

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Fakultät Life Sciences
Studiengang Umwelttechnik

Bachelorarbeit

Untersuchung von Mängeln an solarthermischen Anlagen und
deren Einfluss auf die Anlageneffizienz

Vorgelegt von: Raschke, Mario
(Matr.: ██████████)
Tag der Abgabe: 11.04.2019
Gutachter 1: Prof. Dr. Fritz Dildey
Gutachter 2: Dipl.-Met. Bernhard Weyres-Borchert

Die Arbeit wurde am SolarZentrum Hamburg durchgeführt.

Vorwort

Diese Bachelorarbeit ist in Kooperation mit dem SolarZentrum Hamburg entstanden. Für die unbürokratische Unterstützung und sehr gute Betreuung möchte ich mich bedanken.

Besonders gilt mein Dank Dipl.-Met. Bernhard Weyres-Borchert und Frau Karin Maring, für deren Hinweise, Anregungen und Ideen.

Zudem gebührt mein Dank Herrn Prof. Dr. Fritz Dildey für die Betreuung meiner Bachelorarbeit. Für die hilfreichen Anregungen und die konstruktive Kritik möchte ich mich herzlich bedanken.

Mein größter Dank gebührt meiner Familie und meiner Freundin für die Unterstützung während meines gesamten Studiums. Über die letzten Jahre waren sie meine Motivation und mein Rückhalt.

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit mit dem o.a. formulierten Thema ohne fremde Hilfe selbständig

verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Ort, Datum

Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Nomenklatur

1	Einleitung	1
2	Solarthermische Grundlagen	2
2.1	Solarkollektoren	2
2.2	Wärmespeicher	7
2.3	Solarthermie-Anlage zur Trinkwassererwärmung	8
2.4	Solarthermie-Anlage zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung	9
2.5	Installation und Wartung	10
3	Auslegung der Solarthermie-Anlage	13
3.1	Größe und Ausrichtung der Kollektorfläche	13
3.2	Wärmebedarf	15
4	Methodik/Software für die Anlagensimulationen	15
4.1	T*SOL	15
4.2	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	17
4.3	Experteninterviews	17
5	Simulationen und Auswertungen	18
5.1	Über- /Unterdimensionierung	20
5.2	Nachheizen im Sommer	25
5.3	Fehlendes oder beschädigtes Dämmmaterial	27
5.4	Positionsfehler des Kollektorfühlers	32
5.5	Rücklauf der Nachheizung zu tief angesetzt	35
5.6	Vergleich der Ergebnisse	37
5.7	Weitere Mängel	39
6	Zusammenfassung	42
7	Literaturverzeichnis	43
8	Anhang	

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau eines Flachkollektors mit den an ihm ablaufenden Vorgängen (Quaschning, 2015, p. 114)	3
Abbildung 2: Aufbau und Funktionsweise eines Heatpipe-Vakuumröhrenkollektors (Quaschning, 2015, p. 118)	4
Abbildung 3: Absorptions- und Emissionsgrade im Vergleich (Weyres-Borchert & Kasper, 2015, p. 29).....	5
Abbildung 4: Kollektorwirkungsgrad bei verschiedenen Bestrahlungsstärken (Quaschning, 2015, p. 122).....	7
Abbildung 5: Standardsolaranlage zur Trinkwassererwärmung (Quaschning, 2015, p. 105)	9
Abbildung 6: Solarthermie-Anlage zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung (Quaschning, 2015, p. 107)	10
Abbildung 7: Häufigkeitsverteilung von Fehlern in den unterschiedlichen Bereichen (Kasper & Weyres-Borchert, 2012, p. 75).....	11
Abbildung 8: Beschädigtes Dämmmaterial durch zu hohe Temperaturen im Vorlauf (Weyres-Borchert & Kasper, 2015, p. 109).....	11
Abbildung 9: Strahlungsdiagramm für Berlin (Mertens, 2019)	14
Abbildung 10: Screenshot eines Variantenvergleichs in T*SOL2018 (Valentin Software GmbH, 2015).....	16
Abbildung 11: Darstellung der Referenzanlage für die Simulationen	19
Abbildung 12: Vergleich der täglichen Maximaltemperaturen im Kollektor der Referenzanlage und der überdimensionierten Anlage	23
Abbildung 13: Überdimensionierte Anlage.....	25
Abbildung 14: Rohrverluste pro Meter	30
Abbildung 15: Beschädigte und falsch gedämmte Rohrdämmung	32
Abbildung 16: Einfluss der falsch gemessenen Temperaturen im Vorlauf des Kollektorkreises auf die abgegebene Energie	34
Abbildung 17: Einsparungsverluste im Vergleich zur Referenzanlage in €	35
Abbildung 18: Vergleich der Abweichung des Solarertrags durch die untersuchten Mängel von der Referenzanlage	37

Abbildung 19: Differenz der Einsparungen aufgrund der Mängel im Vergleich zur Referenzanlage in €	38
Abbildung 20: Abgegebene Energie an den Kollektorkreis in Abhängigkeit vom Volumenstrom	40

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vor-, und Nachteile von Kupferrohr und Edelstahlwellrohr.....	12
Tabelle 2: Warmwasserbedarf für Wohnungen (Quaschnig, 2015, p. 138)	15
Tabelle 3: Werte der einzelnen Komponenten	19
Tabelle 4: Eigenschaften des in der Simulation verwendeten Flachkollektors	20
Tabelle 5: Simulationsergebnisse im Programm TSOL*2018	21
Tabelle 6: Simulationsergebnisse des Variantenvergleichs.....	26
Tabelle 7: Rohr und Dämmwerte	28
Tabelle 8: Simulationsergebnisse im Variantenvergleich in T*SOL 2018	29
Tabelle 9: Rohrverluste	29
Tabelle 10: Simulationsergebnisse aus der Berechnung von T*SOL2018	33
Tabelle 11: Simulationsergebnisse	36

Nomenklatur

A_K	= bestrahlte Kollektorfläche [m ²]
α_1	= linearer Wärmeverlustkoeffizient [W/(m ² · K)]
α_2	= quadratischer Wärmeverlustkoeffizient [W/(m ² · K ²)]
c	= spezifische Wärmekapazität [Wh/kg · K]
E	= von der vorderen Abdeckung durchgelassene Bestrahlungsstärke [W/m ²]
ϑ_m	= mittlere Absorbenttemperatur [°C]
ϑ_a	= Umgebungslufttemperatur [°C]
$\Delta\vartheta$	= $\vartheta_m - \vartheta_a$ [K]
$\vartheta_{S,max}$	= maximale Speichertemperatur [°C]
$\vartheta_{S,min}$	= minimale Speichertemperatur [°C]
m_S	= Masse des Speichermediums [kg]
η_0	= optischer Wirkungsgrad [-]
\dot{Q}_K	= Konvektionsverluste [W]
\dot{Q}_S	= Verluste durch Wärmestrahlung [W]
\dot{Q}_R	= Reflexionsverluste [W]
Q_S	= Wärmemenge im Speicher [kWh]
τ	= Transmissionsgrad [-]
\dot{q}_R	= Wärmeverlust pro Meter [W/m]
λ	= Wärmeleitfähigkeit [W/(m·K)]
D_{Wd}	= Außendurchmesser des gedämmten Rohres [mm]
D_{Rohr}	= Außendurchmesser des Rohres [mm]

1 Einleitung

Die Installation von solarthermischen Anlagen ist eine von vielen Möglichkeiten, sich von fossilen Energieträgern unabhängig zu machen und einen effektiven Beitrag zur Wärmewende zu leisten. Die Solarthermie ist ein Baustein, um bis 2050 das Ziel der Bundesregierung eines klimaneutralen Gebäudebestands zu erreichen.

Die Zahl der installierten solarthermischen Anlagen nimmt stetig zu. Das Wachstum verlangsamt sich jedoch seit dem Jahr 2008. Es werden Jahr für Jahr weniger Anlagen neu installiert (BSW-Solar, 2018). Im letzten Jahr (2018) sind rund 71.000 Solarwärmeanlagen neu installiert wurden. Im Jahr zuvor waren es noch 78.000. Gemessen an der Kollektorfläche entspricht das einem Marktrückgang von 8 Prozent (Agentur für Erneuerbare Energien, 2019).

Ein möglicher Grund für einen Rückgang ist, dass die Solarwärmeanlage nicht immer das erzielt, was erwartet bzw. berechnet wurde. Dies hat unterschiedliche Ursachen und führt meist auf Mängel an der Anlage zurück und bringt unzufriedene Kunden mit sich. In der vorliegenden Arbeit wird untersucht, wie groß der Einfluss von Mängeln an solarthermischen Anlagen auf die Anlageneffizienz sein kann. Dabei geht es in erster Linie um die Auswirkungen auf den Solarertrag. Mit der Hilfe von Eigenrecherche und Interviews mit Experten, die schon viele Jahre in dem Bereich Solarthermie tätig sind, wurde über die Ursache und Bedeutung von Mängeln an solarthermischen Anlagen diskutiert. Die Erfahrungsberichte der Experten helfen dabei, die Bedeutung einiger Mängel in der aktuellen Solarthermie-Branche deutlich zu machen.

Es wird die Simulationssoftware beschrieben, um die Funktionsweise verständlich zu machen. Anschließend werden für die Simulation geltende Randbedingungen und Anforderungen dokumentiert. Die mittels Simulation untersuchten Mängel wurden hinsichtlich der Ergebnisse und deren wirtschaftlichen Einfluss ausgewertet und eine Möglichkeit der Optimierung oder Fehlervermeidung bestimmt. Um die Bedeutung der untersuchten Mängel in der Praxis zu unterstreichen, wurden zum Teil Praxisbeispiele zum Vergleich herangezogen. Darüber hinaus belegen die Erfahrungsberichte aus den Experteninterviews die Relevanz im heutigen Solarthermiegeschäft. Abschließend werden die Auswirkungen der unterschiedlichen Mängel gegenübergestellt und verglichen.

Die Ergebnisse dieser Arbeit sollen dabei helfen, die Auswirkungen unterschiedlicher Mängel abschätzen zu können, um Fehler zeitnah zu erkennen oder durch Präventivmaßnahmen gänzlich zu vermeiden.

2 Solarthermische Grundlagen

Von den erneuerbaren Energiequellen bietet die Sonne das größte Potential. Aus Sonnenenergie kann elektrische oder thermische Energie erzeugt werden. Man spricht von solarthermischen Anlagen bzw. Solarstrom oder photovoltaischen Anlagen. Häufigste Anwendungen von solarthermischen Anlagen sind die Schwimmbadwassererwärmung, die Trinkwassererwärmung und die Unterstützung der Raumheizung. Weitere Einsatzgebiete sind solare Kühlung oder solare Prozesswärme (Quaschnig, 2015, p. 97). In dieser Arbeit wird es um solarthermische Anlagen zur Trinkwassererwärmung und Kombianlagen zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung gehen.

