je 1 m Schenkellänge) mit fotografieren. Am PC können kann das Foto gezoomt und bei einer bekannten Bezugsgröße die freien Flächen, Gauben-, Schornstein- oder Dachfenstermaße u.a. ermittelt werden.

2.3 Anlagenhydraulik - Komponenten, Einbindepunkte

Aufzunehmen sind:

Hydraulikschema (Flussbild), Kesseldaten (Min.- u. Max. -Leistung, Energieträger, Wirkungsgrad, Pumpe integriert oder extern), Mischer, Standort Kessel, Speicherdaten (Volumen, Durchmesser, Höhe, Leistung Wärmetauscher, Dämmung), Einbindehöhen für die Anbindung der Vor- und Rückläufe.

2.4 Betriebsweise - Reglereinstellungen, Nutzeranforderungen

Der Einfluss des Nutzers auf die Effektivität eines Wärmeversorgungsystems, das betrifft eine thermische Solaranlage ebenso wie jede konventionelle Heizungsanlage, wird in i.d.R. weit unterschätzt.

Zu erfassen sind:

Heizkurven (Steilheit und Parallelverschiebung)- ggf. Überprüfung-sind Kurven richtig angepasst? Heizzeiten, Zapftemperatur Warmwasser, tägliche WW-Bedarfsmengen, eingestellte Bereitschaftszeiten WW (Nachheizzeiten), Zirkulationszeiten.

2.5 Standortdaten zur Solarsimulation

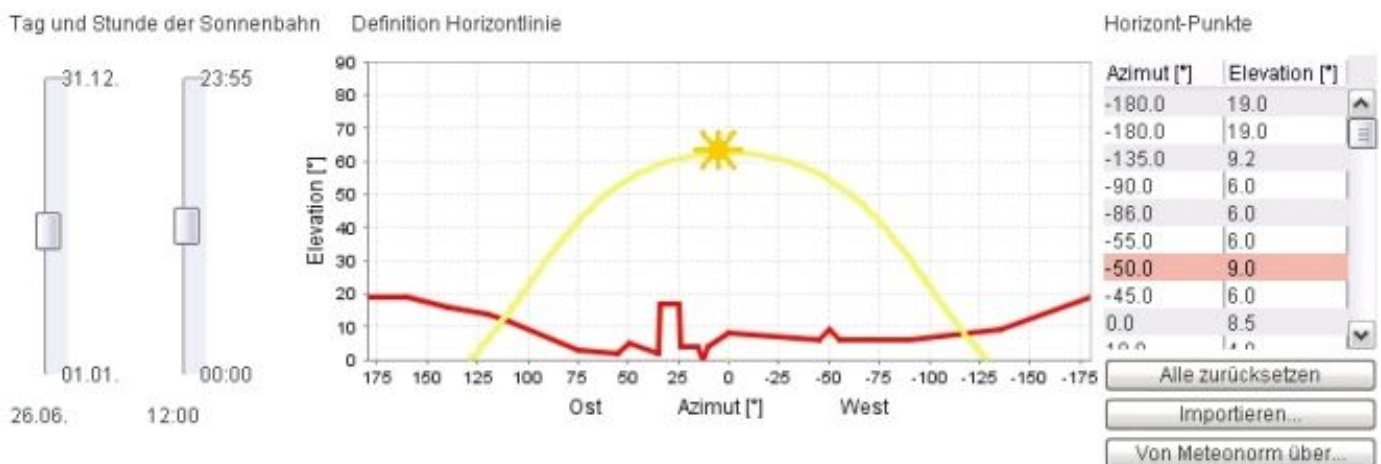
Zum Standort gehören die geografische Lage (Breiten- u. Längengrad) und die Horizontlinie des Objektes. Eine Auswahl an Standorten ist bei der Software mit den entsprechenden Klimadaten hinterlegt. Für andere Standorte ist die geografische Lage einzugeben, die Software berechnet die Klimadaten.

Die Ermittlung der Horizontes muss von Standort der Solaranlage aus gesehen erfolgen. Mindestens in einem 180 ° Winkel, besser 360°, ist die Verschattung durch das Gelände bzw. Häuser und Bäume zu erfassen. Hierzu gibt es verschiedene Verfahren.

a) *Kompass und Winkelmesser:* Alle Eckpunkte werden mit Werten erfasst und zu einer Horizontlinie verbunden.

b) *Fotoserie und Auswertesoftware:* Fotos werden aufgenommen und mit spezieller Software zusammen gefügt. Es ergibt sich ein Panoramabild, welches in den Verschattungsgenerator der Solarsoftware exportiert werden kann.

Horizont



Quelle: Vela Solaris AG [2]

Tipp: Auch bei einer Datenaufnahme mit Kompass und Winkelmesser sollte die Verschattung per Foto festgehalten werden. Dies dient als Nachweis der Berechnung bei sich später ändernder Verschattung.

Eine relevante Verschattung durch einen Baum sollte möglichst abgestellt werden. Dies kann ggf. in Absprache mit der Behörde durch eine Ersatzmaßnahme (Ersatzpflanzung) erfolgen. Vorteilhaft ist, schon vor dem Antrag den Ertragsverlust durch Berechnungen ohne und mit Verschattung zu ermitteln. Dies ermöglicht eine qualifizierte Argumentation. Der jährliche Solarertrag aus 1 m² Absorberfläche entspricht übrigens etwa dem Heizwert des jährlichen Holzzuwachses von ca. 5 Bäumen mittlerer Größe (30 jährige Nadelholzbäume). Nähere Berechnungen auf Anfrage.

3 Das Zusammenspiel der Solarkomponenten

3.1 Grundlegende Anforderungen an das System

Zu den Grundanforderungen einer Anlage gehört, daß die Komponenten mit ihren Leistungsdaten aufeinander abgestimmt sind und ein sicherer Betrieb gewährleistet ist.

Weiterhin gilt:

- Die Sicherheitseinrichtungen (Membran-Ausdehnungsgefäß und Sicherheitsventil) müssen so ausgelegt sein, daß ein sicherer Anlagenstillstand (Speicher beladen-keine Wärmeabnahme trotz Sonnenschein) möglich ist. Je nach hydraulischem Schema können weitere Armaturen, z.B. Vorschaltgefäß zur Temperaturabsenkung im Solarkreis notwendig werden.
- Maßnahmen zur Vermeidung des Legionellenwachstums, Arbeitsblatt des DVGW W 551 [3]
- Die Einbindung einer thermischen Solaranlage in ein Heizungssystem sollte so erfolgen, daß der solaren Wärmeerzeugung in allen Betriebszuständen der Vorrang gestattet wird. Eine konventionelle Heizungsanlage bzw. ein Nachheizelement soll erst dann aktiv sein, wenn über die Solaranlage im Heiz- und/oder Warmwasserkreis kein ausreichendes Temperaturniveau mehr erzielbar ist.
- Solarregler sollten neben der Steuerung der Solarpumpe alle neuen Regelaufgaben durch die Solareinbindung (Umschaltventile zur Fluidsteuerung, Ladepumpen, Zirkulationspumpe, Heizkreismischer-Steuerung, Heizkreispumpen u.a.) übernehmen können. Änderungen an einer Heizungsregelung außerhalb der zulässigen Bedienfunktionen des Reglers sind schon aus Gewährleistungs- und Haftungsfragen zu vermeiden. Zu den Solarreglern ist eine ausreichende Anzahl Sensoren (Fühler) mit der passenden Regelcharakteristik (z.B. PT 1000) zu liefern.

3.2 Kollektoren - die neuen Wärmeerzeuger

Es gibt heute sowohl von der Bauart als auch der Einbausituation völlig unterschiedliche Kollektoren.

Bei der Planung einer Solarwärmanlage interessieren aus energetischer und ökonomischer Betrachtungsweise insbesondere folgende Fragen:

- Ist der Kollektor zertifiziert, erfüllt er ggf. die Anforderungen an eine Förderung?
- Eignet sich der betrachtete Kollektor sowohl von der gewünschten Einbausituation als auch den produktspezifischen Eigenschaften für einen dauerhaft sicheren und effizienten Anlagenbetrieb?
- Lassen sich bei der vorgesehenen Konfiguration die Erwartungen an eine definierte solare Abdeckung erfüllen?

Da Kollektoren die „Hauptkomponente“ einer Solarwärmanlage darstellen, versteht sich von selbst, daß ihre technischen Daten bei einem Angebot und einer Solarertragssimulation korrekt berücksichtigt werden.

So wie ein Motor im Auto „ruckeln“ oder „rund laufen“ kann, müssen diese Wärmeerzeuger von der Dimensionierung natürlich gut auf die Versorgungsaufgabe abgestimmt und sinnvoll betrieben werden. Das heißt, daß eine Überdimensionierung mit erhöhter thermischer Belastung ebenso kontraproduktiv ist wie z.B. falsche Reglereinstellungen oder ein ungeeignetes Hydraulikschema auf der Anwenderseite.

3.3 Speicher im Solar- und Heizkreis

Speicher haben die Aufgabe, gewonnene Sonnenenergie aufzunehmen und für verschiedene Anwendungen vorzuhalten. Die Beladung erfolgt über interne oder externe Wärmetauscher. Die Entladung kann durch die direkte Einbindung in Heiz- u. Warmwasserkreise oder über Umschichtungen erfolgen.

Allein durch die Art, Anzahl, Größe und Position der Be- und Entladeelemente gibt es eine nahezu unbegrenzte Zahl von Speichervariationen. Für die Be- und Entladung sind externe Plattenwärmetauscher, interne Schichtanlagen oder Glattrohr-, Wellrohr- oder Rippenrohr- Wärmetauscher, Innenspeicher, seltener die Mantelwärmetauscher üblich.

Solarsoftware gibt es bei den meisten Anbietern in unterschiedlichen Preis- und Qualitätsstufen. Vorteilhaft ist, wenn für eine Simulation eine genaue Abbildung der vorgesehenen Konfiguration der Solaranlage vorgenommen werden kann. Neben den Kollektoren sind die Speicher die wichtigsten Komponenten. Es erleichtert die Arbeit, wenn der vorgesehene Speicher mit allen relevanten Details aus einer Datenbank für die Simulation zur Verfügung steht.

Bild: Auswahl von Speichervariationen

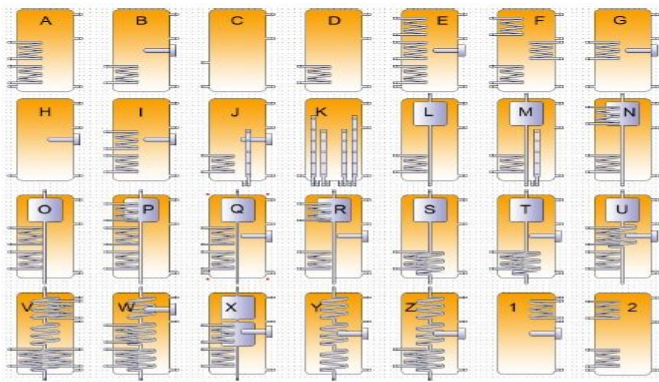


Abbildung 224: Speicher Variationen

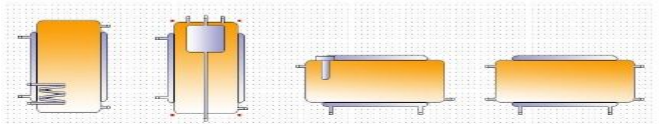


Abbildung 23 Beispiel: Speichervariationen mit Mantelwärmetauscher

Quelle: Vela Solaris AG

Eine größere Auswahl vorkonfigurierter Speicher ermöglicht eine rasche Dateneingabe. Anpassungen sind dann vorzunehmen, wenn der vorgesehene Speicher in seinem konstruktiven Aufbau nicht in der Auswahlliste enthalten ist.

Einen großen Einfluss auf das Ergebnis haben eine korrekte Abbildung von Art, Lage und Leistungsdaten der internen Wärmetauscher bzw. Schichtanlagen und deren Anschlusshöhen für die Fluidströme im Vor- und Rücklauf. Günstig ist, wenn die Höhen aller Anschlusspunkte von VL und RL entweder durch eine große Zahl vordefinierter Schichthöhen oder frei definierbarer Schichthöhen einstellbar sind.

Bild: Vordefinierte Anschlusshöhen

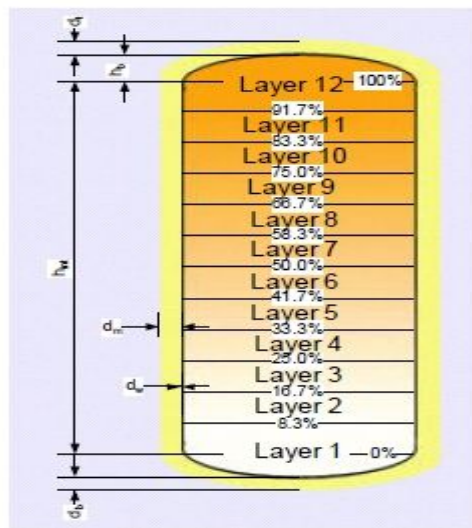


Abbildung 24: Speicherbemessung und Schichten (d_w =Dämmstärke, d_s =Dämmstärke beim Deckel, d_b =Dämmstärke am Speicherboden, d_w =Wandstärke, h_m =Höhe, h_b =Höhe der Ausbauchung)

Quelle: Vela Solaris AG

Bei Speichern sind dabei folgende Größen ertragsbestimmend:

- Speicherdaten mit: Inhalt in L, Höhe bzw. Durchmesser, Material der Wandung, Wärmeleitfähigkeit der Wärmedämmung mit Dicken an Wandung, Deckel u. Speicherboden,
- Interne Wärmetauscher mit: Tauscherfläche, Material, Höhe der Einbindung bei VL und RL, Anschlussverluste

Bild: Freie Positionierung von Wärmetauschern

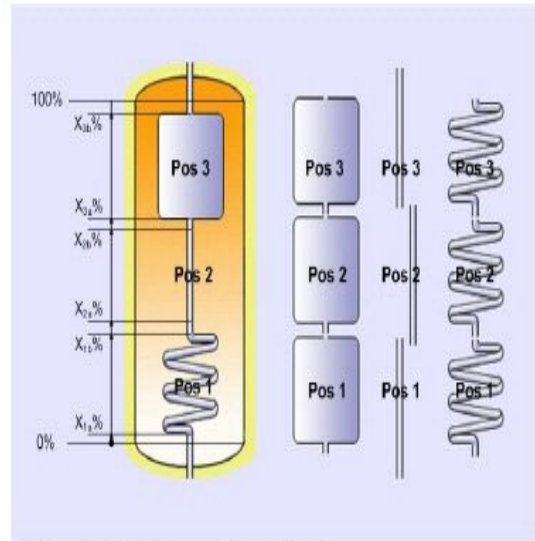


Abbildung 29: Positionierung interner Elemente

Bild: Frei definierbare Anschlusshöhen

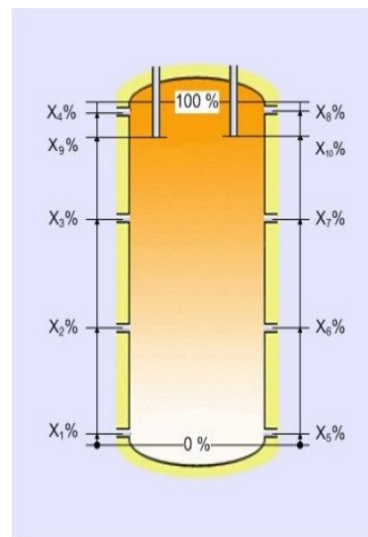


Abbildung 25: Anordnung der Stützen

Tipp: Anschlussverluste lassen sich minimieren, wenn alle Zu- und Abgänge absolut lückenlos mindestens nach ENEV gedämmt werden. Nicht angeschlossene Stutzen sind dichtschießend zu isolieren.

3.4 Die hydraulische Einbindung

Solar erzeugte Wärme ist von den Kollektoren mittels einer Wärmeträgerflüssigkeit zu den Speichern zu transportieren. Außer bei reinen Schwerkraftsystemen sind stets Pumpen und je nach Konfiguration eine Reihe weiterer Bauteile nötig, um die gewünschten Ergebnisse zu erzielen.

Die Höhe der solaren Abdeckung wird bei der Entscheidung für das hydraulische Gesamtkonzept entscheidend beeinflusst.

Sollen Speicher in Reihe, also nacheinander beladen und entladen werden oder sind sie parallel, also gleichzeitig zu durchströmen?

Soll der konventionelle Heizkessel in Reihe zwischen Heizungspufferspeicher und Verbraucherkreis eingebunden werden oder soll er lediglich den/die Speicher nachheizen und erfolgt die Anbindung des Heizkreises direkt an die Puffer?

Jede dieser Lösungen hat Vor- und Nachteile. Wenn keine zwingenden Gründe für eine bestimmte Lösung vorliegen, gilt stets, die Auswirkung verschiedener Lösungswege auf die Höhe des solaren Deckungsanteils zu überprüfen und den Bedarf an konventionellen Energieträgern zu minimieren.

Nicht nur Anzahl, Größe und Anordnung von Speichern hat einen gewichtigen Einfluss auf den Solarertrag, auch die Einbindehöhen an den Speichern, die richtigen Fühlerpositionen und Reglereinstellungen wirken entscheidend mit. Unter Pkt. 4 werden weitergehende Betrachtungen zu den einzelnen Einflussfaktoren angestellt.

3.4.1 Rohrleitungen, Fluide

Der Wärmetransport erfolgt im Solarkreis meist über Wasser-Frostschutz-Gemische, im Heiz- oder WW-Kreis mit Wasser.

Im Solarkreis sind solche Materialien (Rohre, Fittings, Armaturen) einzusetzen, welche für die hohen Temperaturen im sommerlichen Betrieb und zeitweise Anlagenstillstände geeignet sind.

Solaranlagen, die ganzjährig in Betrieb sind, müssen ebenso frostsicher ausgeführt werden. Frostschutzmittel und Wasser sind in dem Verhältnis zu mischen, dass eine für die Region zu erwartende tiefste Aussentemperatur störungsfrei gemeistert wird. Übliche Frostschutzmittel haben die Eigenschaft, ab einem bestimmten Anteil zunächst einer gallertartige Konsistenz zu erreichen, bei noch tieferen Temperaturen dann in einen festen Aggregatzustand über zu gehen. Während in der Phase der gallertartigen Konsistenz keine Sprengwirkung zu erwarten ist, steigt die Gefahr für die Kollektoren und außenliegenden Rohrleitungen bei weiter fallenden Temperaturen durch die einsetzende Sprengwirkung bei fester Konsistenz des Fluids.

Die nötigen Mischungsverhältnisse sind den Herstellerunterlagen zu entnehmen. Hierbei sollte ebenso ein kurzfristiger Extremwert bei der Minustemperatur berücksichtigt werden.

Darüber hinaus gehende Erhöhungen von Frostschutzkonzentrationen sind aus verschiedenen Gründen aber zu vermeiden (sh. 4.7.1.1).

3.4.2 Wärmetauscher, Pumpen, Schaltventile und Co.

Je nach Komplexität der Regelaufgabe im Solar-, Heiz- und Warmwasserkreis sind u.a. folgende Elemente anzutreffen:

Wärmetauscher:

Der Name deutet es an, es wird Wärme getauscht, besser gesagt übertragen. Sie dienen zunächst zur Trennung unterschiedlicher Fluide. Heizungswasser heizt das Warmwasser nach oder Frostschutzgemische der Solaranlage heizen das Heizungs- oder Trinkwasser auf. Neben der Systemtrennung haben sie die Aufgabe, die Energie zugleich in einer angemessenen Zeit übertragen zu können.

Wärmetauscher sind mit ihrer Übertragungsleistung auf die Bedingungen von Primärkreis (z.B. Kollektorfeld, Heizkessel) und Sekundärkreis (z.B. Speicher, Wärmebedarf Heizkreis, Zapfleistung Warmwasser) abzustimmen.

Es wird zwischen externen Wärmetauschern (Platten-, Rohrbündel-, Mantelwärmetauscher) und internen Wärmetauschern (Glattrohr-, Wellrohr-, Rippenrohrwärmetauschern unterschieden.

Eine ausreichende Dimensionierung gestattet Systemtemperaturen und somit gleichzeitig Verluste niedrig zu halten.

Pumpen:

Pumpen ermöglichen einen bedarfsabhängigen Transport von Fluiden. Solarpumpen oder vorgefertigte Solarstationen werden wegen der Temperaturbelastung meist in den Solarrücklauf eingebaut. Drehzahlgeregelte Pumpen sparen Energie und erzielen ein besseres Teillastverhalten.

Bei Solar- und Heizungsanlagen geht der Trend zum Einsatz von Pumpen in EC-Bauweise bzw. der Energieeffizienzklasse „A“. Die Förderung von Pumpen innerhalb des Marktanreizprogrammes zur Nutzung erneuerbarer Energien ist an eine verbesserte Effizienz gebunden. Infos dazu auf der Seite des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (www.bafa.de).

Schalt- und Mischventile:

Schaltventile erlauben eine Umschaltung oder Sperrung in der Fließrichtung von Fluiden. Nach Beendigung der Schaltzeit (mehrere Sekunden bis über eine Minute) wird auf einen Ausgang betrachtet der Flüssigkeitsstrom vollständig frei gegeben oder gesperrt. In der Solarwärmetechnik sind motorische 3-Wege-Umschaltventile für die wechselseitige Beladung von Speichern und motorische 2-Wege-Ventile als Durchgangsventile zur Absperrung bzw. Freigabe einer Fließrichtung üblich.

Mischventile mischen Eingangsströme auf einen Ausgangsstrom mit den gewünschten Parametern (z.B. Solltemperatur). Neben den motorisch angesteuerten Ventilen finden insbesondere thermostatisch wirkende Mischer Anwendung, speziell als Brauchwassermischer zur Begrenzung der Zapftemperaturen.

3.5 Solarregler - Schaltzentralen für Heizung, Warmwasser und mehr

Solarregler steuern längst weit mehr als eine Solarpumpe. Je nach Ausführung können gleichzeitig die verschiedensten Aufgaben übernommen werden:

- Ansteuerung von Umschaltventilen, Mischventilen oder weiteren Pumpen zur Fluidsteuerung
- Steuerung witterungsgeführter Heizkreise incl. Fernversteller
- Wärmemengenmessung
- Datenkommunikation mit externer Technik zur Überwachung und Einstellung

Weitgehend variable Zuordnungen von Regelfunktionen für die angeschlossenen Verbraucher gestatten es, selbst mehrfach verknüpfte Regelaufgaben exakt auf die Anforderungen einer effizienten Betriebsweise einzustellen.

3.5.1 Fühler und Relais

Solarregler verarbeiten Eingangssignale von Sensoren und leiten Schaltvorgänge über verschiedene Relais Typen ein. Je nach Anwendung können Tauchsensoren, Flächanlegesensoren oder Rohranlegesensoren zum Einsatz kommen. Die runden Tauchsensoren werden in Fühlerhülsen oder Fühlerklemmleisten am Speicher eingeklemmt. Die Regelcharakteristik des Reglers (**Positiver Temperatur Coeffizient** oder **Negativer Temperatur Coeffizient**) muß mit der Ausführung der Sensoren überein stimmen. Heute sind PTC-Regler mit Sensoren Pt-1000 üblich.

Tipp: Zur Verbesserung der Wärmeübertragung von der Wärmequelle an den Sensorkopf kann der Sensor mit Federelementen dauerhaft festsitzend geklemmt werden. Die Wärmeübertragung wird ebenso durch Bestreichen mit einer Sensorpaste erhöht. Wichtig ist weiterhin, daß neben dem Sensorkopf noch mindestens eine Handbreit angrenzendes Sensorkabel unter der dicht anliegenden Isolierung fixiert bleibt. Isolierungen sind dabei so auszuführen, daß eine innere, thermische Wärmeströmung ausgeschlossen wird.