2.1 Solarkollektoren

Die photothermische Umwandlung der Sonneneinstrahlung findet im Sonnenkollektor statt (Schabbach & Leibbrandt, 2014). Die zwei häufigsten Kollektortypen sind Flachkollektoren und Vakuumröhrenkollektoren. Das Herzstück beider Kollektorbauformen ist ein speziell beschichteter Absorber, der aus einem gut wärmeleitenden Metall wie Kupfer oder Aluminium besteht. Beim Flachkollektor befindet sich der Absorber in einem gut wärmegeprägten, rechteckigen Gehäuse und ist zur Sonnenseite mit einer transparenten Abdeckung abgedeckt (Metz, et al., 2012, p. 12). Der Absorber wandelt das Sonnenlicht in Wärme um und gibt diese an die Wärmeträgerflüssigkeit weiter, die in Rohren durch den Absorber fließt. Bei diesem Medium handelt es sich aus Gründen des Frostschutzes meist um ein Gemisch aus Wasser und Propylenglykol. Außerdem sollte die Flüssigkeit biologisch abbaubar sein (Umweltdatenbank, 2019).

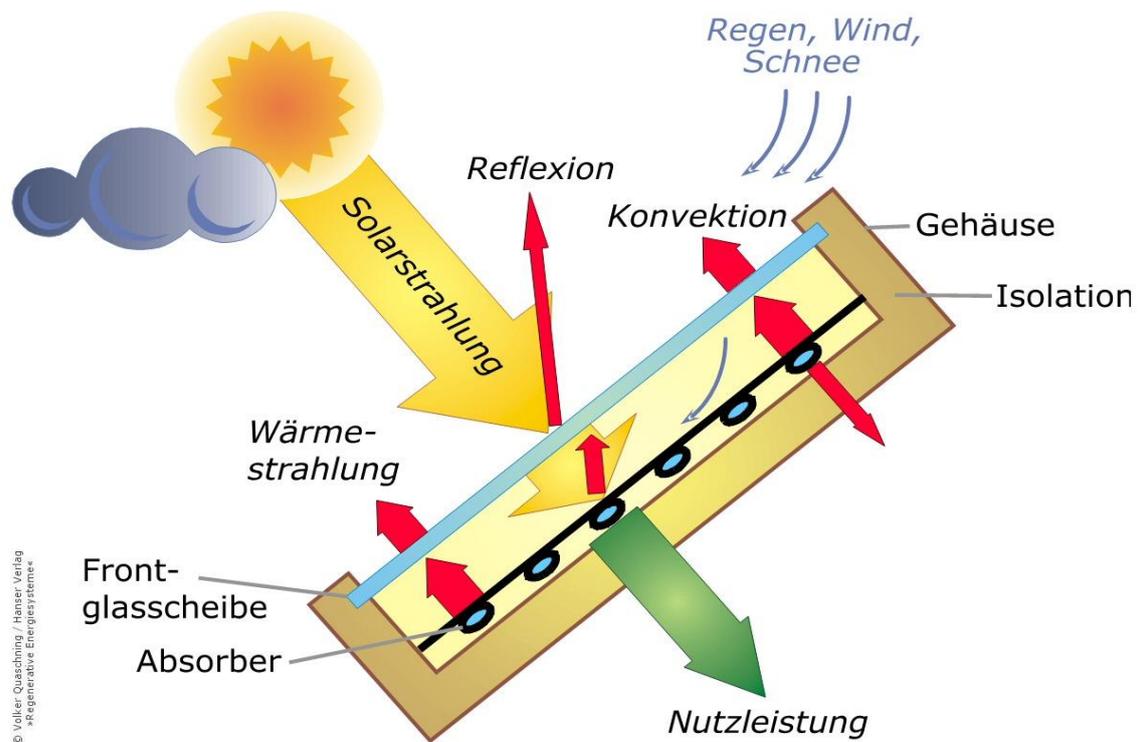


Abbildung 1: Aufbau eines Flachkollektors mit den an ihm ablaufenden Vorgängen (Quaschnig, 2015, p. 114)

Trotz frontseitiger Abdeckung und Wärmedämmung treten im Flachkollektor, aufgrund von Temperaturunterschieden zwischen Absorber und Umgebung, Wärmeverluste durch Konvektion, Leitung und Abstrahlung auf (Abbildung 1). Auf der anderen Seite reduzieren Reflexionen an der Glasscheibe und am Absorber die kurzweilige Einstrahlung (Quaschnig, 2015, p. 114 f.).

Der Vakuumröhrenkollektor besteht aus einer Glasröhre in deren Inneren ein Vakuum erzeugt wird. Man unterscheidet zwischen der Heatpipe und direkt durchströmter Vakuumröhre.

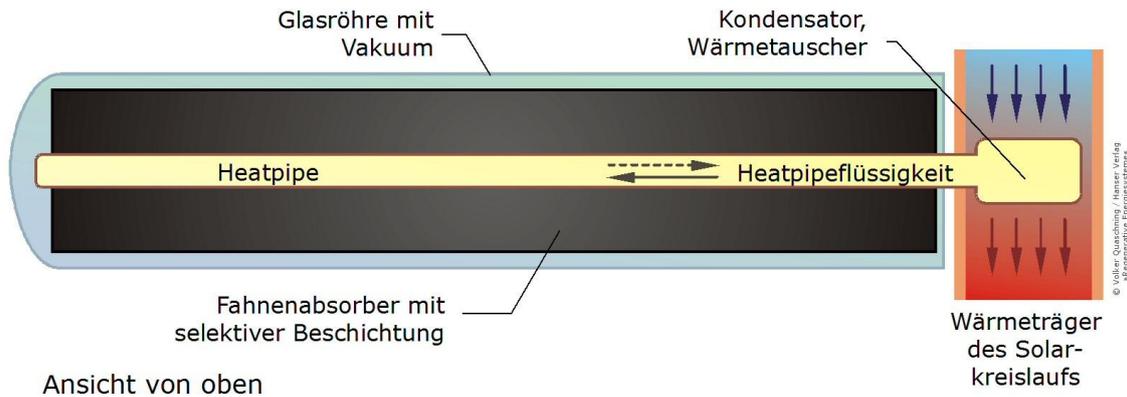


Abbildung 2: Aufbau und Funktionsweise eines Heatpipe-Vakuümrohrkollektors (Quaschnig, 2015, p. 118)

In Abbildung 2 ist ein Vakuümrohrkollektor in der Heatpipevariante dargestellt. In der Mitte eines sogenannten Fahnenabsorbers, ein flaches Absorberblech, befindet sich ein Wärmerohr, in dem sich eine geringe Menge an Flüssigkeit bei Unterdruck befindetet. Durch die Sonne wird die Flüssigkeit erwärmt und der aufsteigende Dampf gelangt zu einem Kondensator und überträgt seine Wärme an das vorbeiströmende Medium durch Kondensation. Voraussetzung für das Funktionieren ist eine bestimmte Mindestneigung des Kollektors, da die kondensierte Flüssigkeit wieder ablaufen muss. Im Gegensatz dazu fließt die Solarflüssigkeit bei durchströmtem Vakuümrohrkollektor direkt durch den Absorber und den Sammler, ein Wärmetauscher im Kollektor ist damit überflüssig (Quaschnig, 2015, p. 117 f.).

Im Vergleich zu Flachkollektoren besitzen Vakuümrohrkollektoren einen höheren Wirkungsgrad. Man muss jedoch mit höheren Investitionskosten als bei Flachkollektoren rechnen (Quaschnig, 2015, p. 118).

Absorber

Von größter Bedeutung in jedem Kollektor ist der Absorber. Da in den Kollektoren Temperaturen bis zu 350 °C erreicht werden, muss auf Materialien zurückgegriffen werden, die dauerhaft temperaturbeständig und gut wärmeleitend sind. Materialien, auf die diese Eigenschaften zutreffen, sind z.B. Aluminium oder Kupfer. Die Aufgabe des Absorbers besteht darin, die auftreffende Solarstrahlung zu absorbieren und in Wärme umzuwandeln. Um dies möglichst verlustfrei zu realisieren, nutzt man die sogenannten hochselektiven Beschichtungen. Der Vorteil der Selektivbeschichtung ist die sehr gute Absorption von

kurzwelliger Solarstrahlung, während die emittierte Wärmeabstrahlung geringgehalten wird (Weyres-Borchert & Kasper, 2015, p. 28 f.).

In Abbildung 3 sind die Absorptions- und Emissionsgrade von Kupfer und verschiedenen Absorberbeschichtungen dargestellt.

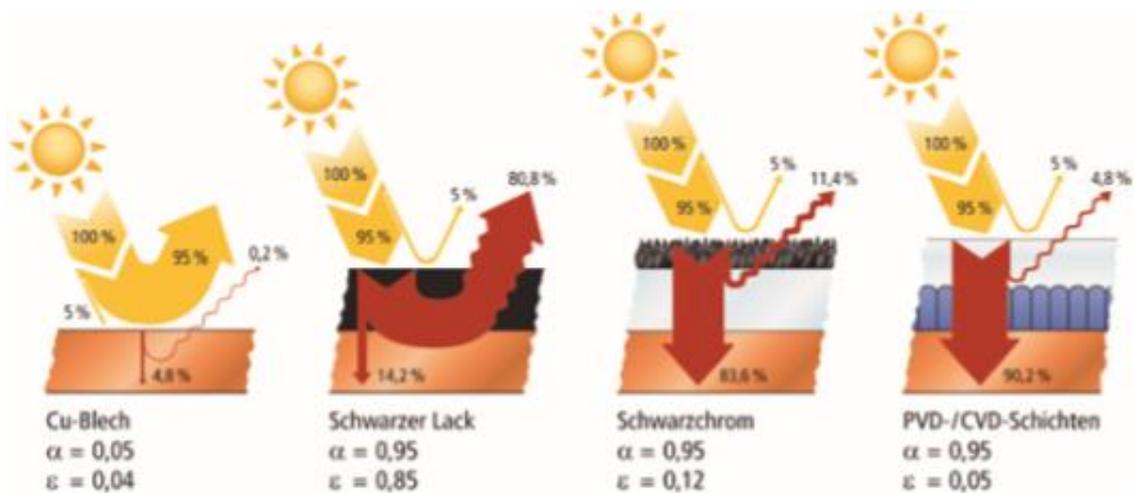


Abbildung 3: Absorptions- und Emissionsgrade im Vergleich (Weyres-Borchert & Kasper, 2015, p. 29)

Bei der selektiven Beschichtung setzt man als Material zum Beispiel Schwarznickel, Cermet oder Tinox ein (Quaschnig, 2015, p. 119).

Kollektorwirkungsgrad und Kollektorleistung

Der Anlagenertrag wird im Wesentlichen bestimmt durch den Kollektorwirkungsgrad bzw. die Kollektorleistung. Die maximale Kollektorleistung setzt sich aus dem Produkt der von der vorderen Abdeckung durchgelassenen solaren Bestrahlungsstärke E , der bestrahlten Absorberfläche A_K und dem Transmissionsgrad τ zusammen, wobei von diesem Produkt jedoch noch Verluste in Form von Reflexion, Konvektion, Leitung und Strahlung subtrahiert werden müssen.