3.5.2 Temperaturdifferenzfunktionen und Thermostatfunktionen

Für die Definition gewünschter Betriebszustände eignen sich in der Solar- und Heizungstechnik insbesondere Temperaturdifferenz- und Thermostatfunktionen.

In der Programmiersprache können Werte den Wert 1 (= wahr) oder 0 (= falsch) annehmen.

Bei der *Temperaturdifferenzfunktion* (Δt -Funktion) werden zwei Messwerte verglichen. Ist der erste Wert größer als der zweite Wert, ist der logische Wert = 1, das zugeordnete Relais kann angesteuert werden.

Über festgelegte Einschalt- und Ausschalttemperaturdifferenzen wird das Regelverhalten bestimmt. Damit läßt sich eine Bandbreite bei der Aktivierung einstellen.

z.B. $\Delta t_{\text{ein}} = 4 \text{ K}$, $\Delta t_{\text{aus}} = 2 \text{ K}$

Als typischer Anwendungsfall gilt die Steuerung der Solarpumpe. Steigt die Kollektortemperatur hier um 4 Kelvin (K) über die Temperatur am zugeordneten Speicherfühler, wird die Solarpumpe eingeschaltet. Sinkt die Differenz auf 2 Kelvin wieder ab, schaltet auch die Pumpe ab.

Eine obere Begrenzung der Speichertemperatur ist natürlich erforderlich. Dies kann sich z.B. aus dem Datenblatt oder der Anwendung heraus (z.B. Temperaturbegrenzung zur Vermeidung einer erhöhten Verkalkung) ergeben. Die Begrenzung der Speichermaximaltemperatur wird bei den Grundeinstellungen vorgenommen, eine interne Verknüpfung zur *Temperaturdifferenzfunktion* sorgt für die Einhaltung.

Die *Thermostatfunktion* [4] kommt bei der einfachsten Anwendung mit einem Messwert aus. Hierbei sind ein Ein- und ein Ausschaltwert zu definieren.

z.B. Th3 ein = 50 °C, Th3 aus = 55°C

Ein möglicher Anwendungsfall ist die Steuerung der Zirkulationspumpe. Sinkt die Temperatur am Sensor (x) vor der Zapfstelle im Beispiel auf 50°C ab, geht die Pumpe in Betrieb. Sie wird abgeschaltet, sobald die Temperatur wieder auf 55°C angestiegen ist. Je nach Algorithmus bei der Reglerprogrammierung können mit Thermostatfunktionen für die betrachteten Messstellen sowohl Minimal- als auch Maximaltemperaturbegrenzungen realisiert werden. Im obigen Beispiel wirkt das Thermostet als Maximaltemperaturbegrenzung.

Maximaltemperaturbegrenzung = Einschaltwert < Ausschaltwert

Die Thermostatfunktion wirkt als Minimaltemperaturbegrenzung, wenn die Wertigkeit der Schaltwerte umgekehrt wird.

Minimaltemperaturbegrenzung = Einschaltwert > Ausschaltwert

z.B. Th4 ein = 58 °C, Th4 aus = 57°C

Zusätzlich zur Funktion des Thermostats 3 kann hier mit einem weiteren Thermostet 4 eine Minimaltemperaturbegrenzung für die Wärmequelle (Speicher) festgelegt werden. Im Beispiel würde die Zirkulationspumpe nur anlaufen, wenn am zugeordneten Sensor (y) im Speicher mindestens 57°C anliegen.

Ohne die zusätzliche Minimaltemperaturbegrenzung könnten folgende unschöne Betriebszustände eintreten:

Fall a)

Wenn am Sensor x die Temperatur auf 50°C abgesunken ist, läuft die Zirkulationspumpe an, auch wenn im Speicher am Sensor y die Temperatur gerade bei 50°C oder niedriger liegt. Es könnte also keine Temperaturerhöhung am Sensor x erzielt werden, es wird nur Pumpenstrom vergeudet.

Fall b)

Die Temperatur am Sensor x ist auf 50°C gesunken und am Sensor y vom Speicher liegt eine Temperatur zwischen 51°C und 55°C an, dann schaltet die Zirkulationspumpe zwar ein aber ohne weitere Signaleingänge am Regler nicht mehr ab, weil die Ausschalttemperatur von 55°C infolge des Temperaturabfalls in der Warmwasserleitung nicht erreicht werden kann. In diesem Fall wird ebenfalls unnötig Pumpenstrom verbraucht.

Erfolgt die Zuschaltung die Zirkulationspumpe nur solange, wie alle Bedingungen der zugeordneten Funktionen (hier die Thermostate 3 und 4) erfüllt sind, wird das gewünschte Ergebnis erreicht.

Die Kenntnis der Algorithmen der Regelung und der Temperaturänderungen (Temperaturabfall in Leitungen) der Fluide an den Messstellen sind Grundvoraussetzungen für die sachgerechte Einstellung der Regelparameter.

Weitere Hinweise zur Optimierung der Schaltwerte sh. Pkt. 4.7.3.1

3.5.3 Zeitfunktionen

Die Schaltuhr ist als klassische Regelkomponente bekannt. In Solarreglern sollten möglichst mehrere digitale Schaltuhren unabhängig voneinander aktivierbar sein.

Damit lassen sich ergänzend zu den *Temperaturdifferenz- und Thermostatfunktionen* sinnvolle Begrenzungen von Schaltvorgängen herbei führen.

z.B.

- Begrenzung der Schaltzeiten auf die Haupt-Heizzeiten (Umschaltventile, Heizungspumpen, Brenner, Lüfter)
- Begrenzung der Schaltzeiten für die Warmwasserbereitung (Nachheizung, Speicherumschichtung, Zirkulation)
- Deaktivierung einer Nachheizung in den Mittagsstunden (kurzzeitige, aber kaum spürbare Unterversorgung kalkuliert, dafür höhere solare Deckung)
- Nutzung von Niedertarifzeiten für Elektroenergie (thermische Desinfektion, Filterung, Speicherumschichtung, Akku-Beladung)

3.5.4 UND-ODER-Verknüpfungen

Je nach Regelaufgabe kommen UND bzw. ODER- Verknüpfungen zum Einsatz.

Die Aktivierung der Zirkulationspumpe (Beispiel sh. Pkt. 3.5.2) erfordert eine UND- Verknüpfung, da hier alle Einschaltbedingungen (Thermostate 3 und 4 und ggf. zusätzlich eine Freigabezeit aus einer Schaltuhr) gleichzeitig vorliegen müssen.

Eine klassische ODR-Verknüpfung liegt vor, wenn z.B. über eine Solarpumpe und ein Umschaltventil zwei Speicher getrennt beladen werden sollen. Es wird über die Regelung abgefragt, ob eine positive Temperaturdifferenz vom Kollektorfühler zu den Speicherfühlern der Speicher 1 oder 2 vorliegt und wenn ja, wird beladen. Über einen einstellbaren Vorrang wird weiterhin festgelegt, welcher der beiden Speicher zuerst beladen wird, falls für beide Speicher eine solare Beladung möglich ist. Die Beladung des Vorrangspeichers erfolgt dann solange, bis entweder die eingestellte Ausschalttemperaturdifferenz (Δt aus) oder die Speichermaximaltemperatur ($T_{sp \max}$) erreicht ist. Danach prüft die Regelung, ob der Nachrangspeicher beladen werden kann.

Sind bei einer Anlage z.B. ein Solar-Trinkwasserspeicher und eine Heizungspufferspeicher eingebunden, ist i.d.R. zu empfehlen, den Solar-Trinkwasserspeicher als Vorrangspeicher festzulegen. Ähnliches kennt man aus der Verfahrensweise bei Heizungsanlagen, bei Solarwärmeanlagen bekommt es eine erweiterte Bedeutung:

- Niedrige Systemtemperaturen begünstigen hohe solare Erträge und sind daher generell anzustreben. Bei der Trink-Warmwasserversorgung würde eine weitere Unterschreitung als Komfortverlust empfunden werden.
- Kürzere Unterschreitungen bei den Soll- Vorlauftemperaturen im Heizkreis werden auf Grund der thermischen Trägheit vom Gebäude kaum wahrgenommen.

3.6 Sicherheitseinrichtungen im Solarkreis

Im Unterschied zu einer konventionellen Heizungsanlage, bei der sich ein Brenner bedarfsweise an- oder abschalten läßt, scheint die Sonne zumindest zeitweise weiter, auch wenn beim Anwender keine Energie mehr benötigt wird. Die Anlage geht dann in den Stillstand, dies hat mehrere Auswirkungen.

Unabhängig vom Kollektortyp entstehen bei den Kollektoren und dem angrenzenden Solarkreis höhere Temperaturen, die thermische Belastung steigt.

Bei Flachkollektoren kommt es zur Verdampfung der Solarflüssigkeit mit einer Verdrängung zum Membran-Ausdehnungsgefäß (MAG). Hierbei steigt gleichzeitig der Anlagendruck. Bei einer (spätestens abendlichen) Abkühlung der Kollektoren fällt das Dampfpolster zusammen und die Solarflüssigkeit wird zurück in die Kollektoren gedrückt. Damit ist die Anlage wieder betriebsbereit.

4 Solarertrag planen und optimieren

4.1 Erfassung von Systemtemperaturen im Heiz- und Warmwasserkreis

Die Ermittlung von bisherigen Verbräuchen von Energie ist noch relativ einfach. Ein Blick auf die Energierechnungen gibt einen Jahresverbrauch in kWh aus. Dieser Jahresverbrauch beinhaltet bei Öl-, Gas- oder Festbrennstoffkesseln verschiedene Verluste. So werden die Kessel- und Abgasverluste von den Temperaturen im Brennraum und im Abgasweg sowie der Schaltheufigkeit von Brennern beeinflusst.

Deutlich schwieriger wird es, die tatsächlichen Systemtemperaturen bei der Beheizung in den Wintermonaten einzuschätzen. Fragt man einen Solarinteressenten, wie hoch in den letzten Wintern die Vor- und Rücklauftemperaturen z.B. bei 0°C und -15°C in Durchschnitt lagen, können meist keine genaueren Angaben gemacht werden.

Ebenso ist von Bedeutung, ab welcher Außentemperatur die Beheizung eingestellt und auf eine reine Brauchwassererwärmung umgestellt werden kann.

Bei einer höherwertigen Solarsoftware kann der jahreszeitliche Verlauf sowohl am Heizwärmebedarf als auch der jeweiligen Temperaturen gut abgebildet werden. Dies geschieht durch Eingaben und Weiterverarbeitung vielfältiger Daten zum Gebäude, der Anlagentechnik und den Nutzerdaten.

Da der zu berechnende Solarertrag ganz wesentlich vom Bedarf und den Temperaturkurven des Heizsystems abhängt, wird deutlich, daß insbesondere diese Eingabewerte mit Sorgfalt zu ermitteln sind.

4.1.1 Solare Warmwasserbereitung, Verbrauchsprofile

Bei der Warmwasserbereitung sind bisherige Solltemperaturen meist übers Jahr unverändert und können am Regler gut abgelesen werden.

Interessant sind weiterhin die Verbrauchsprofile. Hier können Schwerpunkte durch Morgen-, Tages- oder Abendspitzen vorliegen. Vorteilhaft ist, wenn bei der Simulationssoftware über alle Stunden des Tages die Verbrauchsanteile getrennt eingegeben werden können.

Weiterhin sind die Zirkulationszeiten festzulegen.

4.1.2 Solare Heizungsunterstützung, Ermittlung der Heizlast

Für Standard- Auslegungen der Solarwärmeanlagen genügt es, die Heizlast überschlägig zu ermitteln. Die Nenn- Wärmeleistung der Wärmeerzeuger gilt als grober Anhaltspunkt. Da die Wärmeerzeuger oft nach Überschlagswerten ausgelegt und dabei bewusst überdimensioniert wurden, empfiehlt es sich, während der Heizperiode die Heizlast möglichst mit einem einfachen Verfahren näher zu bestimmen.

Beispiel für Erdgasheizung:

- die gemittelte Raumtemperatur $t_i = 20^\circ\text{C}$
- die Außenlufttemperatur $t_a = 5^\circ\text{C}$
- die tiefste 2-Tages- Außentemperatur (Auslegungsgrenze) beträgt für diese Region -14°C
- der Nutzungsgrad ist während der Messphase mit 85% einzuschätzen
- während einer Stunde wurden lt. Zähler $0,446 \text{ m}^3$, bei Umrechnung mit einem angenommenen Brennwert von $11,2 \text{ kWh/m}^3$ ca. 5 kWh verbraucht (die Warmwasser- Nachheizung wurde in dieser Zeit deaktiviert)

Damit würde die Heizlast ohne einen Auslegungszuschlag für die Warmwasserbereitung näherungsweise wie folgt einzuschätzen sein:

$$\frac{(20^\circ\text{C} - (-14^\circ\text{C})) * 5 \text{ kWh} * 0,85}{(20^\circ\text{C} - 5^\circ\text{C}) \quad h} = 9,63 \text{ [KW]}$$

Der so ermittelte Wert dürfte im Regelfall deutlich niedriger als die Nenn-Heizleistung vom Wärmeerzeuger liegen und sollte für die Solarertragsberechnung ersatzweise eingesetzt werden.

Bei einer Ölheizung ist eine genauere Bestimmung über den Ölverbrauch bei einem kurzen Erfassungszeitraum durch die Messungenauigkeit kaum möglich. Hier könnte ggf. über einen längeren Zeitraum der Verbrauch erfasst und die Berechnung analog angesetzt werden. Beim Heizöl (Niedertemperaturkessel) kann mit einem unteren Heizwert von 10 kWh pro Liter (ohne zusätzliche Berücksichtigung des Nutzungsgrades) gerechnet werden. Der Energieeinsatz für die Erwärmung des Trinkwassers wäre abzuschätzen und in Abzug zu bringen.

Weitere Hinweise zu Heizwerten u. Nutzungsgraden sh. [www.sonnenbahn.de/Projekte & Infos/Ökonomie/Wärmepreise](http://www.sonnenbahn.de/Projekte%20%26%20Infos/Ökonomie/Wärmepreise)

4.2. Zielgrößen für die Auslegung von Komponenten

Eine thermische Solaranlage lediglich für die Warmwasserbereitung zu konzipieren, ist zwar immer noch häufig anzutreffen, aus energetischer wie ökonomischer Sicht höchstens zweite Wahl.

Die Kostenanteile für die Verrohrung, die Solarstation (Regler, Durchflusssteller, Manometer, Thermometer im Vor- und Rücklauf, ggf. Wartungseinheit) und die Sicherheitseinrichtungen (MAG, Si- Ventil) werden bei einer Anlage mit zusätzlicher Heizungsunterstützung nur unwesentlich größer.

Mit etwas mehr an Kollektorfläche und Speichervolumen steigt der Solarertrag hingegen oft um das Drei- bis Vierfache. Erst jetzt wird es möglich, daß der konventionelle Heizkessel auch ohne besonders ausgeklügelte Konfigurationen vom Frühjahr bis zum Herbst eine durchgehende Pause verordnet bekommt. Da sich eine Förderung (sh. www.bafa.de) auf die Brutto- Kollektorfläche bezieht, führt der erhöhte Förderbetrag der Anlagen mit integrierter Heizungsunterstützung gegenüber den Anlagen zur Warmwasserbereitung i.d.R. zu einer deutlich günstigeren Rentabilität.

Dazu kommt, daß an einen leistungsfähigen Pufferspeicher verschiedene Wärmeerzeuger angeschlossen werden können, das Gesamtkonzept wird so variabler bei der Einspeisung und Verfügbarkeit von Energie.

Heizungspufferspeicher sollten in den Übergangsmonaten möglichst einen Mehrtagesbedarf an Heizenergie speichern können. Damit wird Schwankungen im solaren Strahlungsangebot Rechnung getragen und ein ineffizienter Schwachlastbetrieb vom Heizkessel vermieden.

Hat der Pufferspeicher oder die Speichergruppe eine obenliegende, ausreichend große Zone zur Entnahme von Energie für die Trinkwassererwärmung, bieten sich verschiedene hydraulische Lösungen an. Das Trinkwarmwasser kann per Umschichtung auf einen (vorhandenen) Trinkwasserspeicher oder durch eine Frischwasserstation mit einem Plattenwärmetauscher bereitgestellt werden.

4.2.1 Auslegung nach Primärenergiebedarf

Bei der Erstellung von Nachweisen für eine angestrebte Kennzahl und Förderung geht es manchmal knapp zu. Wird ein bedarfsabhängiger Wärmeschutznachweis erstellt, darf ein erhöhter Solaranteil bei der Erzeugung berücksichtigt werden. Voraussetzung ist, daß eine gesonderte Simulation erstellt und dokumentiert wird. Der solare Deckungsanteil verbessert die Kennzahl des Jahresprimärenergiebedarfs Q_p .

Ist ein Gebäude mit einer geeigneten Software nach ENEV berechnet und gilt es, den Wert für Q_P zu senken, kann der gewünschte Zielwert für den solaren Deckungsgrad leicht durch Anpassungen im Dialog der Wärmeerzeugung ermittelt werden.

Hier kann es sich ergeben, daß eine über das ursprüngliche Vorhaben hinaus gehende Auslegung zu einer verbesserten Förderung führt und damit die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme weiter erhöht.

4.2.2 Auslegung nach Kostenoptimierung

Die Zielstellung einer Kostenoptimierung erfordert eine komplexere Vorgehensweise. Es sind die Kosten der Investition, die Energiekosten und die betriebsbedingten Kosten auf einen Betrachtungszeitraum zu bewerten. Eine gute Übersicht kann ein Vollkostenvergleich analog der Verfahrensschritte der VDI Richtlinie 2067- [5] Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen- liefern.

Dem Istzustand als Referenz kann eine Anzahl Solarkonzepte mit allen Kosten- und Erlösen gegenüber gestellt werden.

4.3 Kollektorneigung - Einflüsse auf Ertrag und Funktionssicherheit

Die Neigung des Kollektorfeldes bedingt Auswirkungen in mehrfacher Hinsicht. Abgesehen von den ggf. erhöhten Anforderungen bei der Montage sind neben dem Jahres-Solarertrag die Anfälligkeit gegen Hagelschlag, der Ablauf von Kondensat und die Lagesicherheit bei Sturm betroffen.

Es ist zu empfehlen, diese Einflussgrößen bei der Konfiguration zu berücksichtigen.

4.3.1 Kollektorneigung nach Ertrag optimieren

Beim Schrägdach ist die dachparallele Montage der Kollektoren oft anzutreffen. Eine Aufständigung wegen einer um wenige Grad steileren Kollektorneigung vorzunehmen, erzielt meist kein günstiges Kosten-Nutzen Verhältnis. Ganz anders sieht das bei der Flachdach-, Wand- oder Freiflächenmontage aus. Wenn die Kollektoren ohnehin mit einem Set zur Aufständigung montiert werden, sollte die Festlegung der Neigung möglichst nach Kriterien zur Ertragsoptimierung gewählt werden.

Je nach Versorgungsaufgabe können unterschiedliche Kollektorneigungen als optimal gelten. Für die erste Einstellung bei den Simulationen gilt:

- ein hoher, ganzjähriger Warmwasserbedarf (ohne Heizwärmebedarf) erfordert flachere Neigungen von ca. 30° bis 40°
- besteht ein hoher Heizwärme- und vergleichsweise geringer Warmwasserbedarf, sind Neigungen im Bereich von ca. 40° bis 50° günstig.
- bei Gebäuden mit sehr niedrigem Heizwärmebedarf und normalem Warmwasserbedarf sollten die Neigungen im Bereich ab 50° liegen
- bei Systemen mit Langzeit- oder Saisonspeicherung sind steilere Neigungen ab ca. 60° zu empfehlen. Hier ist ein Kompromiss zwischen Solarertrag und zeitabhängigen Speicherverlusten zu treffen.

Der Heizwärmebedarf des Objektes kann über eine entsprechende Software mit den Berechnungen zur Energieeinsparverordnung (ENEV) hinreichend genau nach Monatswerten ausgewiesen werden.

Liegt diese Bedarfskurve vor, können mit einer geeigneten Solarsoftware die Erträge monatsweise ermittelt werden.

Es ist leicht nachvollziehbar, daß steilere Anordnungen der Kollektoren die sommerlichen Erträge mindern, dafür in der ganzen übrigen Jahreszeit entsprechend erhöhen. Es gilt also, soweit als möglich auf nicht nutzbare, sommerliche Überschüsse zugunsten der gewollten Solarerträge in den Übergangs- und Wintermonaten zu verzichten. Dies läßt sich durch die gradweise anpassbaren Einstellungen der Software exakt berechnen.

Bei Simulationen werden meteorologischer Mittelwerte berücksichtigt. Kurzfristige Abweichungen können auch während der Zeitspannen mit der solaren Abdeckung zu Wärmeanforderungen führen. Hier hilft nur ein ausreichend bemessenes Puffervolumen, solche Schwankungen ohne die Inbetriebnahme eines Kessels zu überbrücken!

Konzepte mit Saisonspeicher erfordern eine komplexere Berechnung. Hier sind explizit die Zustandsänderungen am Saisonspeicher zu erfassen. Eine Grafik, welche die Zusammenhänge der Saisonspeicherung darstellt, ist unter an anderer Stelle auf dieser Website zu sehen.

4.3.2 Begrenzung von Schäden durch Kondensat, Hagelschlag und thermische Belastung

Die Abdeckungen von Flachkollektoren bestehen aus einem Solarsicherheitsglas. Obwohl „normale“ Hagelkörner meist keinen Glasbruch erzeugen, kommt es immer wieder vor, daß besonders große Hagelkörner an den Kollektoren einen Schaden anrichten. Auch wenn eine Elementarschadenversicherung den wirtschaftlichen Schaden reguliert, ärgerlich ist das.

Sind Kollektoren besonders steil ausgerichtet, verändert sich die Aufprallenergie auf das Glas durch Hagelkörner, sodaß die Gefahr eines Glasbruches deutlich verringert, wenngleich auch nicht völlig ausgeschlossen ist.

Die Neigung der Flachkollektoren hat ebenso einen Einfluss auf die thermische Belastung durch hohe Temperaturen und die Bildung von Kondensat. Insbesondere in den Sommermonaten wird kaum Energie für die Raumheizung benötigt, sodaß der vergleichsweise geringe Bedarf für die WW-Bereitung schnell abgedeckt ist. Anlagen, die sinnvoller Weise ebenso zur Heizungsunterstützung ausgelegt sind, gehen ohne weitere Wärmeabnahme dann in den Stillstand und erreichen hohe Temperaturen. Dies geht zu Lasten der Beständigkeit des Fluids und erzeugt eine erhöhte Kondensatbildung an den Glasunterseiten bei der späteren Rückkühlung in den Kollektoren. Bei hohen Neigungswinkeln kann das Kondensat auch besser an der Scheibe ablaufen statt auf die Absorberbleche abzutropfen.

Steilere Anordnungen bei den Flachkollektoren helfen, sowohl die Bruchgefahr durch Hagelschlag als auch die thermische Belastung zu reduzieren. Eine steilere Anordnung begünstigt ebenso den Selbstreinigungseffekt.

4.4 Ein- oder Mehrspeichersysteme?

Die erste Grobeinschätzung, ob sich beim Bau einer Solarwärmanlage für die Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung eher ein Kombispeicher oder eine Speichergruppe eignet, wird von folgenden Faktoren beeinflusst:

- Bei engen Raumverhältnissen für den neu zu installierenden Speicher ist i.d.R. ein Kombispeicher zu empfehlen. Eine Ausnahme bildet der Fall, daß ein Warmwasserspeicher von der bestehenden Heizungsanlage weiter genutzt werden kann. Die Einbindung erlaubt dann eine direkte Beladung vom neuen Pufferspeicher, die Nachheizung vom Heizkessel beschränkt sich auf Übergangs- und Wintermonate. Durch die Trennung steht mehr Volumen zur Verfügung, der Pufferspeicher läßt sich auch auf ein höheres Temperaturniveau beheizen.
- Liegen knappe Raumhöhen, aber ausreichende Raumgrößen vor, eignet sich das Mehrspeichersystem. Die Vorteile ausgeklügelter Schichtladevorrichtungen in Kombispeichern lassen sich durch das größere Speichervolumen mehr als wett machen. Geschichtete Be- und Entladungen können ersatzweise mit anderen Maßnahmen erreicht werden, sodaß eine größere Angebotsvielfalt geeigneter Speicher zur Verfügung steht.
Als Alternative zu einer Speichergruppe eignet sich ggf. die Montage des Speichers vor Ort. So können z.B. aus einzelnen Segmenten Stahlspeicher geschweißt oder Speicher aus glasfaserverstärktem Polyesterharz gefertigt werden.
- Bei Großspeichern mit mehreren Tausend Litern spricht das günstigere Verhältnis von Volumen zu wärmeabgebender Oberfläche dafür, die Einspeisung solarer Energie als auch die Wärmeentnahme über diesen Speicher abzudecken. Hier kommt es auf sinnvolle Speichereinbauten, Einbindehöhen und Schaltungen für die verschiedenen Anwendungen an. Ob eine Nachheizung des obenliegenden Warmwasser-Bereitschaftsvolumens durch die ebenso großen Speicherflächen (und damit höheren Speicherverluste) gerechtfertigt oder eine andere Lösung zu suchen ist, bleibt fallweise zu prüfen.
- Ein Konzept mit einer saisonalen Speicherung bedingt, daß der Großspeicher bei den Temperaturänderungen außerordentlich träge reagiert. Hier kommt die Aufgabe dazu, ein hohes Temperaturniveau im Saisonspeicher möglichst lange vorzuhalten. Aus diesen Gegebenheiten wird i.d.R. eine Lösung mit zumindest einem weiteren Speicher für kurzfristige Be- und Entladevorgänge zu überprüfen sein.

4.5 Solarschemen - Variantenauswahl

In einer Solarsoftware sind meist mehrere hydraulische Lösungen als Vorlagen vorkonfiguriert. Hierbei sind die wesentlichsten Speichertypen nach Bauart und verschiedenen Lösungen zur Be- und Entladung hydraulisch eingebunden.

Liegen keine erhöhten Anforderungen an die Genauigkeit einer Solarertragssimulation vor, genügt es, das Schema mit der größten Übereinstimmung insbesondere bei der Speichertechnik und ihrer Einbindung in das Heizungssystem auszuwählen und eine Anpassung der objektspezifischen Gegebenheiten vorzunehmen.

Hierbei sind dann, soweit die Software dies zulässt, die Parameter zum Gebäude (Wärmebedarf), dem Heizungssystem (Kesseldaten, Speicherdaten, Auslegungstemperaturen der Heizkreise, Leitungslängen, Dämmschichtdicken und Wärmeleitfähigkeiten) und den nutzerseitigen Einstellungen (Heizzeiten, Heizkurven, WW-Entnahme und Zapftemperaturen, Betriebszeiten) u.ä. einzutragen.

Ist die Anpassung erfolgt, kann eine erste Ertragssimulation vorgenommen und die Konfiguration als Referenzanlage abgespeichert werden. Nun lassen sich von dieser Vorlage Varianten generieren, bei denen sich die Auswirkungen von geänderten Speichervolumina, vergrößerter Kollektorfläche, anderen Regeleinstellungen u.s.w. untersuchen lassen. Die Optimierung von Regeleinstellungen kostet kein Geld und ist in jedem Falle zu begründen und umzusetzen.

Mehrkosten an der Solarwärmanlage durch leistungsfähigere Komponenten gegenüber der ursprünglichen Vorgabe führen naturgemäß auch zu höheren Solarerträgen. Dieser Zusammenhang kann durch einen Variantenvergleich mit Nachweis der Solarerträge und einer externen Wirtschaftlichkeitsbetrachtung dargestellt werden.

Auf der Habenseite können folgende Effekte stehen, die es bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zu berücksichtigen gilt:

- Erhöhter Solarertrag (Senkung der Kosten für die Nachheizung)
- Verbesserte Förderung (Basisförderung der Kollektoranlage kann in Abhängigkeit der energetischen Kenndaten vom Gebäude- darin ist Primärenergiebedarf mit Berücksichtigung der Solaranlage inbegriffen) wesentlich erhöht werden
- Bei höheren solaren Deckungsgraden eröffnen sich neue Versorgungslösungen (Nachheizlösung ohne Öltanklager und Ölheizung, kein Gasanschluss und Gasheizung, ggf. kein Schornstein)
- Erhöhte Versorgungssicherheit (immaterieller Wert- kann mit einer Versicherung verglichen werden)
- Einbindung in Marketing (nützlich bei gewerblichen Anwendern)

Lassen sich auf Basis einer sorgfältigen Simulation trotz einer leistungsfähigen Solarwärmanlage nur mäßige oder unbefriedigende solare Deckungsgrade erzielen (ca. 20 % oder weniger), deutet dies auf einige Schwachstellen an der Bauhülle und/oder der Anlagentechnik hin. Hier sollte der Anbieter ein Absatzinteresse zurück stellen und den Auftraggeber zu den Möglichkeiten eines vorgeschalteten, ganzheitlichen Energiegutachtens informieren.

Innerhalb eines umfassenden Energiegutachtens wird deutlich, welche Energiesparmaßnahmen insgesamt sinnvoll sind, wie sich damit der Energiebedarf stufenweise ändert und wie die Wirtschaftlichkeit der vorgeschlagenen Maßnahmen aussieht. Hier kann auch die Wirtschaftlichkeit einer Wärmeschutzmaßnahme mit dem Einbau einer Solarwärmanlage verglichen werden.

Zu empfehlen sind ggf. folgende Gutachten:

- „Vor Ort Beratung“ (sh. www.bafa.de).
- Gutachten, mit denen gesondert die erzielbaren Förderstufen der KfW Energieeffizienzhäuser (sh. www.kfw.de) berechnet werden.

4.6 Abbildung der Konfiguration bei erhöhten Anforderungen

Werden hohe solare Deckungsgrade angestrebt, ist ein Nachweis für die die Gewährung eines Effizienzbonus bei der Kollektorförderung oder eines KfW- Effizienzhauses oder Passivhauses nötig, ist eine korrekte Abbildung aller Komponenten im Solar-, Heiz- und Warmwasserkreis für eine qualifizierte Berechnung unverzichtbar.

Der Planer trägt eine Verantwortung sowohl gegenüber dem Auftraggeber für die Zusicherung bestimmter Eigenschaften der Anlage als auch gegenüber dem Fördermittelgeber.

Hier liegt es auch am Auftraggeber, entsprechende Berechnungen einzufordern bzw. vorab zum Bestandteil einer Leistung zu erklären.

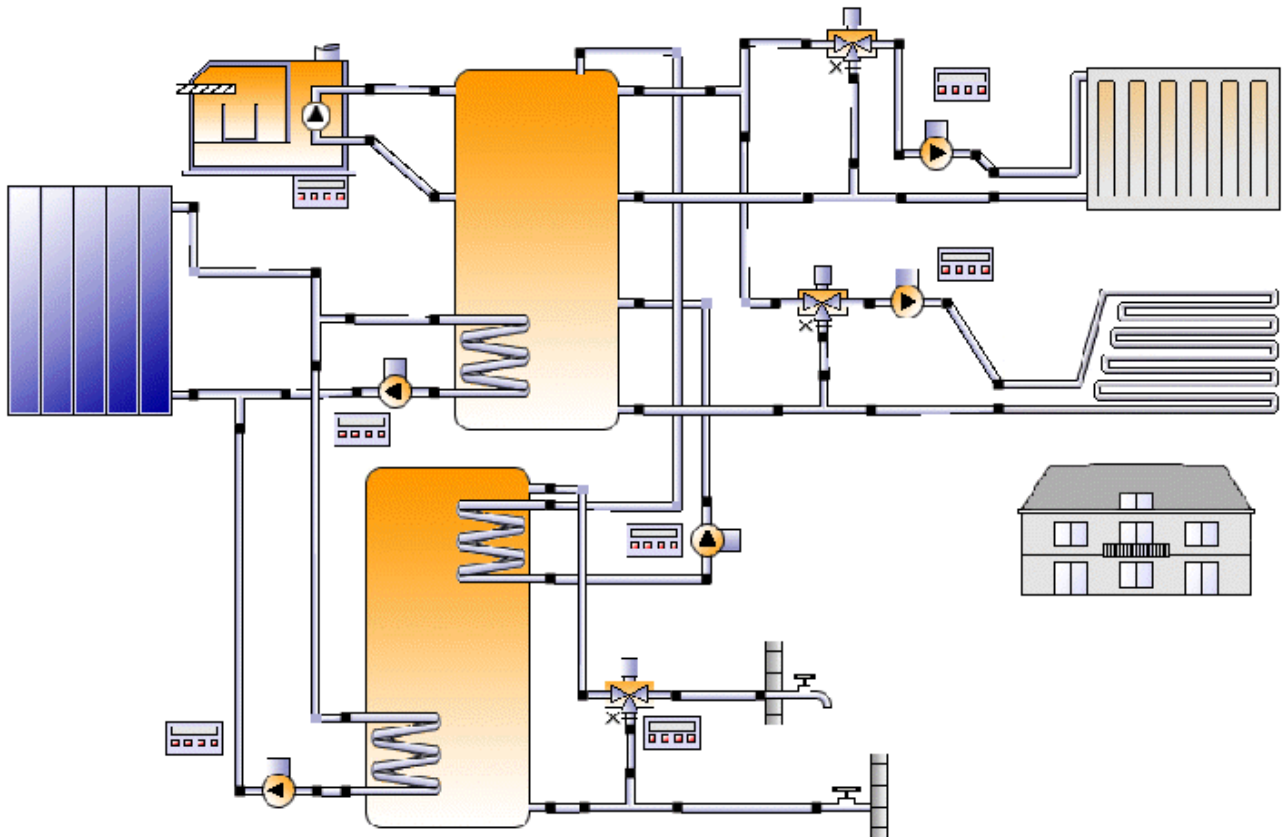
Während eine Solarsoftware im unteren Preissegment naturgemäß nur einen eingeschränkter Funktionsumfang bei der Darstellung und rechnerischen Berücksichtigung von Konfigurationen bietet, läßt sich mit einer verbesserten Benutzerstufe eine hohe Genauigkeit bei der Anpassung an die objektspezifischen Gegebenheiten erzielen.

Merkmale einer Simulationssoftware zur exakten Datenerfassung und Verarbeitung:

- Berücksichtigung Objektstandort (Längen- u. Breitengrad), Verschattungsgenerator integriert
- Freie Verknüpfung aller Komponenten (Konstruktion Hydraulikschema nach Gegebenheiten des Objektes)
- Freie Definition von Anschlusspunkten (Höhen von VL, RL) an Speichern
- Prüfung der Logik von Fluidströmen und Regelparametern (sonst ggf. Erkennung und Fehlermeldung)
- Detaillierte Definition von Leistungsdaten der Komponenten, Gebäudedaten, Verbrauchsdaten
- Auswahl und variabler Einsatz verschiedener Steuerungsfunktionen incl. Zuordnung von Schaltuhren
- Ausgabe umfangreicher, detaillierter Resultate

Die Software öffnet beim Anklicken der Komponenten Menüs, in denen ihre Eigenschaften definiert werden können. Die Reglersymbole zeigen an, welche Komponenten bzw. Bauteilgruppen zusätzlich mit angepassten Regelfunktionen zu belegen sind.

Nachstehend ein Beispiel für eine individuelle hydraulische Verknüpfung einer Solar- und Heizungsanlage mit einem Trinkwasserbereiter < 400 L und einem Pufferspeicher.



Quelle: Software Vela Solaris AG, Anordnung Komponenten durch Ing.-Büero Mentzel

4.7 Optimierung bei Hydraulik und Regelung

Ist eine gute Abbildung des hydraulischen Konzeptes gefunden, sollte diese als Referenzanlage zu weiteren Bewertungen gespeichert werden.

Relativ einfach und schnell umzusetzen ist nun, die Leistungsdaten der ertragsbestimmenden Komponenten einmal zu verändern und die Änderungen beim Solarertrag festzuhalten. Dies gilt ebenso für die Festlegung von Fühlerpositionen an den Speichern. Sind die Variationen im Rahmen verfügbarer Montageflächen oder Kostenlimits ausgereizt, könnte ggf. noch eine Alternativvariante bei der hydraulischen Anordnung mit analoger Vorgehensweise überprüft werden.

Auf die Bedeutung zahlreicher Details bei der hydraulischen Verschaltung, den Regelfunktionen und den Nutzeranforderungen wird in den folgenden Unterpunkten weiter eingegangen.

4.7.1 Fluidströme im Solarkreis

Durch das Frostschutz-Wasser-Gemisch wird Energie von den Kollektoren zu den innerhalb oder außerhalb der Speicher liegenden Wärmetauscher transportiert. Die Höhe des Frostschutzanteils im Gemisch bestimmt zunächst die Einsatzgrenze für einen sicheren Anlagenbetrieb. Das Frostschutzmittel hat durch seine abweichende spezifische Wärmekapazität gegenüber Wasser einen Einfluss auf die Fähigkeit, Wärme zu übertragen.

Aus energetischer Sicht wirken bei dem Wärmetransport vom Kollektor zum Wärmetauscher weitere Faktoren, wie der Druckverlust (beeinflusst durch Verschaltung von Kollektoren, Strömungsgeschwindigkeit, Mischungsverhältnis, Leitungsdimensionen und -Längen, Armaturen im Solarkreis) und den Temperaturen des Fluids.

Ziel ist daher, den Solarkreis energieeffizient zu planen und zu betreiben.

4.7.1.1 Frostschutz und Energieeffizienz, Aspekte

Frostschutzmittel gibt es, ähnlich wie Motorenöle, für verschiedene Temperatur-Einsatzbereiche.

Da bei Solarwärmeanlagen sowohl hohe Temperaturen insbesondere beim Anlagenstillstand im Sommer als auch tiefe Temperaturen im Winter auftreten, ist es sinnvoll, ein Frostschutzmittel mit einem möglichst breiten Temperatur-Einsatzspektrum einzusetzen. Für Solarwärmeanlagen mit Flachkollektoren werden üblicherweise Propylenglykole eingesetzt.

Da die spezifische Wärmekapazität der Propylenglykole [6] niedriger als die von Wasser ist, kann mit zunehmender Frostschutzkonzentration mit dem Gemisch weniger Energie transportiert werden. Die Frostschutzmittel haben weiterhin eine erheblich höhere Viskosität. Die Viskosität kennzeichnet die Zähflüssigkeit, mit zunehmender Viskosität vom Gemisch muß durch die Solarpumpe mehr Energie für den Transport aufgebracht werden.

Aus den Frostschutzanforderungen und den energetisch relevanten Eigenschaften ist daher stets ein Kompromiss bei der Festlegung des Mischungsverhältnisses zu treffen.

Zu der tiefsten Außentemperatur, die in der Region in den letzten Jahren aufgetreten ist, sollte noch ein Sicherheitszuschlag eingeplant und danach das Mischungsverhältnis eingestellt werden. Eine darüber hinaus weiterhin erhöhte Beimischung des Frostschutzkonzentrats führt zu einer Einbuße beim Solarertrag, die sich auch per Software berechnen läßt.

Sollte sich einmal ein Kälterekord mit einem neuen Extremwert anbahnen und könnte nicht rechtzeitig eine Erhöhung der Konzentration vorgenommen werden, gäbe es noch folgende Möglichkeiten, einem Schaden an den Kollektoren und der außenliegenden Solarleitung vorzubeugen:

- Rechtzeitige Aktivierung der Solarpumpe durch Umstellung am Solarregler von Automatikregelung auf Dauerbetrieb. In dieser Betriebsphase würde (mindestens in der Nacht) Wärme vom Speicher zum Kollektorkreis geschafft, die Frostgefahr mit einer Volumenausdehnung und einsetzender Sprengwirkung wäre gebannt. Dies setzt aber voraus, dass in dieser Zeit nicht noch der Strom ausfällt, ein Restrisiko verbleibt daher. Wird dies als Rettungsanker genutzt, muß die Umwälzung per Solarpumpe schon dann beginnen, wenn das Fluid noch vollkommen flüssig ist, da ansonsten nach dem Beginn der Bildung von einem Eisbrei die Pumpe nicht mehr fördert. Die Verhältnisse am Speicher müssten aber laufend kontrolliert werden. Am Speicher sollten ggf. bewusst nicht zu hohe Temperaturen eingestellt werden, andererseits darf es durch den Kühleffekt im Speicher zu keiner Vereisung des Heizungswassers im unteren Speicherbereich kommen. Vorstehendes ist insgesamt aufwendig und mit einem Restrisiko behaftet- höchstens als Notlösung geeignet.
- Die Anlage rechtzeitig entleeren. Wenn sich bei den Kollektoren die Anschlüsse oben befinden, würde ein Öffnen der Leitung im Heizungsraum nur die Leitung, nicht aber die Kollektoren entleeren. Diese Variante käme daher nur in Betracht, wenn auch die Kollektoren vollständig entleert werden können.

Die empfohlenen Mischungsverhältnisse zum Frostschutz können den technischen Informationen der Produkte entnommen werden.

4.7.1.2 Von High-Flow bis Low-Flow, strömungsabhängige Verluste

Die Verschaltung der Kollektoren und die Durchflussrate haben in mehrfacher Hinsicht einen Einfluss auf den Solarertrag.

Eine Reihenschaltung erhöht die Druckverluste und führt gleichzeitig zu einer höheren Temperaturspreizung zwischen dem Rücklauf- Eingang von dem zuerst durchströmten Kollektor zum Vorlauf- Ausgang des zuletzt durchströmten Kollektors. Der gleiche Effekt einer höheren Temperaturdifferenz zwischen Solarvor- und Rücklauf stellt sich ein, wenn das Kollektorfeld nur langsam (Low-Flow) durchströmt wird. Beim Low-Flow- Betrieb gibt es eine bessere Wärmeübertragung am Wärmetauscher im bzw. vor dem Speicher.

Eine größere Durchflussrate (*High-Flow*) senkt zwar die Kollektortemperatur und die dort entstehenden Verluste, erhöht aber die Druckverluste und somit die notwendige Pumpenleistung und benötigt evtl. auch eine größere Rohrdimension. Ein Mix aus Parallel- und Reihenschaltung bei den Kollektoren ist bei Anlagen mit einer Bruttofläche ab ca. 10 m² meist sinnvoll. Um in den getrennten Kollektorfeldern gleichartige Strömungsverhältnisse und Temperaturen zu bekommen, sollten sie gleich groß sein und nach dem Tichelmann-Prinzip angeschlossen werden.

Bei kleineren Anlagen führt der *High-Flow -Betrieb* mit Durchflussraten von ca. 30-40 L/m²*h (Liter pro m² Kollektorfläche in der Stunde) meist zu höheren solaren Deckungsgraden und ebenso an mehr gelieferter Energie an die Speicher (Rohrverluste zwischen Kollektorfeld und Speichergruppe sind bereits abgezogen).

Ein geringer Mehrverbrauch für die Solarpumpe wird dabei etwa durch Einsparungen beim Stromverbrauch der Kesselpumpe und einer Ladepumpe für die Warmwasserbereitung kompensiert.

Für kleinere Solarwärmeanlagen ist daher der *High-Flow- Betrieb* mit Ausnahme von Anlagen mit einem Schichtladesystem i.d.R. zu bevorzugen.

Werden die Anlagen größer oder haben längere Rohrleitungswege, schlagen die ansteigenden Leitungskosten zu Buche. Größere Rohrweiten würden auch die Rohrverluste erhöhen und das System insgesamt träger machen. Durch den abnehmenden Mehrertrag der gelieferten Energie an die Speicher ist der *High-Flow-Betrieb* meist nicht mehr gerechtfertigt, sodaß hier ein spezifischer Durchsatz von ca. 10-20 L/m²*h besser geeignet ist.

Durch detaillierte Analysen der Solaren Deckungsgrade [%], der an die Speicher gelieferten Energie [kWh], der Wärmeverluste an den Speicherraum [kWh], Stromverbrauch der Pumpen [kWh] und weitere Resultate sowohl in Jahres- als auch Monatswerten lässt sich die beste Einstellung finden.

Der Durchfluss wird durch ein Strangreguliertventil eingestellt. Wird über den Solarregler eine Wärmemengenmessung ohne externen Durchflussmesser vorgenommen, ist der eingestellte Wert am Durchflusssteller in die Regelung einzuprogrammieren.

Eine Sonderform bei der Durchflussrate stellt der *Matched-Flow-Betrieb* dar. Die Pumpendrehzahl wird dabei so geregelt, daß eine definierte Kollektoraustritts- Solltemperatur als Führungsgröße eingehalten wird. Weiterhin ist eine untere und eine obere Durchflussrate festzulegen. Die gleichbleibende Kollektor- Austrittstemperatur klingt zunächst schonend, die stark wechselnden Temperaturverhältnisse (von hoher Kollektor-Eintrittstemperatur bei fast beladenem Speicher bis zu niedriger Kollektortemperatur bei Bewölkung und kühlem Speicher) können kaum gleichbleibend effizient beherrscht werden. Regeltechnisch ist diese Betriebsart daher schwerer einzustellen.

Wird anstelle des *Matched-Flow-Betriebes* mit der begrenzten Kollektor-Austrittstemperatur eine Pumpen-Drehzahlregelung in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz zwischen Kollektor- und Speichertemperatur gewählt, läßt sich diese in Solarreglern oft integrierte Regelfunktion nutzen und dabei etwas Pumpenstrom sparen. Das Prinzip ist, daß nach dem Erreichen der Einschalt-Temperaturdifferenz die Pumpe zunächst langsam anläuft und mit der Zunahme der Temperaturdifferenz immer schneller läuft, bis sie schließlich ihre volle Drehzahl und Förderleistung erreicht.

Bei Einsatz einer Solarpumpe in Hocheffizienzbauweise wird der Strombedarf für die Pumpe bereits ohne externen Regelaufwand minimiert.

4.7.1.3 Vorrangschaltung bei solarer Beladung

Bei einem System mit einem Speicher zur Trinkwassererwärmung und einem Heizungspufferspeicher ist es meistens richtig, den Trinkwasserspeicher vorrangig und den Heizungspufferspeicher nachrangig zu beladen. Bei der Dimensionierung beider Speichertypen ist anzustreben, in den Übergangsmonaten im Frühjahr als auch im Herbst eine nahezu gleichzeitige Entladung zu erzielen. Damit lässt sich die Zahl der Aufheizvorgänge am Kessel etwas reduzieren und sich somit der Jahresnutzungsgrad vom Kessel verbessern. Dieser Aspekt hat kaum eine Bedeutung, wenn vom ausreichend großen Heizungspufferspeicher eine Umschichtung auf den Trinkwarmwasserspeicher vorgenommen werden kann.

Bei den Heizungspufferspeichern gibt es bei Mehrspeichersystemen eine Vielzahl an hydraulischen und regeltechnischen Verknüpfungen.

Die einfachste Lösung ist, diese Speicher in Reihe solar zu beladen und heizungsseitig ebenfalls in Reihe vom kältesten zum wärmsten Speicher zu entladen. Der einfach umzusetzenden Montage und Regelung stehen aber mehrere Nachteile gegenüber. Da schon zur Einhaltung der maximalen Speichertemperatur der Speicherfühler am zuerst durchströmten Speicher angeordnet werden muß, können die nachfolgenden Speicher nur schrittweise niedrigere Temperaturen erreichen. Damit wird die Kapazität speicherbarer Energie nicht ausgeschöpft, der Solarertrag sinkt.