Für die Kollektornutzleistung gilt:

$$\dot{Q}_{KN} = \tau \cdot E \cdot A_K - \dot{Q}_K - \dot{Q}_S - \dot{Q}_R$$

Wie zuvor erläutert, lassen sich die Verluste durch Wärmestrahlung mit Hilfe der selektiven Absorber deutlich reduzieren. Ebenfalls reduzieren lassen sich die Konvektionsverluste durch Einsetzen eines Vakuums zwischen Absorber und Frontscheibe. Fasst man die Verluste durch Konvektion und Wärmestrahlung zu \dot{Q}_V zusammen und setzt für die Reflexionsverluste den Absorptionsgrad α ein, ergibt sich:

$$\dot{Q}_{KN} = \tau \cdot E \cdot A_K \cdot \alpha - \dot{Q}_V$$

(Quaschning, 2015, p. 121 f.).

Der Kollektorwirkungsgrad beschreibt das Verhältnis von nutzbarer Wärmeleistung zu eingestrahelter Sonnenenergie, der Bestrahlungsstärke E . Der Wirkungsgrad wird durch die optischen und thermischen Verluste bestimmt (Weyres-Borchert & Kasper, 2015, p. 31 f.).

Die Gleichung für den Kollektorwirkungsgrad lautet wie folgt:

$$\eta = \eta_0 - \frac{\alpha_1 \cdot \Delta\vartheta}{E} - \frac{\alpha_2 \cdot \Delta\vartheta^2}{E}$$

Der optische Wirkungsgrad η_0 wird bestimmt durch die optischen Verluste durch Transmission und Absorption, während die thermischen Verluste (beschrieben durch α_1 und α_2) im Wesentlichen durch die Temperaturdifferenz zwischen Absorber und Umgebungsluft bestimmt werden. Den optischen Wirkungsgrad bezeichnet man auch als Konversionsfaktor. Dieser liegt meist zwischen 0,8 und 0,97 (Quaschning, 2015, p. 122).

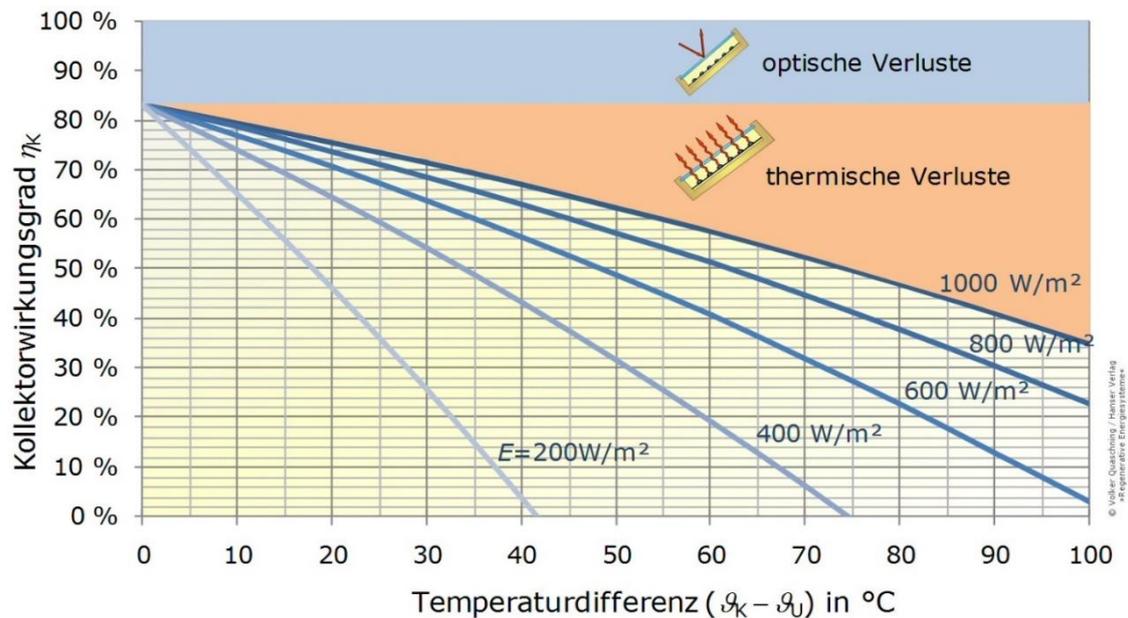


Abbildung 4: Kollektorwirkungsgrad bei verschiedenen Bestrahlungsstärken (Quaschnig, 2015, p. 122)

Aus der Gleichung für den Wirkungsgrad kann man entnehmen, dass der Wirkungsgrad mit größer werdender Temperaturdifferenz zwischen Absorber und Umgebung sinkt, da die thermischen Verluste ansteigen. Bei geringerer Bestrahlungsstärke (z.B. im Winter) kann dem Kollektor schon bei relativ geringen Temperaturdifferenzen keine Leistung mehr entnommen werden. Dieser Verlauf ist in Abbildung 4 dargestellt (Quaschnig, 2015, p. 122).

2.2 Wärmespeicher

Um die erzeugte Wärme auch an sonnenarmen Tagen nutzen zu können, benötigt man einen Wärmespeicher. Man unterscheidet Kurz- von Langzeitspeichern. Langzeitspeicher werden auch saisonale Speicher genannt und sind deutlich größer als Kurzzeitspeicher. Kurzzeitspeicher bevorraten die Wärme für einige Stunden oder Tage (Quaschnig, 2015, p. 131). Für die folgende Arbeit sind die üblicherweise in Einfamilienhäusern eingesetzten Kurzzeitspeicher vorgesehen.

Die Größe des Speichers, hängt in erster Linie vom Wärmebedarf ab. Bei einer Anlage die nur der Trinkwassererwärmung dient rechnet man als Faustformel mit einem Speichervolumen, das dem 1,5 – 2-fachen täglichen Warmwasserbedarf entspricht (Schnauss, et al., 2012, p. 21). Bei einer Anlage, die zusätzlich zur Heizungsunterstützung dient, wird das

Speichervolumen etwa doppelt so groß oder mit ca. 60-80 Litern pro m² Absorberfläche ausgelegt.

Mit der folgenden Gleichung lässt sich die mögliche zu speichernde Wärmemenge oder auch der jährliche Warmwasserbedarf berechnen:

$$Q_S = m_S \cdot c \cdot (\vartheta_{S,max} - \vartheta_{S,min})$$

(Metz, et al., 2012, p. 39)

Die spezifische Wärmekapazität von Wasser beträgt 1,16 Wh/ kg · K.

Geht man von einer Temperaturdifferenz von z.B. 60 K und einem typischen Kombispeicher mit einem Volumen von 800 Litern aus, können somit gut 55 kWh gespeichert werden. Dieser Energiemenge würden knapp 6 Liter Öl entsprechen (Corradini, et al., 2014, p. 34). Ausgehend von einem Warmwasserbedarf m_S , kann man mit dieser Gleichung den Warmwasserwärmebedarf ermitteln.

2.3 Solarthermie-Anlage zur Trinkwassererwärmung

In Abbildung 5 ist ein typisches System zur solaren Trinkwassererwärmung dargestellt. Ziel hierbei ist es, den sommerlichen Trinkwasserwärmebedarf vollständig abzudecken. Dies führt zu einem sogenannten jährlichen solaren Deckungsanteil von 60 %.

Der Standard ist ein sogenanntes Zweikreisssystem. Der Solarkreis beinhaltet einen Wärmeübertrager für die Solarwärmeeinspeisung im unteren Speicherbereich. Der Nachheizkreis dient der Nachheizung durch den Heizkessel im oberen Bereitschaftsteil des Speichers. Die Dichteunterschiede sorgen dafür, dass das wärmere Wasser im Speicher nach oben steigt.

Das Trinkwarmwasser wird direkt aus dem Trinkwasserspeicher entnommen. Alternativ können Pufferspeicher (gefüllt mit Heizungswasser) mittels Durchlaufprinzip oder Frischwasserstationen das Trinkwarmwasser erwärmen. Bei diesen Konzepten erfolgt die Trinkwassererwärmung verbrauchsabhängig bei Zapfung (Weyres-Borchert & Kasper, 2015, p. 59 f.). Eine weitere Variante ist der sogenannte Tank-in-Tank-Speicher.

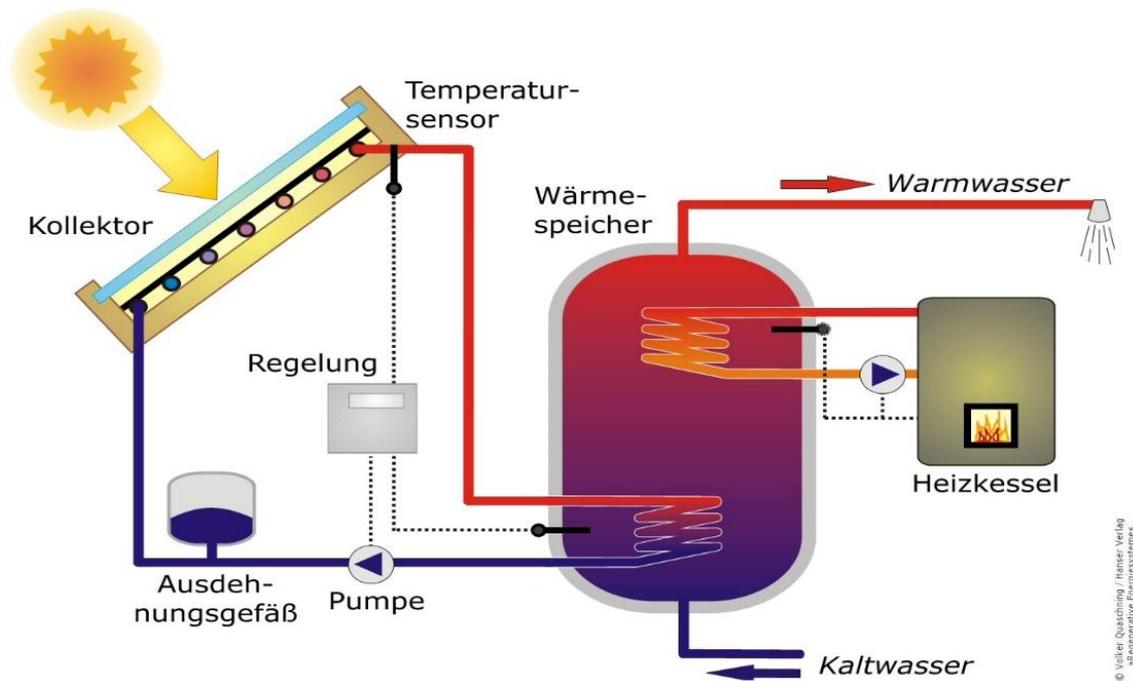


Abbildung 5: Standardsolaranlage zur Trinkwassererwärmung (Quaschnig, 2015, p. 105)

2.4 Solarthermie-Anlage zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung

Eine weitere Möglichkeit die erzeugte Solarwärme zu nutzen, ist die sogenannte Kombianlage zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung. Abbildung 6 zeigt einen möglichen Aufbau. Durch eine im Vergleich zur Trinkwassererwärmung vergrößerte Kollektorfläche und einen größeren Speicher lässt sich der Heizbedarf in der Übergangszeit zu nennenswerten Teilen solar decken. Es existieren aufgrund der individuellen Verbrauchsprofile kaum Faustformeln für die Dimensionierung einer Kombianlage. Bei Kleinanlagen mit 10 – 20 m² Kollektorfläche legt man den Speicher meist auf 700-800 Liter aus (Corradini, et al., 2014, p. 16). Zu beachten gilt, dass mit der Vergrößerung der Kollektorfläche zwar der Systemertrag steigt, in der heizungsfreien Zeit (Sommer) jedoch auch die Menge an überschüssiger Sonnenwärme. Folge ist ein geringerer spezifischer Systemertrag und damit eine Verschlechterung der Effizienz und Wirtschaftlichkeit. Häufig versucht man aufgrund dieses Aspektes die Überschüsse möglichst gering zu halten und legt die Anlagen nicht größer als doppelt so groß im Vergleich zur reinen Trinkwassererwärmung aus (Weyres-Borchert & Kasper, 2015, p. 62 f.).