Bei der solaren Beladung ist es daher sinnvoll, eine wechselseitige Einspeisung bis zur Speichermaximaltemperatur vorzunehmen. Aufwändiger wird es bei der effizienten Entladung. Aus energetischer Sicht ist vorteilhaft, ein Mischen von Fluiden von einem höheren auf ein tieferes Temperaturniveau für den Nutzerkreis weitgehend zu vermeiden. Wird später z.B. für die Warmwasserbereitung das höhere Temperaturniveau benötigt und Sonne scheint gerade nicht, müsste ggf. konventionell nachgeheizt werden. Bei der Heizkreis-Entnahme per Schichtlanze kann dies weitgehend umgesetzt werden. Das Konzept einer bedarfsabhängigen Entladung für den Heizkreis ist mit der Ansteuerung von Schaltventilen möglich.

Zu einem guten Energiemanagement an Speichern gehört ebenso, in den Speichern möglichst kalte Zonen im Bereich der Solarwärmetauscher zu schaffen. Dies kann durch Vorwärmung des Trink-Warmwasserkreises oder Rücklauf- Einbindung von Flächenheizungen erfolgen.

4.7.1.4 Geschichtete solare Beladung, Lösungen

Steht nur wenig Platz für die Montage von Speichern zur Verfügung, kann es sinnvoll sein, trotz der höheren Kosten auf einen Speicher mit Schichtladevorrichtung zurück zu greifen. Die solare Einspeisung erfolgt in der Schicht mit der gleichen Temperatur, die Durchströmung des ganzen Speichers von unten entfällt. Die bessere Schichtung führt dazu, dass ein höheres nutzbares Temperaturniveau schneller zur Verfügung steht. Dies ist insbesondere dann gewünscht, wenn über den gleichen Speicher die Energie für die Trinkwassererwärmung und die Heizungsunterstützung entnommen werden soll.

Kombispeicher sollten nicht wesentlich über 65°C beheizt werden, da oberhalb dieser Temperaturschwelle die Verkalkung im Trinkwasserteil zunimmt. In Edelstahl-Wellrohrwärmetauschern tritt durch das Wellenprofil eine erhöhte Verwirbelung auf, dies erschwert die Entstehung von Kaltablagerungen.

Dem Vorteil von Schichtladeeinrichtungen stehen die erhöhten Kosten dieser Technik und der Aufwand für eine Systemtrennung gegenüber. Für eine Systemtrennung der unterschiedlichen Fluide von Solar- und Heizkreis ist ein Wärmeübertrager (meist Plattenwärmetauscher) und eine zusätzliche Pumpe incl. Ansteuerung notwendig.

Durch Verwendung von Pufferspeichern mit mehreren internen Glattrohrwärmetauschern kann der Vorzug der geschichteten Beladung auch durch eine Umschaltung mit Schaltventilen weitgehend erreicht werden.

Bei ausreichend Platz empfiehlt sich ein Konzept, die Mehrkosten der geschichteten Beladung eher in einen vergrößerten Pufferspeicher oder besser gleich in eine 2-Speicher-Lösung zu stecken. Mehr Gesamt-Speichervolumen gestattet auch mehr speicherbare Energie für die folgenden trüben Tage.

4.7.2 Fluidströme im Heiz- und Warmwasserkreis

Über die Wärmeerzeuger, Speicher und das Rohrnetz incl. der Armaturen im Heiz- und Warmwasserkreis finden Wärmeverluste statt. Steht der Speicher bzw. der Wärmeerzeuger außerhalb der beheizten Zone des Wohnbereichs, ist der Minimierung der Wärmeverluste erhöhte Aufmerksamkeit zu schenken.

Die Systemverluste lassen sich durch folgende Maßnahmen senken:

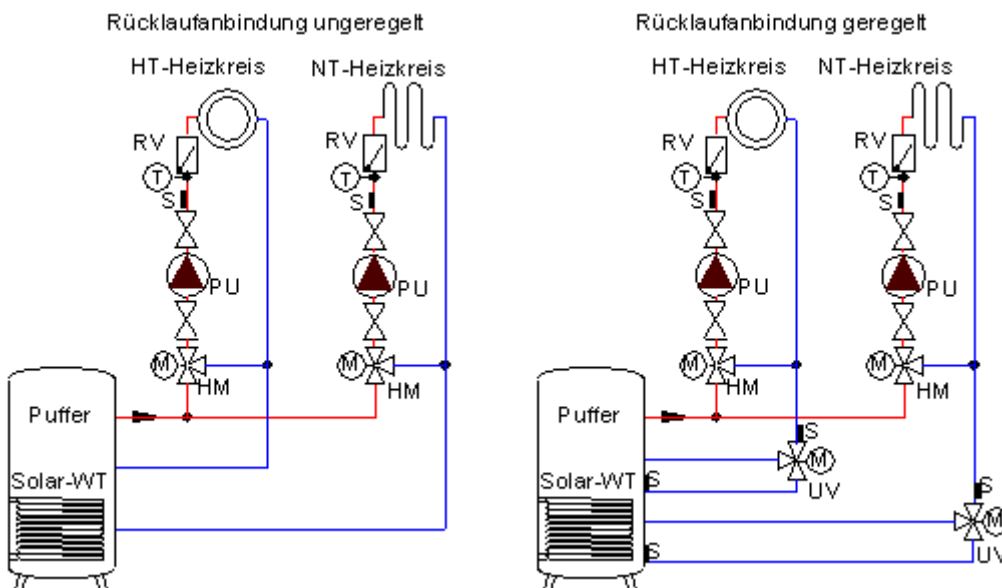
- Leistungsanpassung der Wärmeerzeugung an Norm-Wärmebedarf (Verbesserung Teillastverhalten)
- Anpassung Heizkurven (Steilheit, Parallelverschiebung) an Bedarf (Senkung Fluid-Temperaturen, besserer Wirkungsgrad)
- Hydraulischer Abgleich (bessere Wärmeverteilung, Senkung Fluid-Temperaturen, Senkung Volumenstrom und Hilfsenergie)
- Einbau von Hocheffizienzpumpen
- Mischung Heizkreis nahe am Wärmeerzeuger bzw. Speicher
- Durchgängige Dämmung, ggf. über Mindestanforderungen hinaus
- Vorrang von Lösungen zur Umschichtung von Wärme vor dem Nachheizen (sh. Pkt. 4.7.2.3)
- Verbesserte Zirkulationssteuerung (sh. Pkt. 4.7.2.7)

4.7.2.1 Differenzierte Rücklauf-Einbindung am Heizungspuffer

Zur Erhöhung des Solarertrags gilt es, die Zone in Höhe des Solarwärmetauschers für ein frühzeitiges Einschalten der Solarpumpe durch verschiedene Maßnahmen zu kühlen. Außerdem sind Schichtungen möglichst wenig zu zerstören.

Bei der Anbindung von Heizkreisen bieten sich verschiedene Konfigurationen an. Hat der Speicher keine interne Schichtlanze für die geschichtete Rücklauf-Einspeisung, sollte zumindest bei getrennten Heizkreisen mit unterschiedlichen Rücklauftemperaturen keine gemeinsame Rücklauf-Einbindung erfolgen, sondern eine abgestufte Einbindung vorgesehen werden. Bei größeren Speichern mit einer ausreichenden Anzahl von Anschlüssen lässt sich mit einer guten Abstufung die Einschichtung noch verbessern.

Beide Lösungen sind in nachstehender Grafik zu sehen.



Grafik: Ing.-büro Mentzel

Der Gewinn an solarer Einspeisung durch die differenzierte Rücklaufteinbindung kann mit einer guten Solarsoftware analysiert werden.

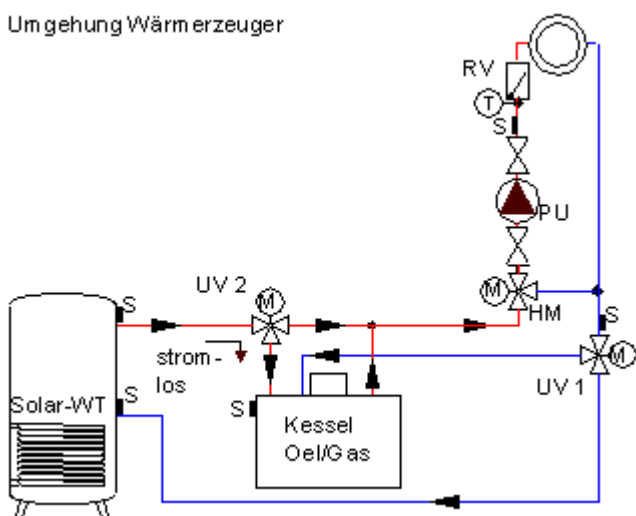
4.7.2.2 Umgehung des konventionellen Wärmeerzeugers

In den Sommer- und Übergangsmonaten, in denen rein solar geheizt wird, verlieren durchströmte Kessel wertvolle Solarenergie. Da vom Feuerraum eine gute Wärmeleitung über die Kesselwandung zum Heizwasser gewünscht wird, funktioniert dies auch umgekehrt. Dadurch werden mehrere Prozent der gespeicherten Energie vom Heizwasser über die Kesselwandung und den Abgasweg abgeführt.

Bei Öl- und Gaskesseln ist es oft sinnvoll, diese zunächst in Reihe zwischen dem Pufferspeicher und dem Heizungsnetz anzuschließen. Dabei heizt der Brenner nur nach, was die Solaranlage nicht schafft. Anders als bei Holzkesseln mit Stückholz braucht so ein Puffervolumen nicht auf Temperatur gehalten zu werden, die Pufferverluste sinken.

Damit der Vorteil der bedarfsabhängigen Nachheizung beim Haushalten mit solar erzeugter Wärme nicht zu einem Nachteil wird, sollte eine Umgehungsstrecke gebaut werden.

Die Grafik zeigt das Schema.



Grafik: Ing.-büro Mentzel

Das 3-Wege-Umschaltventil UV 1 gibt den Weg zur Pufferentladung frei, wenn im Puffer ein höheres Temperaturniveau als im Rücklauf des Heizkreises anliegt.

Beim 3-Wegeventil UV 2 empfiehlt es sich die Regelung so vorzunehmen, dass eine ungewollte Wärmeabgabe über den kalten Kessel vermieden wird.

Wird die Regelung über das zusätzliche Umschaltventil UV 2 nicht gewünscht, kann die Umgehung auch mit einem absperrbaren Bypass manuell vorgenommen werden. In diesem Falle sollten allerdings zusätzliche Maßnahmen gegen nachteilige Folgen einer Fehlbedienung vorgesehen werden.

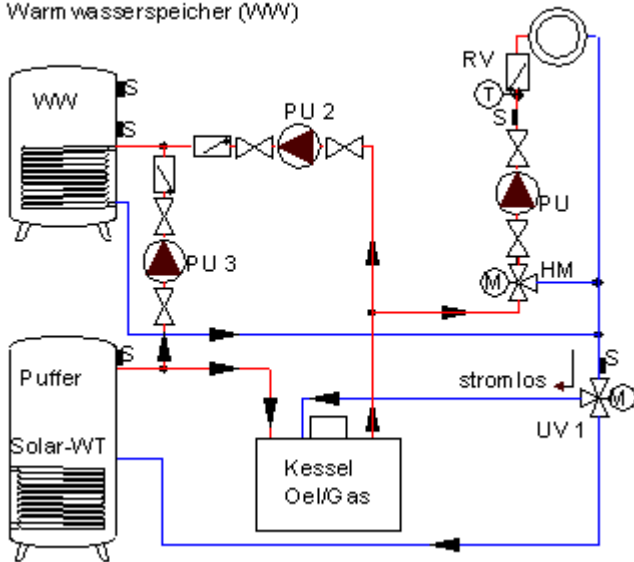
4.7.2.3 Umschichtung vom Heizungspuffer auf Warmwasser

Solange ein nutzbares Temperaturniveau nach einer solaren Beladung vorliegt, sollte dessen Nutzung Vorrang vor dem Nachheizen mit einem Kessel haben. Diese Konstellation ist öfters bei Mehrspeicheranlagen gegeben. Ein Heizungspufferspeicher ist noch warm, der Warmwasserspeicher ist durch eine Entnahme unter das gewünschte Temperaturniveau abgekühlt.

Die Lösung heißt Umschichtung, damit kann ein frühzeitiges Nachheizen verhindert werden. Da oft geringe Warmwassermengen entnommen werden, verursacht die Warmwasserbereitung im Sommer regelmäßig schlechte Wirkungsgrade bei den konventionellen Wärmeerzeugern. Die Umschichtung von Wärmeenergie vom Heizungswasser auf das Trink-Warmwasser ist i.d.R. daher effizienter als umgekehrt. Natürlich sollten die Bedarfsprofile und Speichergrößen beachtet werden.

Die Grafik zeigt das Prinzip der Umschichtung.

Umschichtung vom Puffer auf
Warmwasserspeicher (WW)



Grafik: Ing.-büro Mentzel

Funktion und Nutzen der Umschichtung über die Pumpe PU 3 sind wie folgt zu beschreiben:

Geht am Heizungsregler das Signal ein, daß die Solltemperatur am WW-Speicher unterschritten wird, würde der Brenner zünden und die WW-Ladepumpe PU 2 die Beladung aufnehmen. Ist im Puffer solar erwärmtes Wasser mit ausreichendem Temperaturniveau vorhanden, würde der Brenner am Kessel dann ausgehen, wenn das solar erwärmte Heizwasser vom Puffer am Kessel ankommt. Da die zusätzlich zu montierende Pumpe PU 3 über eine weitere Differenz- und Thermostatfunktion anzusteuern ist (sh. auch Erläuterungen unter Pkt. 3.5.2), kann die Umschichtung ohnehin erst erfolgen, wenn das Temperaturniveau am oberen Pufferausgang höher als das Temperaturniveau beim unteren Temperaturfühler vom WW-Speicher ist.

Sobald im oberen Pufferbereich ein höheres Temperaturniveau als im Rücklauf vom Heizkreis am Sensor vor dem 3-Wege-Umschaltventil UV 1 anliegt, ist das UV 1 bereits über eine weitere Differenzfunktion vom Regler angesteuert und mit dem Durchgang zum Puffer geöffnet.

Der Rücklauf vom Ladekreis des WW-Wärmetauschers geht daher über das UV 1 über den unteren Pufferbereich.

Die direkte Nachladung des WW-Speichers über den Puffer bewirkt, daß der Brenner am Kessel oftmals gar nicht erst zündet, auch wenn er kurz darauf wieder ausgehen würde.

Konfigurationen, bei denen ein vorhandener WW-Speicher in die neue Solarheizung mit eingebunden werden kann, bringen meist mehrere Vorteile:

- Niedrigere Anschaffungskosten, wenig Aufwand für die solare Beladung per Umschichtung
- Hohe Ladetemperatur im Heizungspuffer möglich, damit mehr gespeicherte Energie
- Keine erhöhte Verkalkung im WW-Speicher, die solare Beladung wird per Solarregler (auf ca. 65°C) begrenzt
- Vorteil gegenüber der Kombispeicherlösung. In den Übergangszeiten, wenn nur eine Nachheizung für die WW-Bereitung nötig ist, erfolgt kein Wärmeeintrag der Nachheizung auf das Puffervolumen.
- Der Solarertrag wird erhöht.

Tipp: Bei der Einbindung eines vorhandenen WW-Speichers in das Solarsystem ist einiges zu beachten:

Während bei der konventionellen Heizung für die Warmwasser-Erwärmung eine Beladung mit Vorlauftemperaturen von ca. 70°C benötigt wurde, können bei der Umschichtung von einem solar beladenen Pufferspeicher nun Temperaturen von bis ca. 90°C auftreten. Dies kann zur Ablösung festsitzender Verkrustungen im internen Wärmetauscher und zu tagelangem Auslauf von braunem Wasser führen.

Abhilfe: Vor dem Einbau der Solaranlage am Heizungsregler von Automatikbetrieb auf Handbetrieb umstellen und WW-Solltemperatur auf den maximal zulässigen Wert einstellen. Die Beladung einmalig auf die zulässige Temperatur lt. Datenblatt (z.B. 90°C) vornehmen. Vor der Einbindung in das Solarsystem den Speicher dann gründlich spülen und einer weiteren Überprüfung unterziehen. Dabei bei einem Stahlspeicher mit Opferanode diese prüfen und ggf. gleich erneuern. Da bei älteren Speichern mit einer Ummantelung aus Stahlblech oft Matten aus Mineralwolle lose um den Speicher gelegt sind, kann hier ggf. eine verbesserte Dämmung (dichtschließend, lückenlos, WLG 035) eingebaut werden.

4.7.2.4 Warmwasserbereitung mit Plattenwärmetauscher

Ist aus Platzgründen keine 2-Speicher-Lösung möglich, kämen folgende Lösungen für die solare Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung in Betracht:

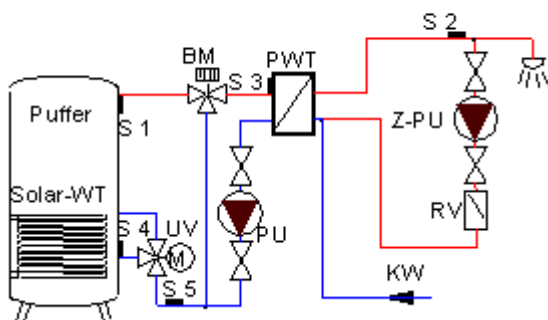
- Kombispeicher mit innenliegendem WW-Bereiter (Speicher)
- Kombispeicher mit integriertem WW-Durchflusssystem (Edelstahl-Wellrohr WT)
- Pufferspeicher mit externer Frischwasserstation

Der relativ einfachen hydraulischen Einbindung der Kombispeicher stehen einige Nachteile gegenüber. Dies betrifft das verringerte Volumen vom Heizungspufferwasser und/oder die zum Schutz vor Verkalkung zu begrenzende Speichermaximaltemperatur. Bei größeren Speichern wird die am Markt zur Verfügung stehende Auswahl geeigneter Kombispeicher zudem zunehmend eingeschränkt.

Puffer mit externer Warmwasserbereitung können hingegen bis zur produktabhängig maximalen Temperatur solar beladen werden. Dies erhöht den jährlichen Solarertrag. Die separate Warmwasserbereitung kann mit einer handelsüblichen Frischwasserstation vorgenommen werden. Ein weiterer Vorteil der externen Warmwasserbereitung ist, daß eine nahezu beliebige Zapfleistung (nur begrenzt durch die Leistung auf der Primärseite), erzeugt werden kann. Dies wird bei Mehrfamilienhäusern, im Pflege- und Gastronomiesektor u.ä. Bereichen genutzt.

Nachstehend ein Lösungsvorschlag für eine externe Warmwasserbereitung mit Zirkulationssteuerung und verbesserter Einschichtung

WW-Bereitung mit PWT + Zirkulation
+ differenzierter Einschichtung



Grafik: Ing.-büro Mentzel

Würde die Zirkulationspumpe (Z-PU) gemeinsam mit der Ladepumpe PU oder über eine Zeitschaltuhr angesteuert, käme es zu unnötig langen Laufzeiten der Zirkulation. Die Pumpe Z-PU ist daher mit getrennten Regelfunktionen anzusteuern (sh. auch Pkt. 4.7.2.5- Zirkulation nach Temperatur und Zeit).

Bei Entnahme von Warmwasser wird der Plattenwärmetauscher (PWT) sekundärseitig vom Kaltwasser durchströmt. Daher ist er auf der Primärseite am Sensor S3 während der Bereitschaftszeiten auf Temperatur zu halten. Der vorgeschaltete thermostatische Brauchwassermischer (BM) begrenzt die Eintrittstemperatur am Plattenwärmetauscher. Der Brauchwassermischer sollte einen Einstellbereich bis ca. 65°C haben.

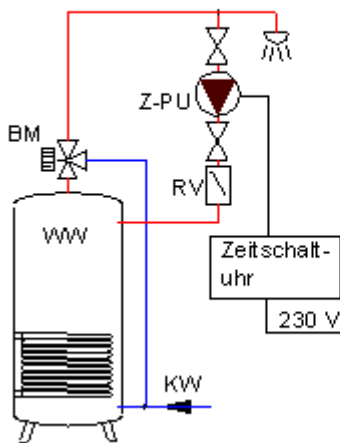
Das Umschaltventil (UV) kann optional eingebaut werden. Der stromlose Durchgang wäre bei dieser Lösung dann etwas oberhalb des Solarwärmetauschers anzuordnen. Der tiefer liegende Ausgang wird dann angesteuert, wenn infolge solarer Erzeugung oder beladenem Speicher am Sensor S4 ein höheres Temperaturniveau als am Sensor S5 anliegt. Die tiefere Einschichtung führt dann zur gewollten Kühlung des Solarwärmetauschers. Zur Festlegung der Einbindehöhen sind weiterhin die Einbindungen vom Heizkreis zu berücksichtigen.

4.7.2.5 Zirkulationssteuerung

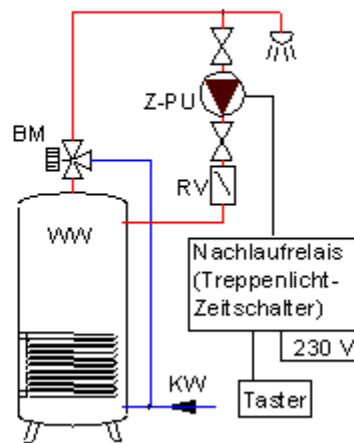
Durch die Bereitstellung erwärmten Wassers mittels einer Zirkulation entstehen Verluste. Dies betrifft den Strom der Zirkulationspumpe und Wärmeverluste im Zirkulationskreis.

Nachstehend ist eine Auswahl der üblichsten Lösungen zur Zirkulation dargestellt.

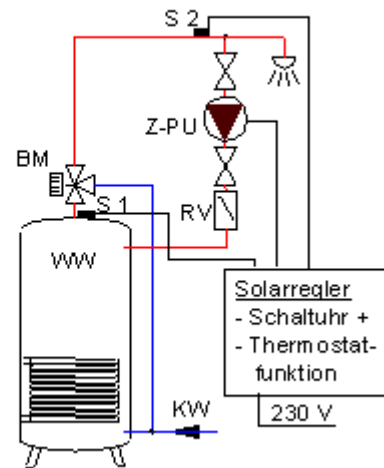
Zirkulation nach Zeit



Zirkulation auf Anforderung



Zirkulation nach Temperatur und Zeit



Grafik: Ing.-büro Mentzel

Zirkulation nach Zeit

Die Zirkulation mit einer analogen oder digitalen Schaltuhr ist weit verbreitet. Die Freigabezeiten sollten auf die Hauptbenutzungszeiten beschränkt bleiben. Auch wenn die Pumpenlaufzeit durch wechselseitig kurze Ein- und Ausschaltzeiten reduziert wird, entstehen bei dieser Lösung i.d.R. die höchsten Verluste.

Zirkulation auf Anforderung

Bei dieser Lösung wäre ein Nachlaufrelais und an den Zapfstellen jeweils ein Taster zu montieren. Die einstellbare Nachlaufzeit wäre mit der Zeit abzugleichen, welche für die Zirkulation vom Speicher bis zur entferntesten Zapfstelle benötigt wird. Alternativ zur Verlegung der Anschlussleitungen zu den Tastern kommt eine Lösung mit Funkschaltern und einem Steuergerät zur Ansteuerung der Pumpe in Betracht.

Rein energetisch betrachtet wäre die Zirkulation auf Anforderung am effizientesten, sie ist aber mit der Einschränkung einer Wartezeit bis zur gewünschten Auslauftemperatur an der Zapfstelle verbunden.

Zirkulation nach Temperatur und Zeit

Beim Bau einer thermischen Solaranlage bietet sich idealerweise die Steuerung der Zirkulation über den Solarregler an.