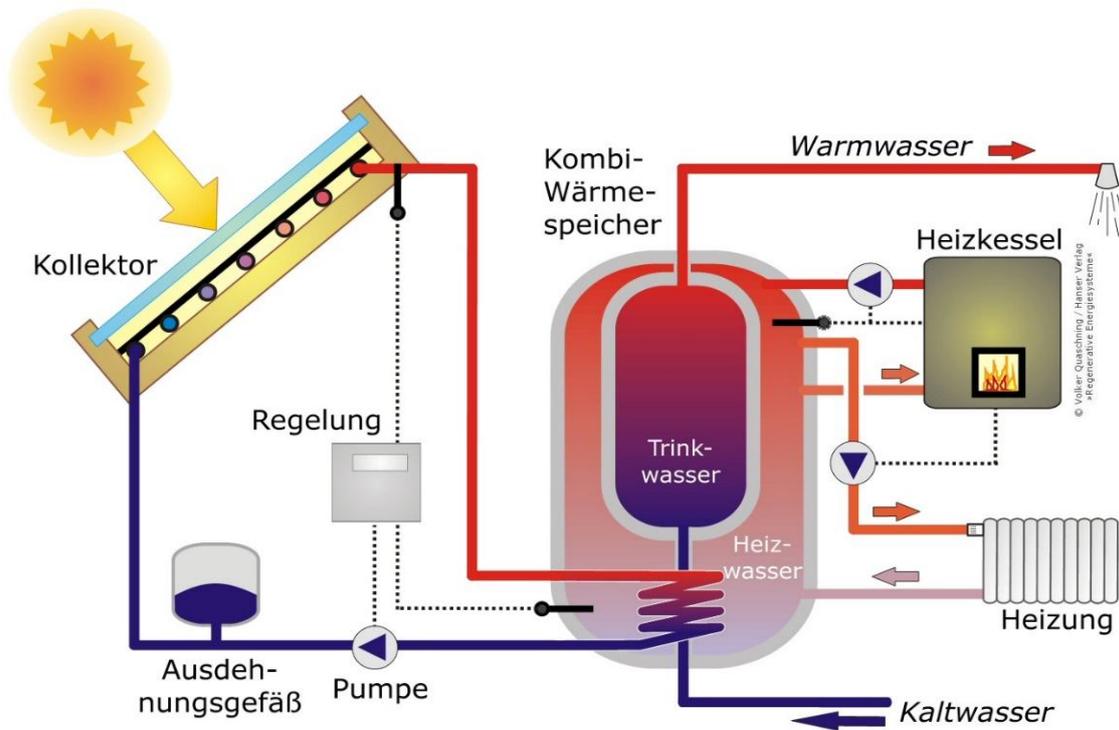


Abbildung 6: Solarthermie-Anlage zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung (Quaschnig, 2015, p. 107)

Der Aufbau dieses Systems unterscheidet sich nur in wenigen Punkten. Beim Speicher handelt es sich um einen Kombispeicher, der als Tank-in-Tank-Speicher ausgeführt ist. Neben den bekannten Anschlüssen sind nun zusätzlich noch Vor- und Rücklauf der Raumheizung angeschlossen. Auf diese Weise kann in einem durchschnittlich gedämmten Gebäude etwa die doppelte Menge an fossiler Energie eingespart werden. Ist ein Gebäude sehr gut wärmegeämmt, kann der Hauptteil des Gesamtwärmebedarfs (Trinkwarmwasser und Raumheizung) von der Solaranlage gedeckt werden und die konventionelle Energieerzeugung dient als Unterstützung (Corradini, et al., 2014, p. 17).

2.5 Installation und Wartung

Sowohl bei der Installation als auch während der gesamten Lebensdauer ist eine solarthermische Anlage ein Energiesystem, welches eine gründliche Überwachung erfordert. Bei der Installation der solarthermischen Anlage überschneiden sich bereits die Gewerke des Dachdeckers, Heizungs- bzw. Gas-Wasser-Installateurs und des Elektrikers. Somit wird ein ausgedehntes Fachwissen benötigt (Kasper & Weyres-Borchert, 2012, p. 5).

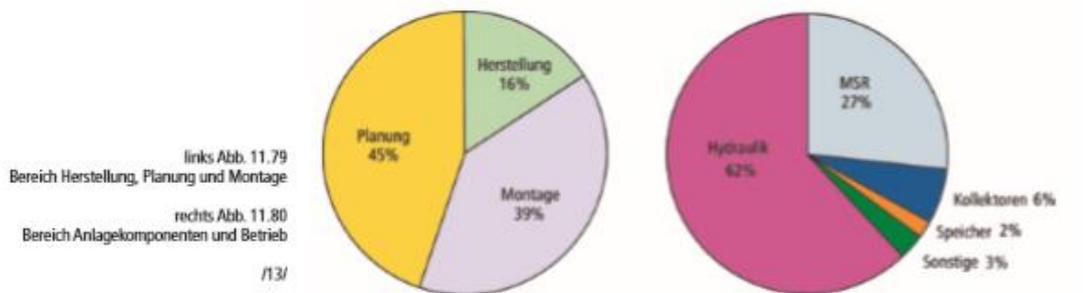


Abbildung 7: Häufigkeitsverteilung von Fehlern in den unterschiedlichen Bereichen (Kasper & Weyres-Borchert, 2012, p. 75)

In Abbildung 7 sind die Bereiche in Form eines Kreisdiagramms dargestellt, in denen es häufig zu Mängeln kommt. In Frage kommen die Herstellung, die Planung und die Montage. Während bei der Herstellung mit 16 % die wenigsten Mängel vorzuweisen sind, liegt die Häufigkeit der Mängel sowohl im Planungsbereich mit 45 %, als auch im Montagebereich mit 39 % deutlich höher. Ein Grund hierfür besteht darin, dass die Eigenschaften der Solartechnik im Vergleich zu der konventionellen Heiztechnik unterschätzt bzw. nicht berücksichtigt werden. In Solarthermie Anlagen kommt es zu Betriebstemperaturen zwischen -30 °C bis $+350\text{ °C}$. Eine Tatsache die häufig falsch eingeschätzt, was sich z.B. bei der Nutzung von nicht geeignetem Dämmmaterial bemerkbar macht. Abbildung 8 zeigt einen Schaden am Dämmmaterial, der durch Einsetzen einer ungeeigneten Wärmedämmung im Außenbereich entstand. Eine ungeeignete Wärmedämmung, welche direkt der Sonne ausgesetzt wird, bildet Risse. (Weyres-Borchert & Kasper, 2015, p. 109).



Abbildung 8: Beschädigtes Dämmmaterial durch zu hohe Temperaturen im Vorlauf (Weyres-Borchert & Kasper, 2015, p. 109)

Im rechten Kreisdiagramm in Abbildung 7 ist die Häufigkeitsverteilung der Mängel in den Bereichen Anlagenkomponenten und Betrieb zu sehen. Deutlich zu entnehmen ist, dass der Bereich Hydraulik mit 62 % den größten Anteil einnimmt. Im Bereich Messen, Steuern und Regeln (MSR) treten noch 27 % der Mängel auf. Auch hierfür dürfte eine Ursache darin liegen, dass sich die Strömungsverhältnisse und die Regelung von solarthermischen Anlagen grundsätzlich von den Verhältnissen in konventionellen Heizungssystemen unterscheiden und dies nur ungenügend berücksichtigt wird.

Rohre und Dämmung

Die Wahl des Rohrmaterials und die ideale Dämmung spielen eine sehr wichtige Rolle, um die gewonnene Wärme möglichst verlustfrei über einige Meter in den Speicher zu transportieren. Das Rohrmaterial des Solarkreises muss bestimmte Eigenschaften vorweisen, um einen fehlerfreien Einsatz zu gewähren:

- Temperatur-, Glykol- und Druckbeständigkeit
- Für den Außenbereich zudem Witterungsbeständigkeit

Über diese Eigenschaften verfügen unter anderem Kupfer und Edelstahl. Somit basieren die Solarkreisleitungen normalerweise auf Kupferglattrohr oder Edelstahlwellrohr (solaranlage-ratgeber, 2019).

Nachfolgend sind die Vor-, und Nachteile beider Materialien in Tabelle 1 festgehalten:

Tabelle 1: Vor-, und Nachteile von Kupferrohr und Edelstahlwellrohr

Kupferrohr		Edelstahlwellrohr	
Vorteile	Nachteile	Vorteile	Nachteile
Leicht zu verarbeiten	Hoher Wärmeleitwert (380W/mK)	Leicht zu verlegen (flexibel)	Hoher Reibungswiderstand (stärkere Pumpe erforderlich)
Kein aufwendiges Verbinden (Pressen, Löten)	aufwändiger Transport	gedämmtes Doppelrohr erhältlich	
Kleiner Reibungswiderstand		niedriger Wärmeleitwert (21W/mK)	

In den meisten Fällen wird für eine Anlage im Einfamilienhaus empfohlen, Edelstahlwellrohr zu verwenden, da diese bereits durchgehend wärme gedämmt sind. Im Vergleich zum Kupferrohr fällt hier die nachträgliche Dämmung weg. Da die nachträgliche Dämmung zudem sehr sorgfältig ausgeführt werden muss, spart man sich einen gewissen Arbeitsaufwand (Corradini, et al., 2014, p. 31).

Neben der Materialwahl gilt es noch zwei Faktoren zu beachten. Eine lückenlose Dämmung einschließlich Armaturen und Speicheranschlüsse ist unumgänglich, um einen hohen Wärmeverlust zu vermeiden. Und es bedarf einer ausreichenden Dämmstärke nach EnEV (siehe Anhang 2) (energiezukunft, 2015).

Der Wärmeverlust der durch die Rohrleitungen entsteht kann mit einer Verlustabschätzung kalkuliert werden. Es lässt sich der Wärmestrom pro Meter Rohrlänge mit folgender Gleichung berechnen:

$$\dot{q}_R = \frac{2 \cdot \pi \cdot \Delta\vartheta \cdot \lambda \left[\frac{W}{m} \right]}{\ln \frac{D_{Wd}}{D_{Rohr}}}$$

$\Delta\vartheta$ entspricht in diesem Fall der Temperaturdifferenz zwischen der Temperatur im Rohr und der Umgebungslufttemperatur in Kelvin.

\dot{q}_R wird dann mit der vorhandenen Rohrlänge und den Betriebsstunden multipliziert (Metz, et al., 2012, p. 70).

3 Auslegung der Solarthermie-Anlage

Das Volumen des Speichers, die Größe der Kollektorfläche, der Wärmebedarf und das Verbrauchsprofil stehen im Zusammenhang. Nachfolgend wird auf die entscheidenden Faktoren zur Auslegung der Anlage eingegangen.

3.1 Größe und Ausrichtung der Kollektorfläche

Die maximale Größe der Kollektorfläche hängt in erster Linie von der zur Verfügung stehenden Dachfläche ab. Dabei ist zu berücksichtigen, dass genug Sicherheitsabstand zu den Rändern besteht. Dach Ein- und Aufbauten wie Fenster oder Gauben könnten diese noch-

mals weiter einschränken. Zudem ist die Ausrichtung und Neigung des Daches zu berücksichtigen, die den Ertrag beeinflusst. Ein weiterer Faktor, den es zu beachten gilt, ist eine mögliche Verschattung. Zu einer Verschattung kommt es z.B. durch hohe Bäume oder Gebäude in Anlagennähe. Auch die Kollektoren selbst können sich bei einer Aufständigung auf einem Flachdach gegenseitig verschatten.

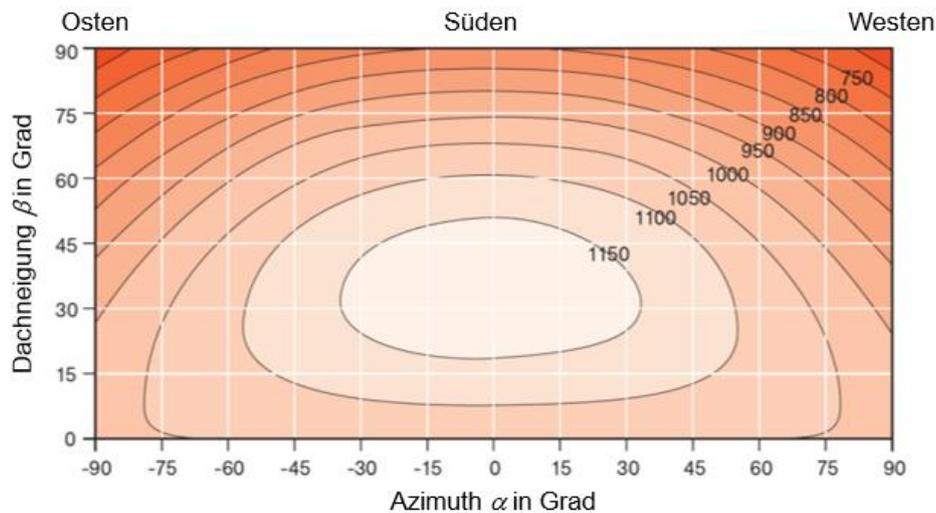


Abbildung 9: Strahlungsdiagramm für Berlin (Mertens, 2019)

In Abbildung 9 wird das Strahlungsangebot (=Globalstrahlung) in Berlin in Abhängigkeit von der Dachneigung und der Ausrichtung (Azimut) in kWh/m² und Jahr dargestellt. Der Azimut gibt an, wie weit die Ausrichtung der Anlage von einer südlichen Ausrichtung abweicht (EEM Energy & Environment Media GmbH, 2019). Aus der Abbildung wird deutlich, dass das optimale Strahlungsangebot erreicht wird, wenn die Anlage südlich ausgerichtet ist und ein Neigungswinkel von ca. 30° vorliegt (Kasper, et al., 2012, p. 28 f.). Die Werte vom Standort Berlin lassen sich auch auf Hamburg übertragen, hier gibt es nur minimale Abweichungen. Für eine solarthermische Anlage ist jedoch auch die Nutzung für die optimale Aufstellung entscheidend. Möchte man die Anlage überwiegend im Sommer für die Trinkwassererwärmung nutzen, so ist eine südliche Richtung mit einer Neigung zwischen 20 und 30° empfehlenswert. Betreibt man die Anlage zur Heizungsunterstützung so ist ein Neigungswinkel von 60° vorteilhafter, da die Sonne in den Frühjahres- und Herbstmonaten tiefer steht. Gleichzeitig wird der üblicherweise hohe Ertrag in den Sommermonaten und damit die Zeit der Stagnation durch die steile Aufstellung reduziert (Frahm, 2019).

3.2 Wärmebedarf

Bei der Anlagendimensionierung sind der Warmwasserverbrauch und der Heizwärmebedarf zwei mitentscheidende Parameter. Der Warmwasserverbrauch hängt im Wesentlichen von der Anzahl der im Gebäude lebenden Personen ab. In Tabelle 2 sind hierzu Annahmen aufgelistet, von denen man näherungsweise ausgehen kann.

Tabelle 2: Warmwasserbedarf für Wohnungen (Quaschning, 2015, p. 138)

	Warmwasserbedarf in Liter/(Tag und Person)		Spezifische Nutzwärme in Wh/(Tag und Person)
	$\vartheta_{\text{ww}} = 60 \text{ °C}$	$\vartheta_{\text{ww}} = 45 \text{ °C}$	
Niedriger Bedarf	10 - 20	15 - 30	600 - 1200
Mittlerer Bedarf	20 - 40	30 - 60	1200 - 2400
Hoher Bedarf	40 - 80	60 - 120	2400 - 4800

Der spezifische Heizwärmebedarf gibt die Wärmemenge an, die zur Aufrechterhaltung einer Solltemperatur in den Räumen eines Gebäudes, bezogen auf die zu beheizende Wohnfläche, benötigt wird. Ein hoher Wert ($>200 \text{ kWh/m}^2$ Wohnfläche und Jahr) deutet auf eine ungenügende Wärmedämmung hin. Der zu erzielende solare Deckungsanteil würde dann entsprechend gering ausfallen (Weyres-Borchert & Kasper, 2015, p. 61).

4 Methodik/Software für die Anlagensimulationen

4.1 T*SOL

Für die Simulationen wurde das Simulationsprogramm T*SOL 2018 von Valentin Energiesoftware verwendet. T*SOL ist ein Simulationsprogramm für die Planung solarthermischer Anlagen. Es lässt sich u.a. der solare Ertrag, den die Anlage an einem bestimmten Standort bringt, präzise berechnen. Das Programm bietet eine Auswahl an möglichen Anlagenvarianten (Trinkwassererwärmung, Heizungsunterstützung, Schwimmbadwassererwärmung usw.) und Komponenten (Kollektoren, Speicher, Kessel) in Form einer Datenbank. Eine Anpassung der unterschiedlichen Komponenten, der Hydraulik und der Regelung ist möglich. So können beispielweise Rohrlänge, Kollektorfläche, Speicher usw. variabel verändert werden. In T*SOL können die Klimadaten von 8000 Standorten weltweit

ausgewählt werden. Die dynamische Simulation erstreckt sich über 1 Jahr und berechnet u.a. Temperaturen und Energien in Zeitschritten von einer bis sechs Minuten. Die Ergebnisse der Simulation können sowohl tabellarisch als auch in Form eines Diagramms ausgegeben werden. Es ist zudem möglich, die Temperaturzustände im System während der Simulation farbige anzeigen zu lassen. Eine gute Option, welche die Software gewährt, ist der Variantenvergleich. Hierbei lassen sich, wie in Abbildung 10 dargestellt, Systeme sehr gut vergleichen (Valentin Software GmbH, 2015).

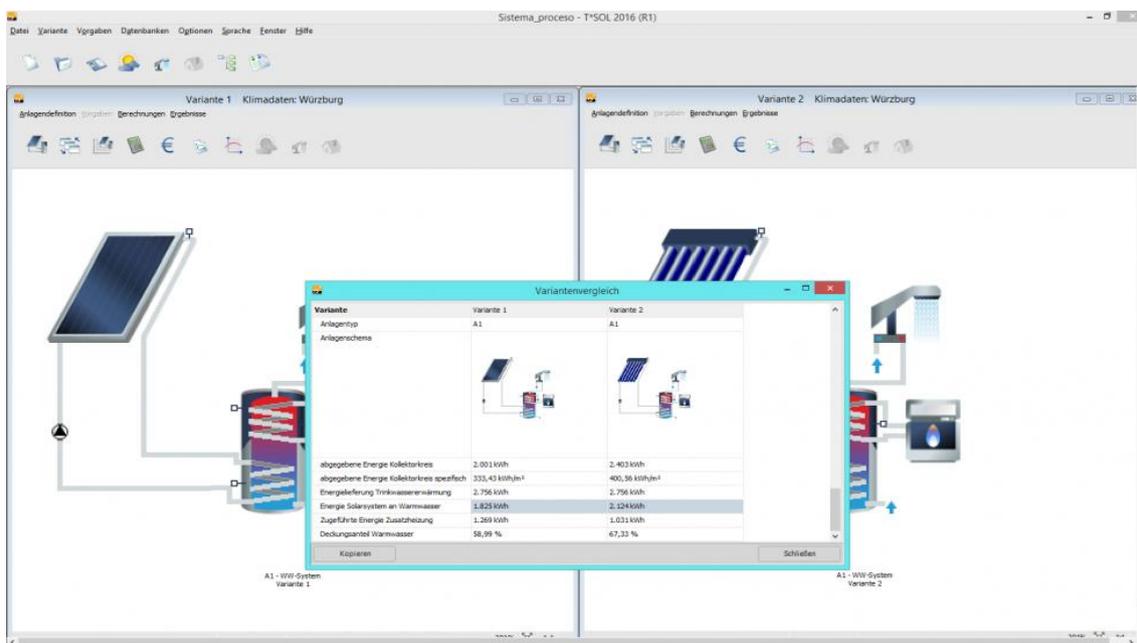


Abbildung 10: Screenshot eines Variantenvergleichs in T*SOL2018 (Valentin Software GmbH, 2015)

Die Berechnungsergebnisse sind in einem kurzen oder ausführlicheren Projektbericht aufrufbar. Die kurze Projektversion beschränkt sich auf folgende Ergebnisse:

- Energiebilanz
- Nutzungsgrad und Deckungsanteil
- eingesparter Brennstoff
- vermiedene CO₂-Emissionen

T*SOL bietet außerdem noch die Möglichkeit einer Wirtschaftlichkeitsberechnung nach VDI 2067. In einer übersichtlichen Ergebnis-Darstellung erhält man unter Berücksichtigung von Investitions- und Betriebskosten und eventueller Fördermittel Informationen zu Wärmegestehungskosten und Amortisationszeit (Menz, 2012, p. 8).

4.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Um eine wirtschaftliche Betrachtung zu untersuchen werden die Einsparungen mit dem aktuellen Preis für Erdgas verrechnet und mit der Referenzanlage verglichen.

Der aktuelle Preis für Erdgas liegt zwischen 5 und 6 Cent pro kWh im Mittelwert. Für die Umrechnung von einem Kubikmeter Gas in Kilowattstunden wird der Faktor 10 verwendet.