Vor Auftragsvergabe ist u.a. darauf zu achten, daß der Solarregler über die benötigten Regelfunktionen verfügt und weiterhin die nötige Anzahl von Sensoreingängen und den Relaisausgang für die Zirkulationspumpe frei hat.

Die Thermostatfunktion des Reglers aktiviert die Zirkulation zur Aufrechterhaltung der gewünschten Temperatur (hier am Sensor S 2 kurz vor der Zapfstelle) innerhalb eines einstellbaren Temperaturbereichs (z.B. $T_{h\ x\ ein} = 50^\circ\text{C}$, $T_{h\ x\ aus} = 55^\circ\text{C}$). Für die Wärmequelle (Speicher- hier am Sensor 1) wird über ein weiteres Thermostat gleichzeitig eine Minimalbegrenzung festgelegt (z.B. $T_{h\ y\ ein} = 58^\circ\text{C}$, $T_{h\ y\ aus} = 57^\circ\text{C}$). Die Zirkulation findet daher nur statt, wenn am Sensor 2 die Temperatur unter 50°C gesunken ist und gleichzeitig an der Quelle ein höheres Temperaturniveau (im Beispiel mindestens 58°C) anliegt und würde enden, wenn am Sensor 2 die Temperatur auf 55°C angestiegen ist oder am Sensor 1 die Speichertemperatur unter 57°C sinkt. Um zu einer kurzfristigen Abschaltung der Pumpe nach der begonnenen Zirkulation zu kommen, sollte die positive Differenz zwischen der unteren Quelltemperatur und der oberen Zapftemperatur nur geringfügig größer als das ΔT des Temperaturabfalls in der Leitung zwischen beiden Meßstellen liegen. Die Beispielwerte können ggf. für eine Kleinanlage im Sinne des DVWG Arbeitsblattes W 551 (Trinkwassererwärmer < 400 L, < 3 L Trinkwasser in Leitung) angewendet werden, sonst höhere Werte.

z.B. (untere Quelltemperatur - obere Zapftemperatur - Temperaturabfall in Leitung) = 1 [K]

Der Temperaturabfall in der Leitung läßt sich durch Messung bzw. Berechnung ermitteln

Weiterhin ist es sinnvoll, eine möglichst tiefe Entladung am Speicher zu ermöglichen, bevor über einen konventionellen Wärmeerzeuger nachgeheizt werden müsste. Mit einer geringen Differenz zwischen unterer Quellen- und oberer Zapftemperatur wird dies ermöglicht. Zusätzlich wären über die Schaltuhr Freigabezeiten festzulegen.

Allgemeine Anforderungen an eine Zirkulation:

Die Montage eines thermostatischen Brauchwassermischers ist sinnvoll. Damit kann bereits am Speicherausgang die gewünschte Maximaltemperatur eingestellt werden. Hat der Solarspeicher z.B. 65°C und würde die gewünschte Zapftemperatur maximal 55°C betragen, würden ohne Brauchwassermischer erhöhte Verluste in der Warmwasserleitung entstehen. Der

Brauchwassermischer erfüllt zusätzlich die Funktion eines Verbrühungsschutzes. Die Hysterese der oberen und unteren Zapftemperatur sollte einige Kelvin betragen, um ein zu häufiges Takten der Zirkulationspumpe zu vermeiden.

Die Warmwasser-, Kaltwasser- und Zirkulationsleitung einschließlich aller Fittings sind durchgängig zu isolieren. Schellen sind dabei so anzuordnen, daß sie Rohrleitung incl. Dämmung umschließen, um eine wärmebrückenfreie Dämmung zu erhalten. Niedrige Zapftemperaturen sparen mehrfach Energie. Einerseits sinken die Leitungsverluste, zugleich werden damit eine tiefere Speicherentladung und höhere Solarerträge möglich.

4.7.3 Regelfunktionen und Einstellungen

4.7.3.1 Optimierung von Schaltwerten

Es ist sicher nachvollziehbar, daß nur sinnvoll ausgewählte Regelfunktionen und Einstellwerte für eine hohe Effizienz bei der Steuerung sorgen können.

Beispiel:

- Für die Solarpumpe ist ein Δt ein von 8 Kelvin (K) und ein Δt aus von 4 Kelvin (K) eingestellt
- Sensor 1 (S1) befindet sich am Kollektor
- Sensor 2 (S2) befindet sich in Höhe des Solarwärmetauschers am Speicher

Hat der Speicher aktuell am S 2 eine Temperatur von 40°C, würde die Solarpumpe erst anlaufen, wenn die Temperatur am S1 auf 48° C (40° C + 8 K) angestiegen ist.

Was ist, wenn bei leichter Bewölkung die Temperatur am Kollektor aber nur auf ca. 45°C ansteigt? Dann wird Energie verschenkt, weil die Solaranlage nicht läuft.

Wie sind also die richtigen Schaltwerte zu ermitteln? Für die Optimierung dieser Funktion können zunächst unterschiedliche Aufgaben entscheidend sein.

Fall a):

Im Sommer gibt es bei allen Solarwärmeanlagen für die Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung eine Überkapazität, da in dieser Zeit nicht geheizt wird. Will man die Abschaltung von Anlagen mit der damit verbundenen erhöhten thermischen Belastung der Komponenten vermindern, schaden ohne eine saisonale Speicherung die sommerlichen Verluste nicht, im Gegenteil.

Fall b):

In der gesamten übrigen Jahreszeit, wenn es darum geht, möglichst wenig mit konventionellen Energieträgern nachzuheizen, ist der solare Höchstertag gewünscht. Hier empfiehlt es sich, möglichst niedrige Werte für die Ein- und Ausschalttemperaturen festzulegen.

Was sind in diesem Zusammenhang möglichst niedrige Werte?

Beispiel:

Der Regler läßt bei der Eingabe der *Temperaturdifferenzfunktion* (Δt Funktion) Schritte von 0,5 Kelvin zu. Da die Einschalttemperaturdifferenz (Δt ein) höher als die Ausschalttemperaturdifferenz (Δt aus) sein muß, wären als kleinste Werte möglich:

$$(\Delta t \text{ ein}) = 1,0 \text{ K} \quad \text{und} \quad (\Delta t \text{ aus}) = 0,5 \text{ K}$$

Der Regler würde also so arbeiten, daß bei einer angenommenen Temperatur von 40°C am Speicherfühler die Solarpumpe dann zugeschaltet wird, sobald die Temperatur am Kollektorfühler den Wert von 41°C (40°C + 1 K) erreicht hat. Die Solarpumpe wird wieder abgeschaltet, falls die Temperaturdifferenz von Kollektorfühler zu Speicherfühler auf 0,5 Kelvin (die Temperatur am Speicherfühler wird zwischenzeitlich ja etwas höher liegen) gesunken ist.

Wenn man den erhöhten Bedarf an Hilfsenergie (Solarpumpe) und den Temperaturabfall im Solarvorlauf unberücksichtigt ließe, wäre der Einstellwert von 0,5 K für das (ΔT aus) in Ordnung. Natürlich ist es sinnvoll, diese Systemverluste zu berücksichtigen und angepasste Schaltwerte zu finden.

Für ein Einfamilienhaus mit üblichen Leitungslängen von ca. 10 bis 15 m zwischen Kollektorfeld und Speichereingang sowie üblicher, lückenloser Dämmung und ausreichend dimensionierter Leitung sind meist Werte von

$$(\Delta t \text{ ein}) = \text{ca. } 3,0 \text{ K} \quad \text{und} \quad (\Delta t \text{ aus}) = \text{ca. } 2 \text{ K}$$

sinnvoll.

Sind hohe solare Deckungsgrade gewünscht, eine verbesserte Dämmung vorhanden oder aus anderen Gründen ein genauerer Nachweis gefragt, lohnt sich die Festlegung der Schaltwerte auf Basis einer Berechnung und/oder Messung.

Bei der Messung des Temperaturabfalls zwischen Kollektorausgang und Speichereingang sollte eine mittlere Strahlungsintensität vorliegen, um so auch für den Anlagenbetrieb über das Jahr betrachtet zu geeigneten Ein- und Ausschaltwerten zu gelangen.

Damit der zusätzliche Solarertrag durch niedrige Ausschaltdifferenzen in einem günstigen Verhältnis zu den Stromkosten bei erhöhter Laufzeit der Solarpumpe steht, ist der Einsatz einer Drehzahlreglung für die Solarpumpe oder besser einer Hocheffizienzpumpe zu empfehlen.

4.7.3.2 Definition von Fühlerpositionen

Die Widerstände der Sensoren ändern sich in Abhängigkeit der Temperaturen. Diese Kennwerte sind im Regler hinterlegt, sodaß den messtechnisch erfassten Widerständen jeweilige Temperaturen zugeordnet und als Temperaturanzeigen ausgegeben werden.

Die sinnvolle Position der Fühler wird durch die Regelaufgabe bestimmt. In nachstehender Tabelle sind einige Anwendungsfälle definiert.

Günstige Fühlerpositionen können von den Empfehlungen in dieser Tabelle bei einer Kopplung mehrerer Regelaufgaben oder einer begrenzten Anzahl von Speicheranschlüssen abweichen. Sie lassen sich anlagenbezogen durch eine Analyse mit entsprechender Solarsoftware ermitteln.

Anwendung	Regelaufgaben	empfohlene Fühlerpositionen
WW-Bereitung mit Boiler oder Kombi-Puffer	- Vorratshaltung für größte Einzelzapfung ohne Berücksichtigung der Nachheiz-Leistung	Unterkante des berechneten Bereitschaftsvolumens
WW-Bereitung im Durchfluss (intern mit Wellrohr)	- Nachheizung zur Sicherung ausreichender Zapfleistung	Berechnung mit Leistungsdaten des WT, mittlerer Übertemperatur im Speicher und gewünschter Zapfleistung nötig
WW-Bereitung im Durchfluss (extern mit PWT)	- Temperaturhaltung am Plattenwärmetauscher (PWT)	Primärkreis am Eingang PWT (an Oberfläche PWT! - nicht an Rohrleitung)
	- Zeitweilig gegebene Kühlfunktion vom Primärkreis am Solarwärmetauscher nutzen	Oberhalb und im untersten Drittel vom Solarwärmetauscher (per Umschaltventil bedarfsweise angesteuert)
Anbindung Heizkreis Vorlauf (HK-VL) am Puffer	- Bereitschaftsvolumen für WW-Bereitung bei Kombispeichern ungestört lassen- Referenzfühler für Rücklaufanhebung (Umschaltventil)	Unterhalb vom WW-Bereitschaftsvolumen und etwas gleich hoch wie Ausgang HK-VL
	- VL-Temperatur witterungsgeführt (Öl- oder Gaskessel heizt Puffer- sh. weitere Hinweise)	Etwas unterhalb vom HK-VL
Anbindung Heizkreis Rücklauf (HK-RL) am Puffer	- Übertemperatur vom HK-RL gegenüber der Zone vom Solarwärmetauscher vermeiden	Oberhalb vom Solarwärmetauscher
	- Zeitweilige Kühlfunktion vom HK-RL gegenüber Solarwärmetauscher nutzen	Oberhalb und im untersten Drittel vom Solarwärmetauscher (per Umschaltventil bedarfsweise angesteuert)
WW-Zirkulation	- Schnellst mögliche Verfügbarkeit vom WW nach Beginn der Zapfung	WW-Leitung vor entferntester Zapfstelle und vor dem Abzweig der Zirkulationsleitung
Solare Beladung (gilt für WW- und Pufferspeicher)	- Höchst mögliche Speicherbeladung (1 Solar-WT) (bei mehreren Solar-WT analog je WT)	Ca. Unterkante des obersten Viertels zwischen Solar-VL und Solar-RL
	- Einhaltung der Speichermaximaltemperatur durch solare Beladung (nur informativ-sh. weitere Hinweise)	Speicherdeckel

Ergänzende Hinweise zu den Regelaufgaben und Fühlerpositionen:

Rücklaufanhebung allgemein:

Die Rücklaufanhebung stellt eine unkomplizierte Einbindung der solaren Erzeugung dar, da hierbei kein Eingriff in die Heizungsregelung vorgenommen werden muss. Alle neuen Regelaufgaben der Solaranlage lassen sich mit einem leistungsfähigen Solarregler umsetzen.

Wird ein Heizungspuffer solar beladen, können hohe Vorlauftemperaturen im Heizkreis auftreten. Zur Begrenzung der Vorlauftemperaturen ist die Montage eines Heizungsmischers, sofern noch nicht vorhanden, dringend zu empfehlen.

Hohe Puffertemperaturen erfordern ebenso eine Überprüfung der maximal zulässigen Eintrittstemperaturen am Wärmeerzeuger, sofern der Wärmeerzeuger in Reihe zwischen Puffer und Heizkreis durchströmt wird.

Ein Sonderfall stellt die Konfiguration dar, bei der ein regelbarer Wärmeerzeuger (Öl- oder Gaskessel) einen Heizungspuffer ansteuert und der Kessel nicht mehr vom Heizkreis durchströmt wird. Hier müsste der Kesselfühler zum Puffer versetzt werden, dies erfordert eine Zustimmung vom Kesselhersteller. Solche Lösungen sollten daher nur in Ausnahmefällen angestrebt werden.

Einhaltung Speichermaximaltemperatur:

Interne Solarwärmetauscher sind stets im unteren Speicherbereich angeordnet, nur so kann durch den thermischen Auftrieb der solar eingespeisten Energie ohne Zuführung von Hilfsenergie eine vollständige Beladung der Speicher erfolgen.

Für die Differenzregelung der Solarpumpe wird neben dem Kollektorfühler ein Speicherfühler benötigt. Dieser ist im oberen Bereich des Solarwärmetauschers anzuordnen. Ist ein Speicher bis zur eingestellten Maximaltemperatur lt. Datenblatt beladen, kann sich insbesondere durch Wärmeverluste vom Bereich dieses Speicherfühlers durch die Aufstellung (über Stehring bzw. FüÙe), auch durch ungedämmte Speicherböden, im oberen Speicherbereich eine höhere Temperatur als die programmierte Maximaltemperatur einstellen. Dadurch ist die Montage eines zusätzlichen Fühlers an der wärmsten Stelle des Speichers (am Deckel) zu empfehlen. Die zu programmierende Speichermaximaltemperatur ist daher um die zu erwartende oder zu messende Temperaturdifferenz der Überschreitung zu reduzieren.

Fixierung der Fühler:

Sensoren sind möglichst feststehend und gut leitend mit der Messstelle (Absorber, Speicher, Rohrleitung, Wärmetauscher u.ä.) zu verbinden (weitere Hinweise sh. Pkt. 3.5.1).

4.7.4 Aussetzen der Beheizung, zeit oder außentemperaturabhängig

Witterungsgeführte Heizungsregelungen erzeugen Heizkreis-Vorlauftemperaturen in Abhängigkeit der Außentemperatur. In den Mittagsstunden werden daher im Regelfall strahlungsbedingt die niedrigsten Vorlauftemperaturen benötigt. Soweit in diesen Zeiten gerade keine solare Einspeisung erfolgt, besteht zumindest die größte Wahrscheinlichkeit, daß das benötigte Δt zwischen Kollektor- und Speicherfühler noch eintritt und eine solare Beladung erfolgt.

Bei Konfigurationen mit höher liegender Rücklauf-Einbindung des Heizkreises, welche zu keiner Abkühlung in der Zone des Solarwärmetauschers führen, empfiehlt es sich daher, in den Übergangsmonaten die Beheizung in den Mittagsstunden vorübergehend per Regelung zu deaktivieren.

Die Dauer der möglichen Heizunterbrechungen ist vom Speichervermögen und der thermischen Trägheit des Baukörpers abhängig. Bei gut gedämmten Gebäuden kann diese Zeitspanne selbst bei winterlichen Außentemperaturen ohne spürbare Beeinträchtigung durchaus mehrere Stunden betragen.

Die solaren Deckungsgrade der Wärmeversorgung lassen sich auf diese Weise etwas erhöhen.

4.7.5 Wärmeverluste durch Wärmeschutz und weitere Lösungen reduzieren

Bei thermischen Solaranlagen entstehen bei allen Medium führenden Komponenten vom Kollektor bis zum Speicher bzw. der Heizkreiseinbindung Wärmeverluste. Beim Kollektor als fertige Einheit ist beim Wärmeschutz kaum etwas zu ändern, hier beschränkt sich die Einflussnahme auf optimierte Reglereinstellungen bzw. eine schonende Betriebsweise.

Anders sieht dies bei den Rohrleitungen incl. Speicher bzw. einer Speichergruppe aus.

4.7.5.1 Speicherverluste

Die Solarspeicher werden im Regelfall mit einer lose beigefügten Speicherdämmung angeliefert. Neben dem/den Dämmelement/en für den Speichermantel sind extra Dämmelemente für den Speicherdeckel bzw. Speicherboden üblich. Die getrennte Lieferung dient dem Schutz der Dämmung vor Transportschäden und bei der Einbringung des Speichers.

Die lückenlose Dämmung des Speichers hat oberste Priorität. Die Dämmung muß dichtschießend anliegen, um Luftströmungen zwischen Speicher und Dämmung auszuschließen. Nicht benutzte Anschlussstutzen sollten überdämmt werden.

Besonderes Augenmerk ist den Anschlussverlusten zu widmen. Während der Speichermantel meist mit Dämmschichtdicken ab 100 mm, bezogen auf die Wärmeleitfähigkeit $0,04 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ gedämmt ist, werden i.d.R. im Praxisbetrieb die Rohrleitungsanschlüsse im günstigsten Fall nach den Anforderungen der ENEV gedämmt.

Entsprechend ENEV 2014, § 14, Absatz 5 in Verbindung mit Anlage 5, Tabelle 1, Wärmedämmung von Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen, ... sowie Armaturen ergeben sich für den Einbau einer thermischen Solaranlage folgende Mindest-Dämmschichtdicken (Auszug)

Zeile	Art der Leitungen/Armaturen	Mindestdicke der Dämmschicht, bezogen auf eine Wärmeleitfähigkeit von 0,035 W/(m*K)
1	Innendurchmesser bis 22 mm	20 mm
2	Innendurchmesser über 22 mm bis 35 mm	30 mm
3	Innendurchmesser über 35 mm bis 100 mm	gleich Innendurchmesser
4	Innendurchmesser über 100 mm	100 mm
5	Leitungen und Armaturen nach Zeile 1 bis 4 in Wand- und Deckendurchbrüchen, im Kreuzungsbereich von Leitungen, an Leitungsverbindungsstellen, bei zentralen Leitungsnetzverteiltern	1/2 der Anforderungen der Zeilen 1 bis 4
6	Wärmeverteilungsleitungen nach den Zeilen 1 bis 4, die nach dem 31. Januar 2002 in Bauteilen zwischen beheizten Räumen verschiedener Nutzer verlegt werden	1/2 der Anforderungen der Zeilen 1 bis 4

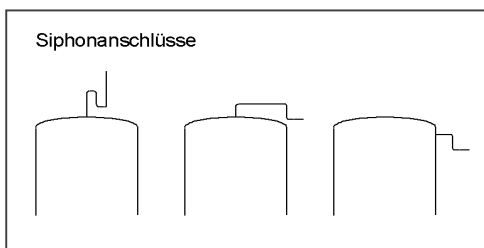
Beim Vergleich der Dämmschichtdicken von Speicher und Rohranschlüssen ist zu sehen, daß an den Anschlüssen für die Be- und Entladung höhere Verluste stattfinden müssen. Noch wichtiger als die Einhaltung der Dämmschichtdicken ist jedoch die absolut lückenlose Dämmung bis an die Speicherdämmung, da bereits kleinste Lücken zu hohen Anschlussverlusten führen können, die in der Summe die Verluste an der Speicherwandung übertreffen können.

Werden Speicher ohne Bodendämmung geliefert, sollte diese angefertigt werden. Bei schwereren Speichern mit einem umlaufenden Stehring ist ggf. zu empfehlen, über kleine Bohrungen am Stehring diesen mit einem isolierenden Bauschaum auszufüllen. Auf eine Materialverträglichkeit von Bauschaum und Speichermaterial ist zu achten.

4.7.5.2 Anschlussverluste

An den Anschlüssen der Speicher findet in den Zeiten ohne Abnahme eine innere Zirkulation statt. Wärmeres Wasser steigt bei senkrecht abgehenden Rohren auf bzw. strömt bei waagrecht abgehenden Rohren an der oberen Innenseite ab. Mit zunehmender Entfernung vom Speicher kühlt dieses Wasser ab und strömt zurück. Diese Gegenstromzirkulation sorgt für höhere Temperaturen an den angrenzenden Rohrleitungen und erhöht die Verluste. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, diese Verluste zu reduzieren.

Eine Methode ist, eine Siphonierung vorzunehmen. Einige Speicherhersteller liefern Speicher mit derartigen Abgängen, die Siphonierung kann aber auch bauseits durch den Installateur vorgenommen werden.



Grafik: Ing.-büro Mentzel, in Anlehnung an Info vom Institut für Solartechnik SPF, Rapperswil [7]

Die Höhe der Anschlussverluste ist vom Rohrmaterial und weiteren Faktoren abhängig. Bei der weiteren Betrachtung wird angenommen, daß sowohl die geraden als auch die siphonierten Anschlüsse gleichermaßen gedämmt sind.

Ein Beispiel soll die Größenordnung der Verluste näher darstellen:

Annahmen:

- Jährliche Nutzungszeit ohne Zeitraum Juni bis August (sommerliche Verluste spielen ohne Saisonspeicherung keine Rolle)
- Warmwasserentnahme (keine Zirkulation installiert) = 0,5 h/d
- Heizkreis-Deaktivierung (nur Bereitschaftsmodus für Frostschutz-Funktion) = 8 h/d
- U- Wert der Anschlüsse 2 W/(m²*K), je 0,1 m², entspricht Anschlussverlusten ca. 0,2 W/K
- Mittlere Übertemperatur im Anschlussbereich gegenüber Speicherraum durch Gegenstromzirkulation im Vergleich zum abgekühltem Wasser (keine Gegenstromzirkulation) = 30 K
- Ein Warmwasseranschluss und ein Heizkreis-Vorlauf (Kombispeicher) werden betrachtet

Damit würde sich der Verlust durch die Gegenstromzirkulation wie folgt berechnen:

$$((24-0,5) + (24-8)) \text{ h/d} * 273 \text{ d/a} * 0,2 \text{ W/K} * 30 \text{ K} = 64,7 \text{ kWh/a}$$

Dies entspricht für diese beiden Anschlüsse einem Verlust von ca. 6,5 Liter Heizöl bzw. m² Gas im Jahr. Das klingt nicht nach viel, im Laufe der Jahre kommt aber etwas zusammen.

Alternativ zur Siphonierung kann in den Anschlussbereichen eine deutlich erhöhte Dämmschichtdicke auf Leitungslängen von ca. 1 m ab Speicherabgang montiert werden. Dies ersetzt bei der Einsparung nicht ganz die unterbundene Gegenstromzirkulation, reduziert die Verluste aber beträchtlich. Dies lässt sich auch nachträglich montieren.

Weitergehende Informationen zu diesem Thema sind unter dieser Adresse zu finden:

<http://www.solarenergy.ch/fileadmin/daten/publ/WaermeverlusteDurchRohrinterneGegenstromzirkulation-Notizenseiten.pdf>

4.7.5.3 Rohrleitungsverluste

Die Bewertung von Verlusten durch Rohrleitungen unterscheidet sich gegenüber der Betrachtung von Speichern dadurch, daß in Rohrleitungen vergleichsweise starke Strömungen stattfinden. Die Fluide strömen im inneren Rohrquerschnitt laminar, also gleichförmig, an der Rohrwandung dagegen turbulent.

Die turbulente Strömung kann man sich als eine erhöhte Verwirbelung an der Rohrwandung vorstellen. Sie wird durch verschiedene Bedingungen (Strömungsgeschwindigkeit, Querschnittsänderungen, Richtungsänderungen, Viskosität des Fluids, Rauigkeit der inneren Rohrwandung) beeinflusst und wirkt so maßgeblich auf die Druckverluste und die notwendige Dimensionierung der Rohre.