Somit entsprechen beispielsweise 1.000 kWh solarer Ernte ca. 100 m³ Erdgas oder Heizöl. Berücksichtigt man noch einen Kesselnutzungsgrad von z.B. 80 %, ergeben sich 125 Liter Heizöl/125 m³ Erdgas. Dies entspricht einer Ersparnis von ca. 69 €

4.3 Experteninterviews

In Form eines Experteninterviews wurden Experten zu ihren Erfahrungen in dem Bereich solarthermische Anlagen befragt. Besonderes Interesse galt hierbei den Erfahrungen bezüglich Mängel in thermischen Solaranlagen. Bei den Experten handelt es sich um Fachleute, die schon mehrere Jahre in der Solartechnik tätig sind. Es wurde ein Termin vereinbart und ein Leitfaden erstellt, der den Hintergrund des Interviews erläutert und die Fragen auflistet. Für die Aufnahme wurde ein Handy mit Aufnahmefunktion verwendet. Der zeitliche Rahmen eines Interviews lag zwischen 15 und 45 Minuten. Es wurden 3 Experten interviewt.

Beim ersten Interview Partner handelte es sich um Herrn Dipl.-Ing. Ulrich Fuchs. Er ist Geschäftsführer seiner Firma „Solarfuchs“. Er ist bereits seit 19 Jahren im Solarbereich tätig.

Der zweite Interviewpartner war Herr Stephan Geiger. Herr Geiger betreibt einen Meisterbetrieb für Heizungen, Solaranlagen, Sanitärtechnik und Gebäudeenergieberatung. Er baut und prüft Anlagen seit ca. 12-15 Jahren.

Der dritte Interviewpartner, Herr Christof Gundert, ist Geschäftsführer der Firma microsol GmbH. Dort begann man zunächst kleine solarthermische Anlagen für Einfamilienhäuser zu installieren, ging dann jedoch schnell auf größere Anlagen über. Die Firma wurde 1992 gegründet.

Die aus den Interviews erhaltenen Antworten und Informationen unterstreichen, dass die folgenden Mängel durchaus häufig in der Praxis auftreten.

Die Interviews befinden sich im Anhang.

5 Simulationen und Auswertungen

Es wurden fünf Mängel an solarthermischen Anlagen genauer untersucht. Mit Hilfe des Simulationsprogrammes T*SOL 2018 wurden Berechnungen durchgeführt, um den Einfluss dieser Mängel auf den Ertrag zu analysieren. Die Mängel wurden unter zwei Aspekten ausgewählt. Zum einen wurden Mängel ausgewählt, die in der Praxis häufig auftreten, zum anderen musste die Möglichkeit bestehen, diese Mängel mit Hilfe des Simulationsprogramms nachstellen zu können. Die Auswahl der Mängel beruht auf Ergebnissen aus Recherche und auf Erfahrungen von den Experten die seit mehreren Jahren solarthermische Anlagen installiert, betreut und geprüft haben. Alle nachfolgenden Mängel sind durchaus häufig in der Praxis vertreten und haben einen mehr oder weniger großen Einfluss auf den Ertrag.

Für die Simulationen wurde eine Referenzanlage bestimmt, um den Einfluss der einzelnen Mängel auf den Ertrag zu betrachten. Weiter kann durch die Referenzanlage ein Vergleich der unterschiedlichen Ertragsbeeinflussungen gezogen werden. Alle Simulationen beruhen auf den Wetterdaten von Hamburg. Die Jahressumme der Globalstrahlung liegt bei 964,7 kWh pro m². Als durchschnittlicher, täglicher Trinkwarmwasserverbrauch wurden 40 Liter pro Person angenommen. Als mittlere Außentemperatur ist der Wert 8,7 °C aus den Wetterdaten berechnet wurden. Bei 4 Personen und einer Solltemperatur von 50 °C ergibt sich ein jährlicher Warmwasserwärmebedarf von:

$$Q_S = m_S \cdot c \cdot (\vartheta_{S,max} - \vartheta_{S,min}) = \frac{160l \cdot 1,16Wh \cdot 41,7kW \cdot 1kg \cdot 365d}{d \cdot kg \cdot K \cdot l \cdot a} = 2.824,92 \frac{kWh}{a}$$

Das benötigte Speichervolumen ergibt sich aus der im Kapitel 2.2 erwähnten Faustformel. Bei 12 m² Kollektorfläche liegt das Speichervolumen damit bei ca. 720 Litern. Aus der Datenbank wurde ein Standard Kombispeicher mit 750 Litern gewählt.

Als Referenzanlage dient eine solarthermische Anlage zur Warmwasserbereitung und zur Heizungsunterstützung. Das Schaubild der Anlage ist in Abbildung 11 dargestellt.

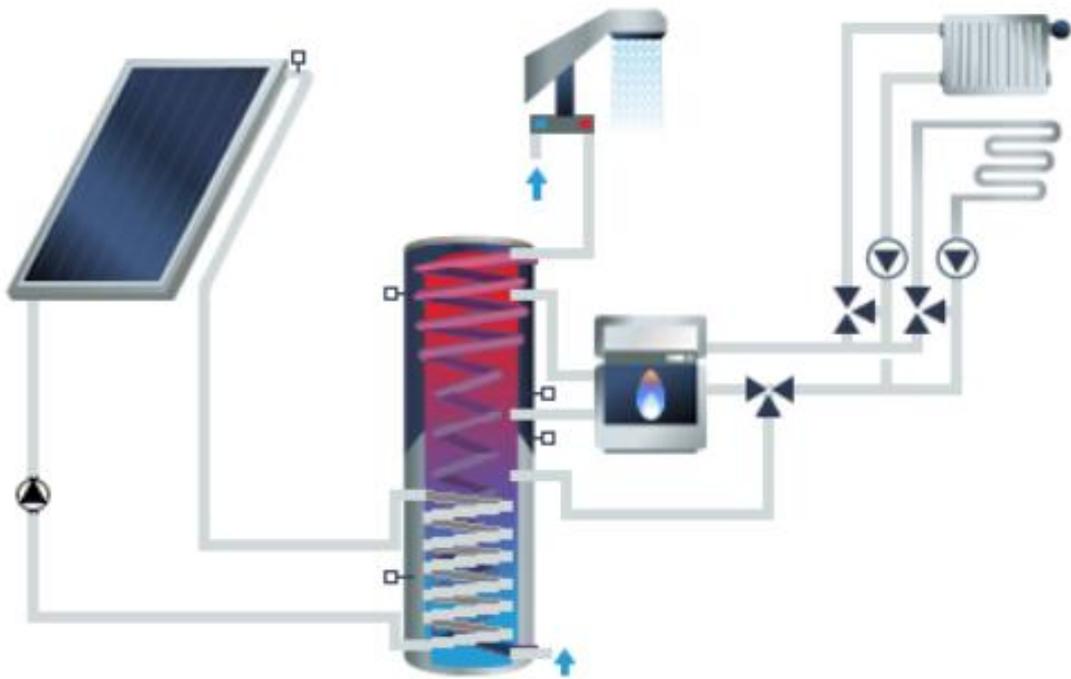


Abbildung 11: Darstellung der Referenzanlage für die Simulationen

Die in Abbildung 11 enthaltenen Komponenten sind mit ihren dazugehörigen Werten in Tabelle 3 aufgelistet.

Tabelle 3: Werte der einzelnen Komponenten

Komponente	Wert	Einheit
Flachkollektorfläche	12	m ²
Kombispeicher	750	l
Gaskessel	15	kW
Warmwasserverbraucher	160	l
Spezifische Heizlast	66,67	W/m ²

Die installierte Leistung entspricht 8,4 kW (0,7 kW/m² Kollektorfläche). Die beheizte Nutzfläche liegt bei 150 m² und die Simulation beruht auf einem spezifischen Jahresheizwärmeverbrauch von 129,2 kWh/m². Beim Gaskessel handelt es sich um einen anonymisierten 15 kW Gaskessel aus der TSOL*2018 Datenbank. Der Wirkungsgrad entspricht 85 %. Die CO₂-Emissionen werden durch die jeweiligen Emissionsfaktoren, abhängig vom

eingesparten Energieträger, berechnet. In diesem Fall wurde Erdgas mit dem Emissionsfaktor 5,14355 g CO₂/kJ und dem Heizwert 41100 kJ/m³ verwendet.

Der Flachkollektor ist ein Standard Modell aus der Datenbank von T*SOL2018, dessen Eigenschaften in Tabelle 4 dargestellt sind:

Tabelle 4: Eigenschaften des in der Simulation verwendeten Flachkollektors

Kollektortyp	Flachkollektor
Bruttokollektorfläche [m ²]	1
Bezugsfläche [m ²]	1
Spez. Wärmekapazität [J/(m ² ·K)]	6000
Konversionsfaktor [%]	78
Wärmedurchgangskoeffizient einfach [W/(m ² ·K)]	3,8
Wärmedurchgangskoeffizient quadratisch [W/(m ² ·K ²)]	0,03

Die nachfolgenden Simulationen beruhen auf diesem Anlagenkonzept, mit den entscheidenden Änderungen bei den Parametern, wo die Mängel auftreten.

5.1 Über- /Unterdimensionierung

Ein Szenario, welches in der Praxis durchaus anzutreffen ist, ist eine falsche Planung bei der Anlagengröße. Es kommt vor, dass die Komponenten nicht gut auf den Verbrauch abgestimmt werden. Dieser Aspekt wurde auch im Interview mit Herrn Gundert kritisiert (Gundert, 2019, p. (10)).

Außerdem kann ein weiterer Faktor dazu führen, dass die Anlage nicht mehr den zuvor korrekt ausgelegten Umständen entspricht. Dies ist z.B. bei einem Auszug von Personen der Fall. Ist eine Anlage für 4 Personen ausgelegt und 2 von diesen ziehen aus dem Haushalt aus, so ist die Anlage viel zu groß für den danach bestehenden Wärmebedarf.

Ulrich Fuchs hat im Rahmen des Interviews erwähnt, dass wenn die Anlage zu klein ist, die Ertragszahlen sehr gut sind, da mehr Energie abgenommen werden kann, man jedoch häufiger nachheizen muss. Bei einer zu groß ausgelegten Anlage verhält es sich jedoch umgekehrt. Die Investition ist zwar höher, jedoch auch der solare Deckungsanteil und man

erhält auch an bewölkten Tagen noch ausreichend warmes Duschwasser (Fuchs, 2019, p. (10)).

Um die Auswirkungen zu überprüfen werden zwei Jahres-Simulationen durchgeführt. Bei der ersten Simulation wird der Warmwasserverbrauch um die Hälfte reduziert.

Bei der zweiten Simulation wird der Verbrauch im Gegenzug verdoppelt.

Tabelle 5 stellt die Ergebnisse des im TSOL erstellten Variantenvergleichs gegenüber.

Tabelle 5: Simulationsergebnisse im Programm TSOL*2018

Variante	Unterdimensionierung	Überdimensionierung	Referenzanlage
Ergebnisse			
Warmwasserverbrauch in Liter	300	80	160
Einstrahlung auf Kollektorfläche gesamt [kWh]	13.047	13.047	13.047
Einstrahlung auf Kollektorfläche spezifisch [kWh/m ²]	1.087,25	1.087,25	1.087,25
abgegebene Energie Kollektorkreis [kWh]	3.817	3.011	3.335
Abgegebene Energie Kollektorkreis spezifisch [kWh/m ²]	318,10	250,91	277,91
Zugeführte Energie Zusatzheizung [kWh]	21.765	18.957	19.923
Systemnutzungsgrad [%]	27,74	20,95	23,67
Deckungsanteil gesamt [%]	14,26	12,60	13,42
Energielieferung Trinkwassererwärmung [kWh]	5.221	1.392	2.784
Deckungsanteil Warmwasser [%]	47,04	57,59	53,25
Energie Solarsystem an Warmwasser [kWh]	2.824	1.332	1.932
Energielieferung Heizwärme [kWh]	19.380	19.376	19.380
Deckungsanteil Heizung [%]	4,10	7,23	5,96
Energie Solarsystem an Heizung [kWh]	795	1.401	1.156
Einsparungen Brennstoff [m ³]	465,9	336,9	388,8
Vermiedene CO ₂ -Emissionen [kg]	985,1	712,4	822,1

Auswertung:

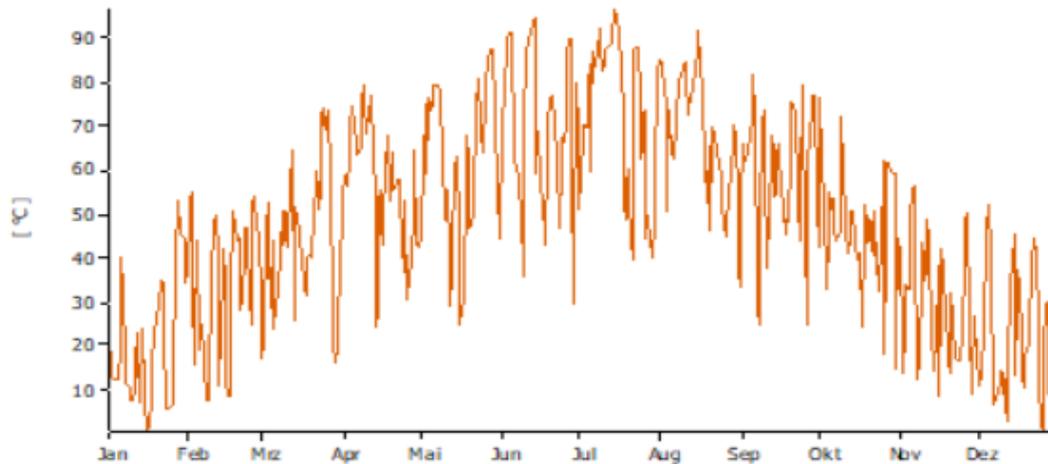
Die Ergebnisse in Tabelle 5 unterstützen die Aussage von Herrn Fuchs deutlich. Bei einer Anlage mit 300 Liter Warmwasserverbrauch werden 3.817 kWh Energie an den Kollektorkreis abgegeben. Das ist im Vergleich zum Wert bei der Referenzanlage eine Differenz von 482 kWh, bei der lediglich 3.335 kWh an den Kollektorkreis abgegeben werden. Durch den höheren Warmwasserverbrauch können also 14,4 % mehr Solarenergie genutzt werden. Jedoch hat dies zur Folge das der Deckungsanteil vom Warmwasser um knapp

6 % und der der Heizung von 5,96 % auf 4,1 % sinkt. Bei einem geringeren Warmwasserverbrauch steigt der Deckungsanteil von Warmwasser um ca. 4,3% und der der Heizung um knapp 1,25 %. Jedoch werden nur noch 3.011 kWh Energie an den Kollektorkreis abgegeben. Dies entspricht einem Verlust von 9,72 %, im Vergleich zu der Referenzanlage. Bei einer Unterdimensionierung kommt es durch die im Verhältnis zur Kollektorfläche relativ hohen Verbrauchswerte zu einem hohen Bedarf an zusätzlicher Energie durch die Nachheizung. Dies ist auch ein Kritikpunkt seitens des Experten Christof Gundert. Bei den unterdimensionierten Anlagen war der Kunde unzufrieden, da häufig nachgeheizt werden musste, auch in den Sommermonaten. Somit werden zwar mehr CO₂-Emissionen vermieden und auch mehr Brennstoff eingespart, jedoch wird auch mehr Energie von der Zusatzheizung geliefert.

Die Speicherverluste betragen bei der unterdimensionierten Anlage 980 kWh. Bei der überdimensionierten Anlage liegt der Wert bei 1.200 kWh. Das hat den Grund, dass nicht so viel Energie in Form von Wärme aus dem Speicher entnommen wird.

In Abbildung 12 sind die täglichen Maximaltemperaturen im Kollektor dargestellt. Beim Vergleich zwischen der überdimensionierten Anlage (unten) und der Referenzanlage (oben) erkennt man, dass die Temperaturen an den sehr heißen Sommertagen (Juli, August) in der überdimensionierten Anlage 100°C erreichen. Das liegt an den Überschüssen an Energie, welche durch den geringen Wasserverbrauch nicht abgenommen werden. Die Kollektortemperatur steigt bei anhaltender Einstrahlung und fehlender Abnahme bis zur Stagnationstemperatur, die in Flachkollektoren ca. 200 °C betragen kann und damit zu hohen thermischen Belastungen der Solarflüssigkeit führen kann. Diese kann sich bei häufigen und längeren Stillstandzeiten chemisch verändern und im Extremfall cracken (Frahm, 2019).

Tägliche Maximaltemperaturen im Kollektor



Tägliche Maximaltemperaturen im Kollektor

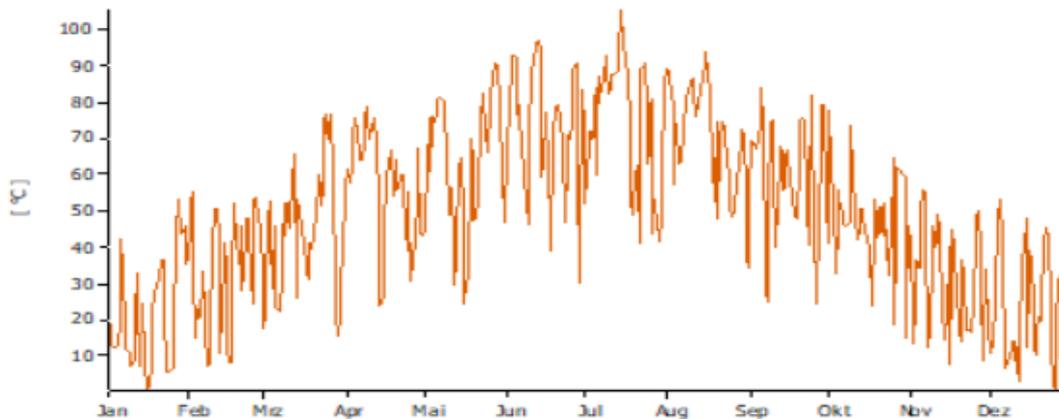


Abbildung 12: Vergleich der täglichen Maximaltemperaturen im Kollektor der Referenzanlage und der überdimensionierten Anlage

Wirtschaftliche Auswertung

Über- bzw. Unterdimensionierungen führen zu unterschiedlichen Brennstoffeinsparungen. Bei einer Unterdimensionierung der Anlage wird dem Speicher regelmäßig Wärme entnommen. Dies führt dazu, dass die Solaranlage immer weiter Wärme in den abgekühlten Speicherbereich einspeisen kann. Die Folge ist eine 77 m³ höhere Brennstoffeinsparung als beim Referenzsystem. Bei der Überdimensionierung wird dem Speicher weniger Wärme entnommen und die Solaranlage kann nicht einspeisen, da die gewünschte Temperaturdifferenz im Speicher nicht erreicht wird. Somit wird weniger Energie von der Solaranlage genutzt und es werden ca. 336 m³ Brennstoff eingespart. Das sind im Vergleich zur Referenzanlage 52 m³ weniger Einsparung.

Umgerechnet bedeutet das:

$$-77 \text{ m}^3 \cdot 10 \text{ kWh/m}^3 \cdot 0,055 \text{ €/kWh} = -42,35 \text{ €}$$

$$52 \text{ m}^3 \cdot 10 \text{ kWh/m}^3 \cdot 0,055 \text{ €/kWh} = 28,60 \text{ €}$$

Im Vergleich zum Referenzsystem muss bei einer Überdimensionierung mit 28,60 € mehr Brennstoffkosten gerechnet werden, während bei einer Unterdimensionierung 42,35 € Brennstoffkosten eingespart werden können.

Optimierungsmöglichkeit

Eine Möglichkeit dem geringeren Warmwasserverbrauch entgegen zu wirken, besteht darin, die Waschmaschine oder den Geschirrspüler als weitere Verbraucher einzubinden. Dadurch erhöht sich der Warmwasserverbrauch, hierdurch sinkt die Rücklauftemperatur und der Solarertrag steigt an (Weyres-Borchert & Kasper, 2015, p. 32 f.).

Eine weitere Möglichkeit, den Folgen einer Überdimensionierung entgegen zu wirken, ist der Einsatz abschaltbarer Kollektoren. Diese Möglichkeit besteht bei Flach- und Vakuumröhrenkollektoren vom Typ Heatpipe. In Flachkollektoren verändern sich die optischen Eigenschaften der Absorberbeschichtung, wodurch sich die Wärmeabstrahlung oberhalb von 100 °C sprunghaft erhöht und damit die Wärmeverluste stark ansteigen. In Heatpipe-Vakuumröhrenkollektoren ist die Menge und Zusammensetzung des Fluids innerhalb der Heatpipe derart dosiert, dass z.B. ab 100 °C keine Kondensation und damit kein Wärmetransport mehr erfolgt. Durch die Temperaturen bei diesen Kollektoren, die nur um die 110 °C betragen, kommt es nicht mehr zur Dampfbildung und bei einer Glykolanlage würde es nicht zum Cracken des Glykols kommen. Dies hat zusätzlich den Vorteil, dass sämtliche Komponenten nicht so hohe Temperaturen ausgesetzt werden. Zusätzlich kann das Ausdehnungsgefäß kleiner ausgelegt werden und ein Vorschaltgefäß ist nicht von Nöten (Gundert, 2019, p. (9)).

Praxisbeispiel

Im Rahmen des Monitorings vom SolarZentrum Hamburg wurde eine Anlage untersucht bei der eine starke Überdimensionierung aufgrund falsch geplanten Warmwasserverbrauchs vorlag. Die Anlage wurde für einen simulierten Tagesverbrauch von 1.200 Litern mit einem 4.000 Liter Pufferspeicher und einer 86 m² Absorberfläche Vakuumröhrenkolle-

ktoren ausgestattet. Im Jahr 2015 wurde der Mittelwert des Warmwasserverbrauchs über die Monate gemessen. Dieser entsprach lediglich 5.440 Liter monatlich. Das entspricht ca. 180 Liter am Tag. In der Simulation wurde die Referenzanlage mit einem Verbrauch von 160 Litern berechnet. Das entspricht nur 20 Litern weniger, bei einer knapp 7-mal so großen Absorberfläche und einem 5-mal so großen Speicher. Zudem muss man bedenken, dass Vakuumröhrenkollektoren einen höheren Wirkungsgrad als Flachkollektoren besitzen und die Absorberfläche dementsprechend sogar noch kleiner ausgelegt werden muss. Somit wäre eine Absorberfläche von ungefähr 10-12 Quadratmetern und ein 750-1000 Liter Speicher vollkommen ausreichend.