Weiterhin wird durch die turbulente Strömung der Wärmeübergang vom Fluid auf die Rohrwandung verändert, sodaß bei der Berechnung der Rohrverluste eine erweiterte Betrachtung nötig wird.

Im Grenzbereich zwischen rechnerisch zwei möglichen Rohrdimensionen können folgende Bewertungen für die Entscheidungsfindung heran gezogen werden:

- Unterschied der Rohrwärmeverluste bei den Dimensionen, wertmäßige Bestimmung aufs Jahr berechnet
- Kostendifferenz für Material und Montage, Annuitäten pro Jahr (Berechnung Annuitäten sh. Pkt. 7.2)
- Ist Option einer ggf. späteren Erweiterung der Anlage mit Beibehaltung des Rohrnetzes gewünscht?

4.8 Stagnation vermeiden, Lösungsansätze

Es macht schon Spaß anzusehen, wenn die Solaranlage unermüdlich arbeitet und Energie für die Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung liefert.

Da die Anlagen im Sommer zwangsläufig mehr Energie liefern, als für die Wassererwärmung benötigt wird, weicht der Spaß in dieser Zeit einem Grübeln. Ist der oder sind die Speicher beladen, geht die Solaranlage vorübergehend außer Betrieb. Dabei kommt es bei Flachkollektoren zur Verdampfung des Wärmeträgermediums, der sogenannten Stagnation. In diesen Phasen herrschen hohe Temperaturen, welche die Komponenten einschließlich der Solarflüssigkeit thermisch belasten.

Energetisch betrachtet wäre es optimal, diesen Überschuss für kältere Zeiten zu speichern. Dies geht aus verschiedenen Gründen eher selten.

Man muß sich nicht unbedingt darum kümmern, immerhin schützen richtig dimensionierte Sicherheitseinrichtungen die Anlage vor unmittelbaren Störungen. Die Anlagen müssen stillstandsicher sein. Dies erfordert ein ausreichend dimensioniertes Membran-Ausdehnungsgefäß (MAG). In der Anlage darf es bei Verdrängung der Solarflüssigkeit in das MAG auch nicht zu einem solch hohen Druckanstieg kommen, daß das Sicherheitsventil anspricht.

Trotzdem sprechen mehrere Aspekte dafür, ein Überschussmanagement zu führen.

Länger dauernde thermische Belastungen setzen zumindest der Solarflüssigkeit zu. Sie ist öfters zu kontrollieren und ggf. zu erneuern. Auch Dichtungen und andere Komponenten können schneller altern und so zum Anlass für einen erhöhten Wartungs- oder Reparaturaufwand werden.

Als Lösungen, auch miteinander gekoppelt, kommen in Betracht:

- Saison- bzw. Langzeitspeicherung
- Wärmeableitung in Schwimmbecken
- Wärmeableitung über Heizung (Garage, Werkstatt u.ä. zur Vermeidung des Wärmeeintrags in Wohnbereiche)
- Rückkühlung in der Nacht über Kollektorfläche
- Zeitweise Aktivierung anderer Reglereinstellungen (erhöhte Verluste am Kollektor u. anderer Komponenten)
- Einspeisung über Sonden bei Wärmepumpen (hier ist der hohe Strombedarf der Solepumpe zu beachten und eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung dringend zu empfehlen)
- Ggf. sonstige Verwertung (technologische Prozesse, Verkauf)

Auf der Website www.sonnenbahn.de wird u.a. ein Hydraulikschema mit der Poolbeheizung näher dargestellt. Diese Lösung erzielt eine Doppelfunktion, nämlich einen Komfortgewinn und einen schonenden Anlagenbetrieb.

4.9 Solarertragssimulationen als Planungs- und Kontrollgrundlage

Für eine sorgfältige Solarertragssimulation gibt es mehrere gute Gründe:

- Sie ist Grundlage für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit einer Anlage
- Fehlfunktionen bei der Steuerung lassen sich bereits in der Planungsphase erkennen und vermeiden.
- Sie ermöglicht die Erkennung einer auftretenden Störung im laufenden Anlagenbetrieb durch den Abgleich von Ist- und Sollwerten beim Solarertrag (Abweichungen durch Klimaschwankungen können über die Gradtagzahl des betrachteten Jahres hinreichend genau korrigiert werden- Verfahren sh. Hinweise im Pkt. 4.9.4).
- Schließlich zwingt eine Simulation die Planer und Installateure zu einer sachgerechten Auslegung und zur Abgabe eines wettbewerbsfähigen Angebotes.

Die Solarertragssimulation sollte also nicht erst im Nachgang erstellt werden, sondern als Grundlage einer Investitionsentscheidung dienen. In dieser Phase können ebenso Verbesserungen in der Konfiguration vorgenommen werden. Dies betrifft die Dimensionierung wichtiger Komponenten ebenso wie Details zur hydraulischen Verknüpfung und der regelungstechnischen Steuerung.

4.9.1 Anforderungen an eine Solarertragssimulation

Was ist für eine gute Solarertragssimulation zu erfassen bzw. rechnerisch zu berücksichtigen?

Grundsätzlich alle Daten, die auf das Ergebnis Einfluss nehmen. Dazu können gehören [2], [8]:

Auf der Nutzerseite:

- Gebäudedaten (beheizte Fläche, Maße u. Ausrichtung, U-Werte, Fensterflächen u. Ausrichtung (passive solare Gewinne) Norm-Wärmestrombedarf, Verschattung, Belüftung, Wärmerückgewinnung, ggf. Kühllast)
- Heizgrenztemperatur (bis zu welcher Aussentemperatur muss geheizt werden?) [°C]
- Wärmerzeuger (Nennleistung, Nutzungsgrade, Leistungsregelung), Energieträger, VL- und RL-Temperatur des Heizmediums bei Auslegung (z.B. -14°C)
- Bei Hoch- und Niedertemperaturkreisen (Radiatoren und Fußbodenheizung) Anteile bestimmen, Leistungsdaten
- Nachtabsenkung mit Höhe der Absenkung und Absenkzeiten, Soll-Raumtemperaturen (Tag/Nacht)
- Täglicher WW-Verbrauch [L], Soll-Zapftemperatur [°C], Zirkulationszeiten, einfache Länge der Zirkulationsleitung [m], Lastgangprofil der WW-Entnahme (gleichmäßig oder Spitzenwerte, nutzergruppentypisches Verbrauchsprofil), Speicher u. Kenndaten
- Temperatur im Speicherraum [°C]

Bei der solaren Erzeugung:

- Zugrunde gelegter Wetterdatensatz (Ortsname) bzw. Standort mit Längen- und Breitengraden
- Abbildung des Horizonts mit Verschattung
- Ausrichtung mit Südabweichung (Azimut) [°] und Neigung (Elevation) [°]
- Hydraulikschema mit kompletter Verknüpfung aller Komponenten
- Kollektoren mit Typ, Anzahl, Leistungsdaten, Kollektorfläche, Verschaltung (in Reihe oder parallel), ggf. Nachführung
- Volumenstrom im Kollektorkreis spezifisch [L/m²h] oder absolut [L/h], variable Volumenströme
- Material, Länge u. Nenndurchmesser von Leitungen, Dicke u. Wärmeleitfähigkeit der Dämmung
- Eingabe von Fluiden incl. Frostschutzmittel, Mischungsverhältnis mit Wasser [%]
- Inhalt von Speichern [L], Verhältnis von Höhe zu Durchmesser (wg. Schichtung), Typ und Dicke der Dämmung, Einbindehöhen für Be- und Entladevorgänge, Definition von Fühlerpositionen, Entladecharakteristik (auf Anforderung, Nachtentladung)
- Leistungsdaten und Position von internen und externen Wärmetauschern
- Reglereinstellungen mit Maximaltemperaturen an Speichern, Schaltwerte aller aktiven Ausgänge (Pumpen, Ventile, Mischer, Uhren)

Simulationsergebnisse lassen sich bei den meisten Softwareprodukten sowohl in einer Zusammenfassung als auch mit einem detaillierten Bericht ausdrucken. Nur im ausführlichen Bericht stehen die wichtigsten Randbedingungen der Simulation. Damit lässt sich überprüfen, ob die Berechnungsgrundlagen mit den objektspezifischen Gegebenheiten übereinstimmen und die Simulation nicht etwa schön gerechnet wurde.

Die Simulation ist an den Kunden bzw. Auftraggeber auszuhändigen.

4.9.2 Solarsoftware und Benutzerstufen

Es gibt eine ganze Anzahl themenbezogener Berechnungstools und Solarsoftware in verschiedenen Leistungs- und Preiskategorien.

Als Faustregel für die Inanspruchnahme könnte gelten:

Einfache Konfigurationen mit wenig Solarertrag (kleinere Anlage nur zur Warmwasserbereitung, ggf. auch Heizungsunterstützung) erfordern eine einfache Software, komplexe Konfigurationen oder hohe solare Deckungsgrade erfordern eine Software, mit der alle Randbedingungen möglichst detailgetreu abgebildet werden können.

Auch bei einer einfachen Software sollten zumindest die Verschattung, die wichtigsten Parameter beim Warmwasser- und Heizenergiebedarf und die wesentlichen Anlagenkomponenten mit ihren Leistungsdaten berücksichtigt werden.

4.9.3 Simulationsergebnisse

Bei der Darstellung von solaren Deckungsgraden gibt es unterschiedliche Systemgrenzen. Die nachstehende Grafik zeigt die Bilanzkreise für die abgebildete Konfiguration.

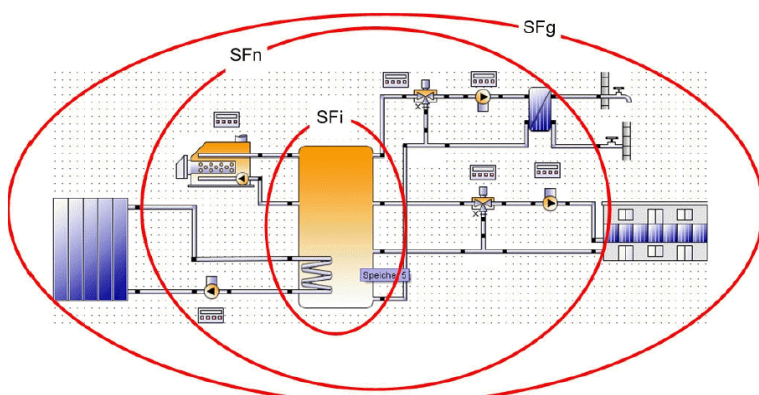


Abbildung 1: Grenzen für die Berechnungen der Deckungsgrade

Quelle: Vela Solaris AG

Die Deckungsgrade werden hier wie folgt definiert:

$$SFg = \frac{\text{Einstrahlung Kollektorebene}}{\text{Einstrahlung Kollektorebene} + \text{Zusatzenergie}}$$

$$SFn = \frac{\text{Solarenergie an das System}}{\text{Solarenergie an das System} + \text{Zusatzenergie an das System}}$$

$$SFi = \frac{\text{Solarenergie an Speicher}}{\text{Solarenergie an Speicher} + \text{Zusatzenergie an Speicher}}$$

Der Wert für SFg hat vielleicht einen informativen Charakter, ist für eine Bewertung einer Einsparung an konventionellen Energieträgern jedoch völlig ungeeignet. Der ausgewiesene Brutto-bezogene Deckungsgrad ist oft knapp doppelt so hoch wie der Wert für SFi und führt zu falschen Annahmen bezüglich der Einsparungen durch die Solaranlage.

Beim Netto-bezogenen Deckungsgrad SFn sind die Rohrverluste zwischen Kollektorfeld und Speicher nicht berücksichtigt.

Der Deckungsgrad SFi ist ein Speicher-Input bezogener Wert. Hier sind die Rohrverluste zwischen Kollektorfeld und Speicher bereits in Abzug gebracht. Wenn auf der Nutzerseite (Heiz- und Warmwasserkreis) keine größeren Änderungen durch die Montage der Solarwärmanlage vorgenommen werden sollen, stellt der Deckungsgrad SFi den aussagekräftigsten Wert bei der Bewertung verschiedener Angebote dar.

Wenn verschiedene Angebote mit Simulationen und Angaben zu Deckungsgraden verglichen werden, sollte darauf geachtet werden, daß alle Anbieter auch den gleichen Bilanzkreis und somit den gleichen Deckungsgrad berechnen.

Neben dem Deckungsgrad sollte ebenso der absolute Betrag der an den (die) Speicher eingespeiste Solarenergie in [kWh/a] dargestellt werden. Liegen z.B. die SFi-Werte und die absoluten Solarerträge im gleichen Verhältnis, so deutet dies auch auf gleichartige Eingabeparameter auf der Nutzerseite (Heiz- u. WW-Kreis, Kesseldaten u.a.).

Beispiel:

Anbieter A: an Speicher = 5.000 kWh/a und SFi = 30% - entspricht Bedarf $100/30 * 5.000 =$ Bedarf 16.667 kWh/a

Anbieter B: an Speicher = 5.300 kWh/a und SFi = 31,8% - entspricht Bedarf $100/31,8 * 5.300 =$ Bedarf 16.667 kWh/a

Stimmt diese Berechnung bzw. ein ausgewiesener Energiebedarf nicht annähernd überein, zeigt dies eine fehlerhafte Datenerfassung bei zumindest einem Anbieter.

Interessiert die Brennstoffeinsparung, ist folgender Zusammenhang darzustellen:

$$\text{Solarenergie an Speicher} \\ \text{Brennwert des Brennstoffes} * \text{Jahresnutzungsgrad des Wärmeerzeugers}$$

Der Jahresnutzungsgrad des Wärmeerzeugers wird bei einer höherwertigen Software mit berechnet. Ergänzend können ebenso die monatlichen Nutzungsgrade ausgegeben werden. Dies ist interessant für die Analyse, welche Energieverluste durch den Schwachlastbetrieb einer Heizungsanlage auftreten.

4.9.4 Abgleich von Plan- und Istwerten

Neben einer vernünftigen Solarplanung ist auch eine Kontrolle wichtig. So läßt sich erfahren, wie gründlich die Planung war und wieviel an Öl, Gas usw. tatsächlich gespart wurde.

Am einfachsten ist es, genau ein Jahr nach Inbetriebnahme der Solarwärmanlage den Solarertrag und den Verbrauch der sonstigen eingesetzten Energieträger zu erfassen und eine witterungsbereinigte Auswertung vorzunehmen.

Der Solarertrag läßt sich mit verschiedenen Methoden ermitteln:

- über separaten Wärmehähler (Volumenstromgeber, Temperatursensoren im VL und RL, Rechenwerk)
- über Solarregler (mit angeschlossenem Volumenstromgeber und Temperaturmessung im VL und RL)
- über Solarregler (ohne Volumenstromgeber über eingestellten Volumenstrom und Temperaturmessung im VL und RL)

Während beim separaten Wärmehähler das Rechenwerk die Verarbeitung der Signale vom Volumenstromgeber und den Temperatursensoren vornimmt, können höherwertige Solarregler diese Funktion mit übernehmen.

Wird für eine Solarwärmanlage keine Förderung in Anspruch genommen, besteht aus der ENEV gegenwärtig nicht zwingend die Maßgabe, eine Wärmehählung oder gleichwertige Funktionskontrolle vorzunehmen. Gleichwohl ist die Wärmehählung aus verschiedenen Gründen zu empfehlen.

Eine Planung basiert immer auf langjährigen Mittelwerten, die in einer Klimadatenbank hinterlegt sind. Die Anpassung an die örtlichen Bedingungen mit allen Parametern (Wohnort, Ausrichtung, Verschattung, Komponenten, Reglereinstellungen, Energiebedarfswerte) sollte ohnehin erfolgen. Dessen ungeachtet schwankt aber das Klima.

So kann einmal ein Wintermonat mit besonders niedrigen Temperaturen zu einem Jahres-Mehrbedarf von weit über 10 % an Heizenergie führen. Auch die Solarstrahlung schwankt, führt aber i.d.R. zu geringeren Schwankungen beim jährlichen Ertrag von Solarwärme. Dies liegt daran, daß Schwankungen bei der Solarstrahlung in den Sommermonaten kaum ins Gewicht fallen, da hier bei Anlagen zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung ohne eine saisonale Speicherung ohnehin ein Überschuss an Energie besteht.

Bei Objekten ohne hohe solare Soll-Deckungsgrade genügt es daher, bei der Bewertung von Plan- zu Istwerten hinsichtlich Klimaschwankungen die veränderliche Gradtagzahl des betrachteten Zeitraumes zu berücksichtigen. Gradtagzahlen werden standortbezogen aus der Summe der Temperaturdifferenzen zwischen Innentemperatur und Außentemperatur bei Unterschreitung der Heizgrenztemperatur während der Heizperiode erfasst.

Ein nützliches Excel-Tool zur Berechnung der standortbezogenen Gradtagzahl bietet zum Beispiel das Institut für Wohnen und Umwelt in Darmstadt, sh. www.iwu.de.

Neben den klimabezogenen Randbedingungen ist natürlich zu bewerten, inwieweit die Erzeuger- und verbraucherbedingten Berechnungsgrundlagen mit den Betriebsbedingungen in der Praxis überein gestimmt haben. Da bei der Berechnung des solaren Energieeintrages an den Speicher vielfältige Daten (z.B. Reglereinstellungen, Heizwärmebedarf, WW-Bedarf, Systemtemperaturen u.a.) eingehen, ist es sinnvoll, einen Ausdruck mit allen Parametern für die Solarertragssimulation zur Verfügung zu haben und die zugrunde gelegten Einstellungen nachträglich mit den Betriebsbedingungen zu vergleichen.

Gibt es unerklärliche Abweichungen zwischen Plan- und Istwerten, sollte bei einer Unterschreitung im Ist die Solaranlage systematisch auf Fehlfunktionen, ggf. auch die Berechnung überprüft werden.

Die Auswirkung eines geänderten Nutzerverhaltens gegenüber den Annahmen (z.B. ohne Notwendigkeit höhere Vorlauftemperaturen eingestellt) läßt sich während der Planung einfach und recht genau darstellen. Wenn man weiß, wieviel eine Nachlässigkeit jährlich kostet, fördert dies sicherlich einen bewussteren Umgang mit der Solarenergie.

4.9.5 Auftrag zur Planung

Daß eine Solarplanung sinnvoll ist, wurde bisher schlüssig hergeleitet. Eine detaillierte Datenerfassung und Berechnung ist aufwändig. Es wäre nicht angemessen, solch eine detaillierte Planung als kostenfreie Leistung im Paket mit einem ebenso kostenfreien Angebot einzufordern. Das noch weniger, wenn sich der Interessent dann noch etliche Angebote mit diesen Kriterien einholt.

Hier ist für beide Seiten zu empfehlen, die Planung und die Auftragsvergabe zunächst zu trennen und für die Planung ein angemessenes Honorar zu vereinbaren.

Es spricht nichts dagegen, wenn auch der Installationsbetrieb eine qualifizierte Planung erstellen kann und in einer Vereinbarung festgehalten wird, daß die Planungskosten bei Erteilung des Ausführungsauftrages (natürlich innerhalb eines begrenzten Zeitfensters) beim Angebotspreis zurück gerechnet werden.

Eine alternative Lösung wäre, vom Anbieter zunächst eine vereinfachte Solarertragssimulation (hier ebenso mit zutreffenden Randbedingungen) zu vereinbaren und bei einer annehmbaren Kosten-Nutzen-Bewertung des Angebots die detaillierte Planung und Ertragssimulation mit der Auftragsvergabe zu koppeln.

Diese Verfahrensweise birgt dafür ein etwas höheres Risiko, daß alternative Versorgungslösungen von vornherein ausgeblendet und nicht weiter untersucht werden.

5 Das Solarkonzept- die anspruchsvollere Variante der Solarplanung

Unter einem ganzheitlichen Solarkonzept ist zu verstehen, daß der Nutzung der Solarenergie bei allen Planungsdetails der Vorrang zu geben ist.

Beim Neubau beginnt dies mit der angepassten Ausrichtung vom Gebäude mit Bereitstellung solargeeigneter Montageflächen, Abstandregelungen zur Verringerung von Verschattung, Berücksichtigung solarer Gewinne durch Fenster und anderes mehr. Die Nutzung von Solarwärme und Solarstrom deckt den Hauptteil der Energieversorgung, ggf. ergänzt durch die Nutzung weiterer erneuerbarer Energien.

Beim Bestandgebäude sind alle wirtschaftlich und/oder ökologisch vertretbarer Modernisierungsmaßnahmen bei der Versorgung mit Solarenergie zu ermitteln und darzustellen. Für Einschränkungen durch begrenzte (Speicher-) Einbringe- und Aufstellmaße ist nach alternativen Lösungen zu suchen. Bei den Vorschlägen zur Einsparung sollten bewusst auch Kopplungseffekte erläutert werden.

Beispiel für sich überlagernde Effekte:

- Baulicher Wärmeschutz senkt den Transmissionswärmeverlust. Für die Maßnahme kann eine Amortisationszeit berechnet werden.
- Durch die Wärmeschutzmaßnahme ergibt sich eine nachweisbare Veränderung beim Wärmebedarf und dem solaren Deckungsgrad.
- Weitere Einflüsse durch den Wärmeschutz auf die Auslegung von Komponenten zur Wärmeerzeugung und Verteilung (Kostenfaktoren), die Betriebsweise der Anlagentechnik (nutzerbezogen), aber auch die Darstellung eher immaterieller Effekte (thermische Behaglichkeit, Versorgungssicherheit, Werthaltigkeit)

Für alle sinnvollen Maßnahmen sollte eine Bewertung zur Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit, möglichst abgestuft von sehr empfehlenswert bis zu noch empfehlenswert, erfolgen.

Zielstellung ist, dem Auftraggeber auch die Möglichkeiten einer schrittweisen Modernisierung in Abhängigkeit seiner zeitlichen und monetären Kapazitäten aufzuzeigen.

5.1 Wechselwirkungen von Randbedingungen und solarer Deckung

Der Grad der solaren Abdeckung ist von vielen Faktoren abhängig. Neben einer angepassten Solaranlage sind insbesondere das Verhältnis von solarer Erzeugung zu insgesamt benötigter Wärmeenergie, das Temperaturniveau auf der Nutzerseite und die Speicherkapazität der Solarspeicher bzw. Speicherguppe entscheidend.

In nachfolgender Tabelle sind die Berechnungsergebnisse drei verschiedener Levels beim Wärmebedarf dargestellt. Für die Speicherung der Heizungswärme wurde je einmal mit einem Standard- Pufferspeicher und einem Saisonspeicher gerechnet. Bei allen Lösungen wurde eine Umschichtung vom Heizungspufferspeicher auf den separaten Warmwasserspeicher vorgesehen.

Um insbesondere den Einfluss des höheren Wärmeschutzes besser sichtbar zu machen, wurden bei allen Varianten die Kollektordaten und der Warmwasserbedarf beibehalten. Bei sinkendem Heizungswärmebedarf sind allerdings die Systemtemperaturen im Heizkreis abgesenkt worden, ebenso die Leistung des konventionellen Wärmeerzeugers.

Die zugrunde gelegte Kollektorfläche, der Puffer (nicht Saisonspeicher) und der WW-Speicher entsprechen üblichen Größen für ein Einfamilienhaus.

Beispiel	Konzept	Einheit													Jahr
			Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
A	Bedarf: Heizung, WW 1)	kWh	2.773	2.130	1.756	913	295	140	134	131	206	737	1.756	2.606	13.577
A1	Solarenergie an (mittleren) Puffer- u. WW-Speicher 2)	kWh	219	378	548	593	511	387	355	385	426	488	236	195	4.721
A2	Solarenergie an (mittleren) Saison- u. WW-Speicher 2), 3)	kWh	225	404	617	736	694	581	621	636	516	510	244	202	5.986
B	Bedarf: Heizung, WW 1), 4)	kWh	1.233	960	813	460	205	136	134	131	158	381	804	1.162	6.577
B1	Solarenergie an (mittleren) Puffer- u. WW-Speicher 2)	kWh	207	354	480	509	448	386	355	385	388	427	216	184	4.339
B2	Solarenergie an (mittleren) Saison- u. WW-Speicher 2), 3)	kWh	218	381	564	679	713	555	611	620	499	441	219	191	5.691
C	Bedarf: Heizung, WW 1), 5)	kWh	574	458	409	266	166	134	134	131	138	229	396	542	3.577
C1	Solarenergie an (mittleren) Puffer- u. WW-Speicher 2)	kWh	187	314	407	437	413	385	355	385	367	391	192	162	3.995
C2	Solarenergie an (größeren) Saison- u. WW-Speicher 2), 6)	kWh	217	355	524	651	680	567	633	658	522	420	191	171	5.589
Erläuterungen:															
1) Kollektorfläche, WW-Speicher, WW-Bedarf bei allen Varianten gleich. Jeweils 2-Speichersystem (Puffer + WW).															
2) Solarertrag an Speicher (ohne Speicherverluste), daher mehr Energie an Speicher als Bedarf. Umschichtung auf WW.															
3) Speichervolumen erhöht (mittlerer Saisonspeicher). Bei Saisonspeicher Gewinne und Verluste berücksichtigt.															
4) Heizwärmebedarf, VL- u. RL- Temperatur u. Kesselleistung gegenüber A reduziert.															
5) Heizwärmebedarf, VL- u. RL- Temperatur u. Kesselleistung gegenüber B reduziert.															
6) Speichervolumen weiter erhöht (größerer Saisonspeicher). Bei Saisonspeicher Gewinne und Verluste berücksichtigt.															
Solare Abdeckung (sh. Füllfarbe)			100%	>90%	>80%	>70%	>60%	>50%	>40%						

Aus dieser Übersicht können eine ganze Reihe von Aussagen abgeleitet werden:

- Bei Gebäuden mit einem Wärmebedarf entsprechend dem Niveau der ENEC 2014 oder einem höheren Wärmebedarf lassen sich ohne eine starke Überdimensionierung der Kollektorfläche und ohne eine saisonale Speicherung Deckungsanteile bis maximal ca. 40 % erzielen.
- Bei der saisonalen Speicherung entstehen trotz bei diesem Speichertyp wesentlich höheren Dämmschichtdicken erhöhte Speicherverluste. Dies liegt an dem langen Zeitraum zwischen Einspeicherung und aktiver Entladung.
- Ein sinkender Wärmebedarf reduziert auch die monatlich nutzbaren solaren Erträge, soweit die Überschüsse nicht in einem Saisonspeicher aufgenommen werden können. Gleichzeitig erhöht sich aber der solare Deckungsgrad.
- Auf Grund der annähernd gegenläufigen Kurven von (Heiz-) Wärmebedarf und solarem Ertrag ist für eine nahezu vollständige solare Abdeckung eine Speicherung von ca. 4 Monaten, ab dem Zeitpunkt an dem die zeitnahen solaren Erträge dem aktuellen Wärmebedarf entsprechen, erforderlich. Bei Konzepten mit hoher saisonaler Abdeckung wird daher der Zeitraum der tiefsten Entladung zwischen Februar und Anfang März liegen.

Die Randbedingungen zur Solarwärmenutzung werden bei jedem Objekt etwas abweichen, sodaß die obige Tabelle und die Analysen nur einen Beispielcharakter haben können. Eine objektbezogene Bewertung ist durch nichts zu ersetzen.

5.2 Die Solaranlage als Haupt-Versorgungssystem

Eine thermische Solaranlage kann heute zurecht als zukunftsorientiertes Wärmeversorgungssystem angesehen werden. Mehrere Entwicklungen zeigen einen klaren Trend, der die Attraktivität solcher Systeme zunehmend erhöhen wird.

Die Entwicklung der Anforderungen an die Begrenzung des Primärenergiebedarfs von Gebäuden geht ganz klar in eine Richtung- der zulässige Energiebedarf wird immer kleiner. Allein dadurch steigen solare Deckungsgrade. Zunehmende Verschärfungen der ENEV führen zu einem weiteren Anstieg der Anforderungen an die Bauhülle, die Luftdichtheit und die gesamte Anlagentechnik. Da bei Solaranlagen kein CO₂- belasteter Energieträger (z.B. Öl, Gas), sondern nur die Hilfsenergie zu Buche schlägt, erleichtert die solare Erzeugung zunehmend die notwendigen Nachweise.

Preisentwicklungen bei konventionellen Energieträgern sind langfristig schwer vorhersehbar. Den Erfahrungen des letzten Jahrzehnts zufolge ist jedoch mit weiteren, ggf. wieder stärker steigenden Energiepreisen zu rechnen.

Da bei den Betriebskosten einer Solaranlage die Position „bezogene Energieträger“ entfällt, werden die Betriebskosten im wesentlichen durch die Annuität der Investition bestimmt. Dies führt zu einer hohen Planungssicherheit bei den langfristig betrachteten Kosten.

Eine Umkehr in der Konzeption von

„Konventionelle Heizung + thermische Solaranlage zur Betriebskostenreduzierung“
in
„Thermische Solaranlage als Hauptheizung + nötigenfalls Ergänzungsheizung“

wird zunehmend ökonomischer.

Ökologischer und besser in Punkto Versorgungssicherheit ist es ohnehin. Dazu kommen weitere positive Effekte für die Gesellschaft.

5.2.1 Lösungen zur Ergänzungsheizung

Bei der Betrachtung, ob eine 100% ige solare Abdeckung oder eine (möglichst kleine) Ergänzungsheizung für ein Objekt günstiger sind, müssen mehrere Umstände beachtet werden.

Die rein solare Abdeckung der letzten paar Prozente zum Wärmebedarf erfordert, dass zusätzlich auch die jahreszeitlichen Schwankungen beim Klima durch das Solarsystem abgedeckt werden müssten, da dieses Konzept auch für ungünstige klimatische Bedingungen auszulegen wäre. Dies führt systembedingt bereits zu einer Überkapazität von ca. 20 %, gemessen am Bedarf auf Basis des langjährigen Mittels bei den Klimawerten.

Den erhöhten Kosten für Zins und Tilgung der vergrößerten Anlage wären die Aufwendungen für eine Ergänzungsheizung gegenüber zu stellen.

Soweit für ein kleineres Wohngebäude insbesondere für die Warmwasserbereitung ein Restwärmebedarf von vielleicht wenigen Hundert kWh besteht, sollte die Lösung mit einem thermostatisch gesteuerten Elektroheizstab überprüft werden. Die Steuerung lässt sich so einstellen, daß er auf dem minimalen Temperaturniveau und nur in den gewünschten Freigabezeiten aktiviert wird. Ebenso ohne Kosten für Kehrungen oder Emissionsmessungen bzw. den Schornsteinbau kommen Lösungen mit einem Elektro-Durchlauferhitzer aus.

Wird ein Kaminofen in Betracht gezogen, sollte er hydraulisch und regeltechnisch in das Solar- und Heizungssystem eingebunden sein. Von der „Wassertasche“ des Heizkamins werden ca. 2/3 der Nennleistung an den Pufferspeicher abgegeben. An den Puffer sind Vor- und Rücklauf vom Heizkreis angeschlossen, auf diese Weise wird vom Kaminofen gleichzeitig das ganze Haus beheizt.

Lt. der Kehr- und Überprüfungsordnung des Bundes (KÜO) [9] vom 16.06.2009, zuletzt geändert 08.04.2013, kann bei Festbrennstoffen je nach Intensität der Nutzung bis zu 4-mal im Jahr gekehrt werden.

Gemäß KÜO, Anlage 1, ergeben sich für feste Brennstoffe folgende Anzahl von Kehrungen und Überprüfungen (Auszug):

	Anlagen und deren Benutzung, soweit sie nach § 1 der Kehrung oder Überprüfung unterliegen	Anzahl der Kehrungen im Kalenderjahr	Anzahl der Überprüfungen im Kalenderjahr
1	Feste Brennstoffe		
1.1	ganzjährig regelmäßig benutzte Feuerstätte und Räucheranlage	4	
1.2	regelmäßig in der üblichen Heizperiode benutzte Feuerstätte	3	
1.3	Feuerstätte zur Verbrennung von Holzpellets (Brennstoffe nach § 3, Absatz 1 Nr. 51 der 1. BImSchV und erkennbar rückstandsarmer Verbrennung	2	
1.6	mehr als gelegentlich, aber nicht regelmäßig benutzte Feuerstätte und Räucheranlage	2	
1.7	gelegentlich benutzte Feuerstätte und Räucheranlage	1	
1.9	notwendige Verbrennungsluft -und Abluftanlagen		1
1.10	betriebsbereite, jedoch dauernd unbenutzte Feuerstätte		1

Wird über den Solarplaner der Nachweis einer hohen solaren Abdeckung erbracht, sind beste Voraussetzungen gegeben, den Anspruch auf eine Minimierung der Kehrungen des Abgaswegs der Feuerstätte durchzusetzen, da hier ggf. eine gelegentlich benutzte Feuerstätte gemäß Pkt. 1.7 vorliegt.

Nach dem Gesetz zur Neuregelung des Schornsteinfegerwesens vom 26.11.2008 (BGBl. 2008, Teil I Nr. 54 [10]), dürfen nunmehr Schornsteinfeger unter bestimmten Voraussetzungen aus dem EU- bzw. Europäischen Wirtschaftsraum Kehr- und Überprüfungsarbeiten mit freier Preisvereinbarung durchführen.

Die Zulassung eines Wettbewerbs auf diesem Sektor ermöglicht sicherlich eine Kostensenkung für den Hauseigentümer.

5.2.2. Saisonale Speicherung

Die Vorteile der saisonalen Speicherung wurden bereits an verschiedenen Stellen durch hohe solare Erträge dargelegt.

Eine optimale Dimensionierung des Saisonspeichers liegt sicherlich dann vor, wenn einerseits Anlagenstillstände der Flachkollektoren (Stagnation) und die damit verbundenen erhöhten thermischen Belastungen vollständig vermieden werden können und gleichzeitig die Beladung des Speichers bis knapp unterhalb des vorgegebenen Maximaltemperatur erfolgt. Dies sorgt zunächst für ein Höchstmaß an nutzbarer Solarenergie, gleichzeitig wird ein schonender Anlagenbetrieb gewährleistet.

Wird der Saisonspeicher ohne Zuschläge für mittlere Klimabedingungen an einer vorgegebenen Maximaltemperatur ausgelegt, könnte ein sonnenreicherer Sommer gegenüber dem langjährigen Mittel dazu führen, daß der Speicher beladen ist und die Anlage in die Stagnationsphase geht. Um dies zu vermeiden, lassen sich durch temporäre Änderungen in der Betriebsweise solche Betriebszustände einfach vermeiden.

Änderungen an Schaltdifferenzen, eine nächtliche Rückkühlung, Aussetzung einer geschichteten Beladung u.a. Maßnahmen wären geeignet, die Temperaturkurve der Beladung flacher vorzunehmen und unter der Maximaltemperatur zu bleiben.

Dies erfordert zumindest phasenweise eine Beobachtung der Saisonspeicherung und ein Eingreifen durch den Nutzer, ggf. durch einen Dienstleister per Fernüberwachung.

Liegt der spezifische Wärmebedarf für ein Objekt unter den Werten der aktuellen ENEC und läßt sich im Objekt bzw. im objektnahen Gelände ein Saisonspeicher installieren, ist zu empfehlen, ein Konzept mit einer saisonalen Speicherung mit einem Vollkostenvergleich anderen Versorgungslösungen gegenüber zu stellen.

5.3 Solarstromversorgung

Bisher wurde nur von Solarwärme gesprochen. Für die Solarpumpe und weitere Anwendungen im Haushalt wird Strom benötigt. Solarstromanlagen, undeutsch auch Photovoltaikanlagen oder Fotovoltaikanlagen genannt, sind ebenso eine feine Sache. Sie haben eine auffällige Gemeinsamkeit mit Solarwärmeeanlagen- im Sommer liefern sie viel Energie, im Winter weniger.

Wer den Solarstrom komplett in das Netz des regionalen Energieversorgers einspeist, den stört das gegenwärtig meist weniger, Hauptsache, in der Jahresbilanz lohnt sich die Anlage.

Die Neuregelungen zur erhöhten Vergütung für den selbst genutzten Strom lassen das aufkommende Dilemma ahnen:

Die dezentrale Erzeugung empfiehlt sich zur Begrenzung notwendiger Netzkapazitäten und von Netzverlusten zunehmend auch für eine ortsnahe Anwendung. Gegenwärtig wird immer mehr regenerativ erzeugter Strom in den sonnenreichen und damit lastschwachen Zeiten produziert. Damit sinkt der Wert des Stromes im Sommer und ganzjährig in den Mittagsstunden.

Längerfristig werden sich sicher Regelungen und eine Logistik etablieren, die dem entgegen wirken. In den Mittagsstunden werden einmal Elektroautos, Waschmaschinen und sonstige Geräte besonders preiswert aufzuladen bzw. zu betreiben sein.

Was spricht also dagegen, neben der Solarwärme auch den Solarstrom zunehmend für die Eigennutzung zu konzipieren?

Eine vollständige oder teilweise eigene Stromversorgung auf der Basis einer Solarstromanlage hat einiges für sich.
Als Konzeptionen würden sich anbieten:

- Solargenerator speist Wechselrichter, Anschluss Hausnetz, Überschusseinspeisung in's öffentliche Netz und Zählung
- Solargenerator speist Laderegler und Akkustation, Versorgung aus Akkus über Direktanschluß von Verbrauchern mit Spannungsebene 12/ 24 V oder über Wechselrichter mit Ausgang 230 V
- Für größere Verbraucher können ggf. erzeugerseitige Hybridlösungen (z.B. Solarstromanlage + Windgenerator) sinnvoll sein.

Ein Solarkonzept schließt die standortbezogene Untersuchung von Lösungen zur Solarstromerzeugung und Solarstromnutzung mit ein.

6 Inbetriebnahme, Wartung und Ertragskontrolle

Die beste Planung bleibt graue Theorie, wenn der Nutzer die Funktionsweise der Technik nicht versteht oder sich fortan nicht mehr darum kümmert. Die zumindest zeitweise Kontrolle hilft, Fehlfunktionen oder vermeidbare Ertragseinbußen zu erkennen und abzustellen.

Wechselnde Bedingungen auf der Abnahmeseite (z.B. Änderung Wärmebedarf) oder pauschalisierte Annahmen bei der Ersteinstellung können eine Korrektur von Reglereinstellungen erforderlich machen.

6.1 Inbetriebnahme, Unterlagen

Bei der Inbetriebnahme soll ein funktionsfähiges Werk vorgeführt und übergeben werden. Eine Solarwärmanlage ist ausreichend zu entlüften, sodaß der Wärmetransport vom Kollektor zum Speicher funktioniert.

Im Idealfall scheint die Sonne, es genügt aber, wenn trotz leichter Bewölkung die selbsttätig (über Automatikbetrieb) in Betrieb gesetzte Solarpumpe das Solarfluid transportiert.

Da sich Mikrobblasen im Solarfluid bei zunehmender Erwärmung des Solarkreises nachträglich absetzen können, ist sicher zumutbar, daß eine Nachentlüftung durch den Auftraggeber vorzunehmen ist. Der/die Entlüfter müssen dazu natürlich gut zugänglich, also möglichst im Zugangsbereich liegen (z.B. unter dem Steildach statt auf dem Dach).

Permanententlüfter, montageseitig gegen den Austritt von verdampften Solarfluid geschützt, vereinfachen diesen Prozess.

Die Erläuterung der Funktionsweise aller wesentlichen Komponenten versteht sich von selbst. Schwerpunkt liegt naturgemäß in der Einführung zur Bedienung des Solarreglers. Der Aufruf von Anzeigewerten, das Erkunden der Gliederung der Menüebenen und die probeweise Eingabe einiger Sollwerte hilft, ggf. später eine Anpassung von Parametern ohne Schwierigkeiten meistern zu können.

Ein Hydraulikschema, aus dem die wichtigsten hydraulischen und regeltechnischen Funktionen erkennbar sind, gehört ebenso zur Übergabe. Die Angabe der Sensoren im Hydraulikschema muß mit den Anzeigen im Display vom Regler übereinstimmen.

6.2 Reglereinstellungen, Anpassung und Datensicherung

Soweit vom Hersteller des Reglers eine Info zur Menüstruktur nicht mit geliefert wird, gehört zu einem guten Service des Planers/Installateurs, daß die Gliederung der Menüebenen mit allen nachgeordneten Funktionen in einer Baumstruktur dargestellt und in gedruckter Ausführung dem Auftraggeber zur Verfügung gestellt wird. Dies hilft nicht nur bei der Orientierung zur Abfrage bzw. Eingabe, es schützt auch vor einem unbeabsichtigten Verstellen von Parametern.

Wichtig ist, ebenso alle Eingabewerte bei der Inbetriebnahme incl. der Angabe der vollständigen Pfade bis dorthin schriftlich in einer Zusammenfassung zu übergeben. Diese Übersicht sollte in einer Folie geschützt in der Nähe des Solarreglers aufbewahrt werden. Dadurch ist ein schnelles Auffinden gewünschter Menüpunkte ohne ein zeitaufwendiges Einlesen in die teilweise recht seitenstarken Bedienungsanleitungen möglich.

Liegt eine Referenzeinstellung vor, können abweichende Anforderungen mit ihren Auswirkungen ausprobiert und nötigenfalls wieder rückgängig gemacht werden. Erfahrungen aus dem Betrieb von Heizungsanlagen zeigen, daß selbst nach umfangreichen Wärmeschutzmaßnahmen oft keine Anpassung von Heizkurven vorgenommen wurde.

Ein besseres Verständnis um nutzbare Temperaturniveaus und Nutzeranforderungen kann eine solargerechte Betriebsweise fördern.

6.3 Wartung, Ertragskontrolle und Fehlersuche

Die Hersteller von Solarsystemen definieren i.d.R. Anforderungen an die Wartung. Im Gegensatz zu Heizungsanlagen gibt es bei den Solarwärmanlagen keine Brenner oder Rauchgase. Dadurch entfallen Gefährdungen durch austretende Gase oder immissionsschutzrechtliche Anforderungen.

Solarwärmeanlagen sind aber dem Wetter und zeitweise hohen Betriebstemperaturen ausgesetzt. Zur Wartung gehört daher mindestens die Prüfung des festen Sitzes der Kollektoren und Montageelemente, ggf. die Abdichtung gegenüber dem Baukörper, die Gebrauchsfähigkeit des Fluids und die ordnungsgemäße Funktion aller hydraulisch und regeltechnisch wirksamen Elemente (z.B. Regler, Sensoren, Pumpen, Umschaltventile, Mischer, Schwerkraftbremsen, Rückschlagventile, Überdruckventile, MAG, Manometer, Thermometer).

Zur Analyse von Abweichungen zwischen dem berechneten und dem erzielten Solarertrag sh. Pkt. 4.9.4.

Anlage1 enthält eine Checkliste mit der Definition typischer Fehler beim Betrieb einer Solarwärmeanlage und Hinweisen zur Behebung.

7 Wirtschaftlichkeit solarer Systemlösungen

Es sind sicher die Wenigsten von uns, die Investitionen aus rein ökologischen Überlegungen heraus vornehmen. Irgendwie rechnen sollte sich das schon.

Wenn man von einem Kosten-Nutzen Verhältnis spricht, läßt sich die Amortisationszeiten nach einem einfachen statischen Verfahren oder einem betriebswirtschaftlich genaueren Verfahren betrachten.

Einfacher herleiten läßt sich die statische Betrachtungsweise. Sind die Höhe der jährlichen Kosten und die jährlichen Einsparungen bekannt, lassen sich Kosten durch Einsparungen dividieren und man erhält eine einfache Rücklaufzeit für das eingesetzte Kapital.

Bei dieser Betrachtungsweise bleiben allerdings kaufmännische Überlegungen außer Ansatz. Wer das Geld nicht aus der Portokasse bezahlt, sondern finanzieren muß, hat zusätzlich für die Zinsen zu zahlen. Aber auch, wer ohne Fremdkapital investiert, bringt einen Zinsanteil auf. Das Geld könnte anstelle der Ausgabe für die Solaranlage etc. ja angelegt werden, sodaß ein Zinsverlust entsteht. Egal, wie man es betrachtet, neben dem Investitionsbedarf wäre ein Aufwand für die Finanzierung zu berücksichtigen.

Da Investitionen in Energiesparmaßnahmen sinnvoller Weise für viele Jahre wirken, ist es andererseits richtig, auch die Einspareffekte auf eine längere Zeit zu betrachten. Abgesehen von einem der Finanz- und Wirtschaftskrise geschuldeten Rückgang bei den Energiepreisen ist tendenziell wieder mit steigenden Energiepreisen zu rechnen. Dies ist einerseits durch die steigende Nachfrage insbesondere aus dem asiatischen Raum und andererseits durch die endlichen Ressourcen bei den fossilen Energieträgern anzunehmen. Kurz gesagt, die Preise für Öl, Gas und Co. werden bei der Preisentwicklung sicher weiterhin Schwankungen unterliegen, tendenziell aber eher steigen.

Es ist anzunehmen, daß die durch eine Energiesparmaßnahme erzielte Einsparung in den Folgejahren einen Wertzuwachs erfährt. Für eine längerfristige Betrachtung sollte mit einem Energiepreis-Steigerungsfaktor gerechnet werden. Mit der Berücksichtigung des Zinsaufwandes und einer Energiepreissteigerung erhält man eine betriebswirtschaftlich angemessene Berechnung.

Wie hoch die Energiepreissteigerung einmal sein wird, sollte jeder selbst einschätzen.

Der Vergleich von alten und neueren Energiekostenrechnungen kann hierfür ebenso hilfreiche Informationen liefern wie einige Publikationen im Internet. Interessant ist z.B. die Darstellung zur Entwicklung der Rohölpreise seit 1960 bis heute auf www.tecson.de.

7.1 Amortisationsdauer einer Investition

Die Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme wird durch die Amortisationsdauer (n) der Investition gekennzeichnet. Je kürzer diese ist, umso wirtschaftlicher ist die Maßnahme. Bei hohen Werten für das Kosten/Nutzen- Verhältnis l/e ist eine Wirtschaftlichkeit nur dann gegeben, wenn der Faktor für die Energiepreissteigerung größer als der Zinsfaktor ist.

Die Amortisationsdauer errechnet sich nach folgender Formel [11]:

$$n = \frac{\lg[1 + l/e * (q_2 - q_1)]}{\lg q_2/q_1}$$

- n = Amortisationsdauer [a]
- l = Investition [€]
- e = Einsparung [€/a]
- q₂ = Energie-Preissteigerungsfaktor
- q₁ = Zinsfaktor

Hinweis: q₂ und q₁ müssen verschieden sein

Die Einsparung für das erste Jahr wird zunächst durch die Kosten der eingesparten Energieträger, ggf. weitere wiederkehrende Einsparungen bei laufenden betriebsgebundenen Kosten gebildet.

Bei einer Solarertragssimulation kann durch den solaren Deckungsgrad die prozentuale Einsparung von konventionellen Energieträgern berechnet und als Einsparung [€/a] hergeleitet werden. Die Investition I und der Zinsfaktor q_1 sind bekannt, der Energie-Preissteigerungsfaktor q_2 ist einzuschätzen.

Erzielt eine Energiesparmaßnahmen (z.B. baulicher Wärmeschutz) neben der Absenkung beim Energiebedarf weitere Spareffekte bei Investitionen (z.B. nachfolgend zu montierende, kleinere und kostengünstigere Anlage zur Wärmeerzeugung), so sollte dieser Effekt auch der Wärmeschutzmaßnahme zugeordnet und die vermiedenen Investitionskosten zur direkten Energiekosteneinsparung hinzu gerechnet werden.

7.2 Ermittlung der Annuität

Wird ein direkter Vergleich der anteiligen, jährlichen Investitionskosten mit den jährlichen Einsparungen gewünscht, kommt man um die Berechnung der Annuität kaum herum. Hierbei werden gleichbleibende jährliche Zahlungen (Annuität A) bei sinkendem Zins- u. steigendem Tilgungsanteil geleistet. Durch die gleichbleibende Belastung für den Kapitaldienst ist somit für die Dauer der Finanzierung eine feste Größe bestimmbar.

Die Annuität A berechnet sich unter Berücksichtigung des Kapitals I, einer Nutzungsdauer von n Jahren und einem Zinssatz p nach folgender Formel:

$$A = I \cdot a = \frac{I \cdot p(1+p)^n}{(1+p)^n - 1} \quad [\text{€/a}]$$

A	=	Annuität [€/a]
I	=	Investition [€]
n	=	Nutzungsdauer [Jahre]
p	=	Zinssatz [%]
a	=	Annuitätsfaktor [%]

Beispiel:

Der Kapitaleinsatz (abzüglich eventueller Förderung) beträgt 15.000,- Euro, die Nutzungsdauer beträgt 20 Jahre, der Effektivzins beträgt 3,5 %.

Nach obiger Formel beträgt die Annuität: Kapital 15.000 € x Annuitätsfaktor 7,04 % = 1.056 Euro pro Jahr.

Diese Belastung lässt sich gut mit der gegenwärtigen Einsparung vergleichen.

Eine Besonderheit ist hier allerdings zu berücksichtigen:

Der Zeitraum einer Finanzierung kann durch 10, 20 oder 30 Jahre (z.B. KfW. Programm „Energieeffizient Sanieren“ betragen.

Die Zinsbindung wird allerdings auf 10 Jahre begrenzt. Das bedeutet, ist die Zinsbindung kürzer als der vereinbarte Finanzierungszeitraum, muß nach Ablauf der 10 Jahre eine Anschlussfinanzierung vereinbart werden. Die Höhe des dann vom Kreditgeber angebotenen Zinssatzes ist heute nicht bekannt.

Da wir gegenwärtig ein niedriges Zinsniveau haben, kann der vorsichtige Investor einkalkulieren, daß die Anschlussverzinsung ungünstiger ausfällt.

Die gesamten, finanziellen Auswirkungen einer Investition können erst durch eine umfassende Betrachtung, z.B. durch einen Vollkostenvergleich ermittelt werden. Dabei ist eine Vorher-Nachher-Berechnung (bzw. ein Variantenvergleich) anzustellen.

Neben den Finanzierungskosten sind die veränderten Energiekosten und ggf. weiter Veränderungen bei den betriebsgebundenen Kosten zu berücksichtigen.

Typische betriebsgebundene Kosten sind z.B.: Kosten für Wartung, Schornsteinreinigung, Emissionsmessung, Lieferung, Heizkostenabrechnung.

Ein Energieberater kann neben den Energiekosteneinsparungen durch energieeffiziente Maßnahmen bei Bedarf auch deren Wirtschaftlichkeit darstellen. Für die Annahme des Energiepreissteigerungsfaktors ist zu empfehlen, eine Absprache mit dem Auftraggeber vorzunehmen. Unterschiedliche Bewertungen oder ein „Schönrechnen“ von Energiesparmaßnahmen lassen sich so reduzieren.

Tabellen mit Annuitätsfaktoren sind auf der Website www.sonnenbahn.de zu finden.

Verwendete Abkürzungen in den Hydraulikschemas:

BM	Brauchwassermischer
HM	Heizungsmischer
HT-Heizkreis	Hochtemperatur-Heizkreis
KW	Kaltwasser
MAG	Membran-Ausdehnungsgefäß
NT-Heizkreis	Niedertemperatur-Heizkreis
PU	Pumpe
PWT	Plattenwärmetauscher
RL	Rücklauf
RV	Rückschlagventil
S	Sensor
T	Temperatur
UV	Umschaltventil
VL	Vorlauf
WT	Wärmetauscher
WW	Warmwasser
Z-PU	Zirkulationspumpe

Literaturverzeichnis

- [1] Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz (ENEV) vom 29.04.2007, geändert am 18.11.2013
- [2] Vela Solaris AG, Polysun Designer Solarthermal Simulation 5.3.14.13272
- [3] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. , DVDW- Arbeitsblatt W 551
- [4] RESOL - Elektronische Regelungen GmbH, Hattingen
- [5] VDI-Richtlinie 2067, Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen
- [6] Tyforop Chemie GmbH, Hamburg
- [7] Wärmeverluste durch Gegenstromzirkulation, SPF-Institut für Solartechnik, Rapperswil
- [8] Dr. Valentin Energiesoftware GmbH, T*Sol Professional 4.5
- [9] Kehr- und Überprüfungsordnung KÜO v. 16.06.2009, geändert am 08.04.2013r
- [10] Gesetz zur Neuregelung des Schornsteinfegerwesens vom 26.11.2008 (BGBl. 2008, Teil I Nr. 54
- [11] Recknagel, Sprenger, Hönnmann, Taschenbuch für Heizung + Klima Technik, Oldenbourg Verlag 1992

Anlage 1
Checkliste Fehlersuche Solarwärmanlage Seite 1

Die Checkliste Fehlersuche zeigt einige typische Fehler beim Betrieb einer Solarwärmanlage.
 Kein Anspruch auf Vollständigkeit, keine Haftung für die Richtigkeit. Herstellerhinweise sind zu beachten.

Merkmale	Ursachen	Maßnahmen zur Abhilfe
Abblasen Si-Ventil	- MAG zu knapp bemessen (temperaturbedingte Ausdehnung bzw. Volumenzunahme durch Verdampfung kann nicht aufgefangen werden)	- ausreichendes MAG einbauen
	- Kappenventil am MAG geschlossen (MAG arbeitet nicht)	- Kappenventil öffnen
	- Si-Ventil nur knapp über statischer Höhe bemessen	- Si-Ventil mit höherem Ansprechdruck einbauen (zulässigen Druck der Komponenten beachten)
	- Vordruck oder Betriebsdruck zu hoch	- Vordruck u. Betriebsdruck prüfen, einstellen
Abblasen Si-Ventil mit Flüssigkeitsverlust	- Solarvor- u. Rücklauf am Kollektor vertauscht (keine Wärmeabnahme am Kollektor- sh. auch nächster Pkt.)	- Anschlüsse wechseln
	- Kein Auffanggefäß an Anlage (an SI-Ventil)	- Auffanggefäß mit Leitung installieren
Solarpumpe taktet nur kurz	- Solarvor- und Rücklauf am Kollektor vertauscht (nach dem Einschalten der Pumpe erreicht kaltes Rücklaufwasser den Kollektorfühler-Anlage schaltet sofort wieder ab) - das Fluid muß alle Kollektoren in Richtung Fühler durchströmen!	Anschlüsse wechseln
Solarpumpe läuft heiß	- Luft im System, keine Umwälzung wg. fehlender Lüfter an Hochpunkten der Anlage im Vor- und Rücklauf oder vor abfallender Leitung (in Strömungsrichtung gesehen)	- An Hochpunkten Anlage entlüften, ggf. weitere Lüfter einbauen. Alternativ mit starker Spezialpumpe Anlage füllen u. gleichzeitig entlüften, ggf. Permanentlüfter (bei tiefliegender Solarstation) einbauen
	- Solarpumpe im Solarvorlauf eingebaut	- Pumpe im Solarrücklauf (kalte Seite) einbauen
	- Flowmeter oder Kombihähne (Temperatur + Schwerkraftbremse) zu	- Armatur öffnen
Druckstöße im Solarkreis	- Luft im Solarkreis, Kappenventil am MAG geschlossen	- Entlüften, Kappenventil öffnen
	- Anlage zieht Luft (Betriebsdruck sinkt unter Vordruck am Solar-MAG)	- Vordruck und Betriebsdruck prüfen, anpassen
Anlagendruck sinkt auf statische Höhe	- Automatikentlüfter hat abgeblasen (Absperrung offen oder fehlt)	- Absperrung schließen oder einbauen (gilt für Automatikentlüfter)
Anlagendruck sinkt	- Defekt am Membrane vom MAG	- MAG prüfen, wechseln
	- Undichtheit an Kollektorverbindung, Rohrleitung	- Verbindungen dichten
	- Manuelle Entlüftung während Stagnationsphase (Solarfluid ist in Dampfphase übergegangen - es entweicht Fluid statt Luft)	- Fluid nachfüllen
Flowmeter hängt (dreht sich nicht)	- (Löt)-Rückstände in Anlage, Anlage nicht ausreichend gespült	- Flowmeter lösen (läßt sich evtl. über erzeugte Druckstöße durch kurzzeitiges Öffnen KFE-Hahn lösen. Sonst Flowmeter reinigen, spülen)
	- Keine Umwälzung im Solarkreis wg. Luft im System	- Entlüften
Anodenstrom an Opferanode fehlt	- Anode falsch angeschlossen oder verbraucht (kein Strom zwischen Anode, Speicher, Anodentester)	- Isolierten Einbau prüfen, Anode prüfen, Anode wechseln- ggf. Fremdstromanode einbauen
Nachts hoher Temperaturabfall am Speicher	- Solarvor- und Rücklauf am Speicher vertauscht (VL liegt tiefer als RL- Schwerkraftbremse kann nicht wirken, daher Selbstentladung)	- Anschlüsse anders anschließen
	- Keine Rückschlagklappe im Kaltwasseranschluss (Schwerkraftzirkulation über Zirkulationsleitung)	- Rückschlagklappe einbauen
	- Zirkulationszeiten zu lange eingestellt (Zirkulation auch ohne WW-Abnahme)	- Zeiten anpassen, ggf. statt zeitgesteuerter Zirkulation bedarfsgesteuerte Zirkulation vorsehen (sh. Pkt. 4.7.2.5)
	- Schwerkraftzirkulation über Anschlüsse (keine Siphonierung)	- Siphonierung oder verstärkte Dämmung an Anschlüssen vornehmen
Kollektortemperatur zu hoch	- Pumpenstufe zu klein	- Pumpenstufe erhöhen
	- Einschaltdifferenz zu hoch	- Einschaltdifferenz senken
Solarertrag zu gering (im Vergleich zum Simulationsergebnis)	- Fehlerhafte Fühlerposition am Solarspeicher (zu großes Volumen wird über Heizkessel nachgeheizt)	- Position mit Solarprogramm optimieren u. ändern
	- Beim Kombipuffer Einbindepunkt Heizungsvorlauf zu hoch - dadurch Heizwasser-Entnahme aus Trinkwasserzone und erhöhte Trinkwasser-Nachheizung durch Kessel	- Position Einbindepunkt ändern, hilfsweise Fühlerposition ändern
	- Kein hydraulischer Abgleich- dadurch zu hoher Volumenstrom und zu hohe Rücklaufwasser-Temperatur in Zone des Solarwärmetauschers	- hydraulischen Abgleich vornehmen
	- Heizwasser-Rücklauf-Einbindepunkte (bei HT u. NT-Kreis) nicht getrennt (Rücklauf-Temperatur zu hoch)	- Kälteren Rücklauf tiefer einbinden
	- Speicher bei Mehrspeichersystem falsch Be- und entladen (in der Regel ist dem WW-Speicher bei solarer Beladung der Vorrang einzuräumen- weitere Hinweise sh. Pkt. 4.5.1.3)	- Vorrang-Reihenfolge ändern
	- Bei Mehrspeichersysteme keine Umschichtung ehe Nachheizung durch Kessel (solar erzeugte, nutzbare Temperaturniveaus nicht ausgeschöpft)	- Umschichtung nutzbarer Temperaturniveaus vornehmen
	- 3-Wege-Umschaltventil defekt (keine Umschaltung zum Puffer im Heizkreis)	- Umschaltventil prüfen
	- Verluste im Heizkreis (keine Umgehung des Kessels)	- Hydraulik ändern (sh. Pkt. 4.7.2.2)
- Frostschutzkonzentration zu hoch (Wärmeübertragung vermindert)	- Konzentration anpassen (sh. Pkt. 4.7.1.1)	

Anlage 1
Checkliste Fehlersuche Solarwärmanlage Seite 2

Merkmale	Ursachen	Maßnahmen zur Abhilfe
Solarertrag zu gering (im Vergleich zum Simulationsergebnis)	- Speicher-, Leitungs- und Anschlussverluste zu hoch (fehlende oder ungenügenden Dämmung)	- Leitungen u. Armaturen (besser) dämmen, Rohrleitungen sind durchgängig zu dämmen, Befestigungsmittel (Schellen) stets über Dämmung führen, blinde (ungenutzte) Anschlüsse überdämmen, Speicherböden dämmen, Pumpen nach Herstellerangabe dämmen, Wärmeverluste an Fühlerleitungen reduzieren
	Programmierfehler am Solarregler, Armaturen, Störungen	
	- Speichermaximaltemperatur zu niedrig	- Temperatur bis auf Maximalwert lt. Datenblatt oder nach Anwendung erhöhen (weitere Hinweise lt. Pkt. 4.7.3.2 beachten!)
	- Kollektormaximaltemperatur zu niedrig	- Temperatur bis knapp unter Verdampfungstemperatur (bei Flachkollektoren) erhöhen- Siedetemperatur in Abhängigkeit vom Druck und Mischungsverhältnis- sh. Datenblatt des Herstellers- sh. Pkt. 4.7.3.1)
	- Schaltwerte für Differenz- und Thermostatfunktionen falsch	- Schaltwerte optimieren (sh. Hinweise Pkt. 3.5.2 und 4.7.3.1)
	-Regler Grundschemata (aus Liste von Schemata mit vorkonfigurierten Zuordnungen der Sensoren und Relaisausgänge) falsch programmiert	- Grundschemata ändern
	- Fühler oder Stellglieder im Regler falsch geklemmt	- Klemmungen und Zuordnungen prüfen
	- Kontaktproblem an Sensoren oder Stellgliedern, falsche oder aussetzende Messwerte, Fühlerbruch	- festen Sitze der Verbindungen prüfen, Fühler auf Widerstand (□) prüfen, Widerstandswerte müssen den zugeordneten Temperaturen (sh. Herstellertabelle) entsprechen, Wärmeübertragung an Sensorköpfen durch Wärmeleitpaste und verlängerte Dämmung verbessern (sh. Pkt. 3.5.1)
	- Überspannungsschaden, Störung allgemein (Eingangssicherung defekt, einzelne Regelfunktionen ausgefallen)	- Funktionskontrolle vornehmen, Überspannungsschutz vorsehen, im Menü Bilanzwerte die Relais-Laufzeiten, Maximaltemperaturen u.a. auf Plausibilität prüfen
	- Volumenstrom im Solarkreis zu gering (Durchflusssteller falsch -meist zu gering eingestellt)	- Volumenstrom anpassen
	- Volumenstrom über Pumpe gesteuert- falsche Regelparameter	- Einstellwerte der Durchflussrate über Software analysieren Korrektur vornehmen (sh. Hinweise unter Pkt. 4.7.1.2)
	Programmierfehler am Heizungsregler, Armaturen	
	- Zu Hohe WW-Solltemperatur (Brenner heizt zu oft nach)	- WW-Solltemperatur auf Zapftemperatur + Zuschlag für Temperaturabfall zwischen Speicher und Zapfstelle senken
	- Fühlerposition für Bereitschaftsvolumen für Nachheizung zu tief (es wird zuviel WW auf Temperatur gehalten)	- Sensorposition anpassen
	- Heizkurven für Steilheit und/oder Parallelverschiebung zu hoch	- Heizkurven anpassen (bei verschiedenen Außentemperaturen prüfen- Korrekturen notieren)
	- Brauchwassermischer am Speicher zu hoch eingestellt (erhöhte Verluste am Röhrennetz, Nachheizung kann zusätzlichen Solarertrag übersteigen)	- Temperatur am Brauchwassermischer senken
	- Nachtabsenkung statt Nachtabschaltung eingestellt (erhöhte Verluste, wenn Kessel nur taktet um Bereitschaftstemperatur aufrecht zu erhalten- bei verbessertem Wärmeschutz und thermischer Trägheit vom Gebäude nicht nötig)	- Nachtabschaltung (Nachheizung per Brenner) aktivieren - Frostschutzfunktion durch Ansteuerung der Heizkreispumpe muß bestehen bleiben!)
	- Nachheizung in Mittagsstunden nicht deaktiviert (geringe Unterschreitung von Solltemperaturen ist durch thermische Trägheit tolerierbar- erhöht Solarertrag)	- Nachheizung schrittweise deaktivieren
Solarflüssigkeit ist braun, flockt aus	- Vorzeitige Alterung durch hohe thermische Belastung (Stagnationsphasen), kein Management zur Reduzierung der Verdampfungsphasen, falsche Dimensionierung	- Management zur Wärmeabfuhr des solaren Überschusses, zusätzliche Speicherkapazität errichten, Fluid wechseln
Anzeige RL- Temperatur größer als VL- Temperatur	- Es findet eine Selbstentladung vom Speicher über die Kollektoren statt (Schwerkraftbremse, Rückschlagventil defekt)	- Bauteil reinigen oder austauschen
	- Vertauschung VL und RL an Rohrleitung	- Anschlüsse wechseln
	- Förderrichtung der Solarpumpe falsch	- Pumpe drehen (zulässige Einbaulagen lt. Datenblatt beachten)
Kondensatbildung an Unterseite der Scheiben (Flachkollektoren)	- Entlüftungsöffnungen an tiefliegender Seite vom Kollektor nicht offen (Kondensat bildet sich durch hohe Temperaturunterschiede Tag/Nacht- Kondensat kann nicht vollständig ablaufen)	- Ablauf für Kondensat frei halten
	- Häufige Stagnationsphasen	- Hohe Temperaturen in Kollektoren durch Überschussmanagement verringern (sh. Pkt. 4.8)
Fleckenbildung auf Absorbern (Flachkollektor)	- Mindestneigung für Kollektor (lt. Hersteller) nicht eingehalten, Kondensat tropft von Unterseite der Scheibe auf Absorber statt an Scheibenunterkante nach unten abzulaufen, zu häufige Stagnationsphasen	- Kollektorneigung erhöhen (sh. Pkt. 4.3.1) Überschussmanagement vornehmen (sh. Pkt. 4.8)
Sollwert Solarertrag unbekannt	- Keine Solarertragssimulation übergeben (kein Abgleich von Soll und Ist möglich- keine Veranlassung für Fehlersuche)	- Ertragssimulation anfordern (Anforderungen sh. Pkt. 4.9 und 4.9.1)

Anlage 2

Anleitung Angebotsvergleich

<p>Warum Ertrags-simulation?</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Grundlage für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Anlage - Ermöglicht leichter die Erkennung einer Störung durch Abgleich von Ist- und Sollwerten (Klimaschwankungen sind zu berücksichtigen) - Zwingt Planer und Installateur zur sachgerechten Auslegung und einem wettbewerbsfähigen Angebot - Qualitätsgerechte Planung fördert Akzeptanz und Nachfrage und liegt im gesellschaftlichen Interesse <p>Tipp: Wie können Angebote verglichen werden?</p> <p>Dividiert man den Angebots-Festpreis durch den per Simulation berechneten Solarertrag, erhält man einen Preis in Euro pro erzeugter Kilowattstunde.</p> <p>Beispiel: 10.000 € Installationspreis und 4.800 kWh pro Jahr ergeben $10.000/4.800 = 2,08$ €/kWh (ertragsbasierter Installationspreis). Bei dieser Vorgehensweise gehen unterschiedliche Leistungswerte von Komponenten und verschiedene Kollektor- und Speichergrößen u.s.w. in diesen Preis ein. Das Angebot wird erst dadurch vergleichbar! Bei vergleichbaren sonstigen Konditionen (z.B. Gewährleistung) ist die Anlage mit dem niedrigsten Preis pro erzeugter kWh dann am günstigsten.</p> <p>Achtung: Damit die Anbieter vergleichbare Werte für die Simulation verwenden, müssen die wichtigsten Parameter auf der Abnahmeseite zur Simulation vom Kunden vorgegeben werden.</p> <p>Erläuterung: Man stelle sich vor, für den gleichen Kunden rechnet ein Anbieter mit 300 Liter täglichem Warmwasserverbrauch bei 45°C, ein anderer Anbieter rechnet mit 200 Liter täglichen Verbrauch und gleicher Temperatur. Beim höheren Verbrauch von 300 L/d kann die Solaranlage rechnerisch mehr ernten, es wird ein höherer Jahresertrag ausgewiesen, aber tatsächlich nicht erzielt. Abweichungen zwischen simuliertem und erzielbarem Solarertrag sind ebenso beim Betrieb der Heizungsanlage möglich. Das Beispiel zeigt, wie wichtig für einen Angebotsvergleich identische Randbedingungen für die Simulationen sind. Neben den Daten zum Einsatz von Heizwärme und der Warmwasserbereitung sind ebenso die Daten zur Südabweichung und der Neigung einheitlich anzusetzen. Die abweichenden Kollektor- und Speichergrößen u.a. Komponenten der Anbieter müssen natürlich so wie angeboten bei der Simulation berücksichtigt werden.</p> <p>Übergabe Unterlagen: Mit der Angebotsabgabe sollte folgendes eingefordert werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Übergabe der Datenblätter der wichtigsten Komponenten (Qualität erkennbar- eine Abweichung zwischen angebotenen und eingebauten Komponenten wäre erkennbar) - Übergabe der Solarertragssimulation mit allen Eingabe-Parametern im Ausdruck (Möglichkeit der Manipulation des Ergebnisse stark eingeschränkt)
<p>Was gehört zur Ertragssimulation?</p>	<p>Alle Daten, die Einfluss auf das Ergebnis nehmen, sollten erfasst und bei der Berechnung berücksichtigt werden. Dazu können gehören:</p> <p>Auf der Abnahmeseite:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Beheizte Fläche in m², VL- und RL-Temperatur des Heizmediums bei Auslegung (z.B. -14°C), Heizgrenztemperatur (bis zu welcher Außentemperatur muss geheizt werden?), solare und interne Gewinne durch Fenster und Personen, Norm-Gebäude-Wärmestrombedarf in KW, Heizbetrieb nach Monaten - Bei Hoch- und Niedertemperaturkreisen im Objekt (Radiatoren und Fußbodenheizung) Anteile bestimmen - Nachtabsenkung mit Höhe der Absenkung und Absenkzeiten - Täglicher WW-Verbrauch in Liter, Soll-Zapftemperatur in °C, Zirkulation vorhanden- ja-nein, einfache Länge der Zirkulationsleitung in m, tägliche Betriebszeiten Zirkulation, Lastgangprofil der WW-Entnahmen - Nennleistung der Wärmeerzeugung in KW, angenommene Nutzungsgrade für Heizbetrieb u. WW-Bereitung <p>Bei der solaren Erzeugung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kollektoren mit Typ, Leistungsdaten,, Anzahl, Kollektorfläche in m² - Ausrichtung mit Südabweichung und Neigung - Verschattung (komplettes Verschattungsprofil mit mindestens 180°, besser 360°) - Länge u. Durchmesser von Leitungen, Dicke u. Wärmeleitfähigkeit der Dämmung, Volumenstrom im Kollektorkreis, Mischungsverhältnis von Solarflüssigkeit und Wasser in % - Inhalt von Speichern mit Verhältnis von Höhe zu Durchmesser (wegen Schichtung), Dicke und Wärmeleitfähigkeit der Dämmung, Boden gedämmt? - Reglereinstellungen mit Maximaltemperaturen an Speichern, Hydraulikschema, Einstellwerte für alle Ausgänge - Zugrunde gelegter Wetterdatensatz für die Simulation