Abbildung 13: Überdimensionierte Anlage

5.2 Nachheizen im Sommer

Im Rahmen des Solarwärmechecks der Verbraucherzentrale werden solarthermische Anlagen dahingehend untersucht, ob sie erwartungsgemäß arbeiten. Bei den Solarwärmechecks geht es nicht darum, sämtliche Parameter exakt zu betrachten, sondern mit Hilfe von fünf Temperatur-Messstellen aussagekräftige Daten in einem organisatorischen und finanziellen Rahmen zu erfassen. Es wurden bundesweit 1.849 thermische Solaranlagen in privaten Wohngebäuden geprüft. Bei den Anlagen handelt es sich in 764 Fällen um Solaranlagen, die ausschließlich zur Trinkwassererwärmung dienen, bei den weiteren 1.085 um Solaranlagen, welche der Trinkwassererwärmung und der Heizungsunterstützung dienen.

Bei den untersuchten Anlagen stellte man fest, dass in lediglich 27 % der Anlagen zur Warmwasserbereitung und in 36 % der Anlagen zur Heizungsunterstützung und Warmwasserbereitung die Nachheizung in den Sommermonaten ausgeschaltet war (Verbraucherzentrale Bundesverband e.V., 2018).

Bei allen anderen Anlagen war die Nachheizung nicht ausgeschaltet. Daraus wurde der Schluss gezogen, dass die Anlagen hierdurch weniger Erträge erzielen.

Nachfolgend wird mit Hilfe des Simulationsprogramms T*SOL 2018 berechnet, wie stark sich das auf die Anlageneffizienz auswirkt, wenn die Nachheizung im Sommer nicht ausgeschaltet ist.

Bei der Simulation wurde die Nachheizung bei der Vergleichsanlage über die Sommermonate Juni, Juli und August ausgeschaltet. Somit wird in diesen Monaten ausschließlich Energie durch die Solarthermie Anlage genutzt. Ein Variantenvergleich hat die folgenden Werte berechnet.

Tabelle 6: Simulationsergebnisse des Variantenvergleichs

Variante	Referenzanlage	Nachheizung aus
Ergebnisse		
Einstrahlung auf Kollektorfläche gesamt [kWh]	13.047	13.047
Einstrahlung auf Kollektorfläche spezifisch [kWh/m ²]	1.087,25	1.087,25
abgegebene Energie Kollektorkreis [kWh]	3.335	3.425
Abgegebene Energie Kollektorkreis spezifisch [kWh/m ²]	277,91	285,42
Zugeführte Energie Zusatzheizung [kWh]	19.923	19.727
Systemnutzungsgrad [%]	23,66	24,50
Deckungsanteil gesamt [%]	13,42	13,95
Ergielieferung Trinkwassererwärmung [kWh]	2.784	2.783
Deckungsanteil Warmwasser [%]	53,25	57,19
Energie Solarsystem an Warmwasser [kWh]	1.932	2.061
Ergielieferung Heizwärme [kWh]	19.380	19.317
Deckungsanteil Heizung [%]	5,96	5,88
Energie Solarsystem an Heizung [kWh]	1.156	1.136
Einsparungen Brennstoff [m ³]	388,7	407,5
Vermiedene CO ₂ -Emissionen [kg]	821,9	861,7

Auswertung:

Tabelle 6 gibt die Ergebnisse der Simulation wieder. Durch das Ausschalten der Nachheizung in den Sommermonaten Juni, Juli, und August erhöht sich der Solarertrag um 90 kWh im Jahr. Der damit verbundene Systemnutzungsgrad steigt um 0,84 %. Der steigende So-

larertrag kann damit erklärt werden, dass die Nachheizung im Betrieb regelmäßig nachheizt.

Herr Geiger hat im Interview berichtet, dass es seiner Erfahrung nach nicht sinnvoll ist, die Nachheizung in den Sommermonaten abzuschalten. Es wäre eventuell möglich, bei einem Sommer wie 2018 die Nachheizung auszuschalten. Aber generell hat ein Ausschalten der Nachheizung zur Folge, dass es auch im Sommer Tage gibt, an denen das Wasser auch mal kalt beim Verbraucher ankommt (Geiger, 2019, p. (17)). Hier gilt es aber als Installateur, einen Kompromiss zwischen dem Solarertrag und der Komfortzone zu finden und die Anlage richtig zu dimensionieren, damit auch während der Sommermonate die Heizung ausgeschaltet werden kann (Fuchs, 2019, p. (9)).

Wirtschaftliche Auswertung

Das Ausschalten der Nachheizung bewirkt eine Einsparung von 18,2 m³ Brennstoff und 40kg zusätzlich vermiedene CO₂-Emissionen.

Die Brennstoffeinsparung von 18,2 m³ beträgt umgerechnet:

$$18,2 \text{ m}^3 \cdot 10 \text{ kWh/m}^3 \cdot 0,055 \text{ €/kWh} = 10,01 \text{ €}$$

Da das Ausschalten über 3 Monate betrachtet wird, nämlich Juni, Juli und August, kann man sagen, dass das Ausschalten der Nachheizung 10 € Ersparnis für diese 3 Monate bedeutet. Geht man nun von einem Sommer wie 2018 aus, kann man die Heizung bedenkenlos ausschalten und weitere Ersparnisse erzielen.

5.3 Fehlendes oder beschädigtes Dämmmaterial

Aus Kapitel 2.5 entnehmen wir die Wichtigkeit der passenden bzw. richtigen Verwendung von Rohrs und Dämmmaterial. Bei vielen Anlagen ist die Wärmedämmung der Rohre lücken- und fehlerhaft oder sie wird in einigen Fällen komplett vernachlässigt. Dieser Aspekt wurde ebenfalls in den Solarwärmechecks kritisiert. Bei 41,5 % der dort untersuchten Anlagen war die Rohrdämmung mangelhaft (Verbraucherzentrale Bundesverband e.V., 2018). Auch im Experteninterview mit Herr Geiger (Geiger, 2019, p. (6)(10)) wurde durch Vögel

und Mader beschädigte, fehlende und auch zu dünn angesetzte Wärmedämmung als ein häufig auftretender Fehler an solarthermischen Anlagen beklagt.

Dieser Aspekt wurde mittels Simulation untersucht und die Ergebnisse nachfolgend dargestellt und ausgewertet. Bei der Referenzanlage sind die folgenden Werte für die Dicke der Dämmung in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7: Rohr und Dämmwerte

	Verrohrung einfache Länge [m]	Dicke der Dämmung [mm]	Wärmeleitfähigkeit der Dämmung [W/(m·K)]
Im Gebäude	8	30	0,035
Außerhalb	1	30	0,035
Zwischen den Kollektoren	0,2	20	0,035

Die Nennweite wurde auf 22 mm an der Sammelleitung und 15mm zwischen den Kollektoren ausgelegt. Bei der ersten Simulationsvariante „fehlende Dämmung“ wurde die Dämmung komplett weggelassen. Die Dicke der Dämmung wurde in allen 3 Bereichen auf 0 mm festgelegt. Bei der zweiten Simulationsvariante „zu dünne Dämmung“ wurde die Dämmung auf einen deutlich geringeren Wert im Vergleich zu den Werten bei der Referenzanlage, ausgelegt. Hier wurde in allen 3 Bereichen ein Wert von 10 mm angenommen.

Tabelle 8: Simulationsergebnisse im Variantenvergleich in T*SOL 2018

Variante	Referenzanlage	fehlende Dämmung	zu dünne Dämmung
Ergebnisse			
Einstrahlung auf Kollektorfläche gesamt [kWh]	13.047	13.047	13.047
Einstrahlung auf Kollektorfläche spezifisch [kWh/m ²]	1.087,25	1.087,25	1.087,25
abgegebene Energie Kollektorkreis [kWh]	3.335	3.116	3.285
Abgegebene Energie Kollektorkreis spezifisch [kWh/m ²]	277,91	259,67	273,75
Zugeführte Energie Zusatzheizung [kWh]	19.923	20.103	19.964
Systemnutzungsgrad [%]	23,6	22,17	23,32
Deckungsanteil gesamt [%]	13,42	12,58	13,23
Energielieferung Trinkwassererwärmung [kWh]	2.784	2.784	2.784
Deckungsanteil Warmwasser [%]	53,25	50,56	52,75
Energie Solarsystem an Warmwasser [kWh]	1.932	1.828	1.913
Energielieferung Heizwärme [kWh]	19.380	19.378	19.377
Deckungsanteil Heizung [%]	5,96	5,50	5,83
Energie Solarsystem an Heizung [kWh]	1.156	1.065	1.130
Einsparungen Brennstoff [m ³]	388,7	363,9	383,3
Vermiedene CO ₂ -Emissionen [kg]	821,9	769,6	810,4

Auswertung:

In Tabelle 8 sind die Simulationsergebnisse dokumentiert. Durch die fehlende Dämmung reduziert sich die vom Kollektorkreis abgegebene Energie um 217 kWh. Das entspricht 6,6 % Verlust im Vergleich zu der Referenzanlage. Bei einer zu dünnen Dämmung muss man mit lediglich 50 kWh Solarertragseinbuße rechnen. Dies entspricht 1,5 % Verlust. Durch eine geeignete Dämmung lassen sich 25 m³ mehr Brennstoff einsparen, als bei einer Anlage, bei der die Dämmung der Rohre fehlt.

In der Simulation werden zudem die jährlichen Wärmeverluste berechnet, die an den Rohren entstehen.

Tabelle 9: Rohrverluste

	Rohrverluste in kWh/Jahr		
	Referenzanlage	fehlende Dämmung	zu dünne Dämmung
Innen	181	652	303
Außen	69	213	89

Der Tabelle 9 kann entnommen werden, dass bei der Referenzanlage 181 kWh in Form von Wärme, an der 8 Meter langen Verrohrung, verloren gehen. Das entspricht 22,6 kWh pro Meter. Bei der Verrohrung außerhalb des Gebäudes (1 Meter), entspricht der angegebene Wert, den Verlusten pro Meter. Hier sind es 69 kWh pro Meter, trotz richtiger Dämmung. Fehlt die Rohrdämmung, kommt es innen gar zu 652 kWh Wärmeverlusten, welches 81,5 pro Meter entspricht. Dies entspricht fast der Jahresernte von 3m² Kollektorfläche der vorliegenden Referenzanlage (277 kWh/m²). An den Rohren außerhalb des Gebäudes entspricht der Verlust 213 kWh pro Meter. Das bedeutet, dass eine fehlende Dämmung zu den 3,5-fachen Wärmerohrverlusten führt als bei vernünftig gedämmten Rohren.

Bei zu dünn gedämmten Rohren kommt es zu Wärmeverlusten von 37,9 kWh pro Meter im inneren Bereich und 89 kWh pro Meter im Bereich außerhalb des Gebäudes.

Tabelle 14 stellt die Ergebnisse der 3 Fälle in einem Säulendiagramm gegenüber. Dabei werden die Verluste in kWh pro Meter Rohrlänge betrachtet. Die Auswirkungen bei fehlender oder zu dünner Dämmung sind deutlich zu erkennen.

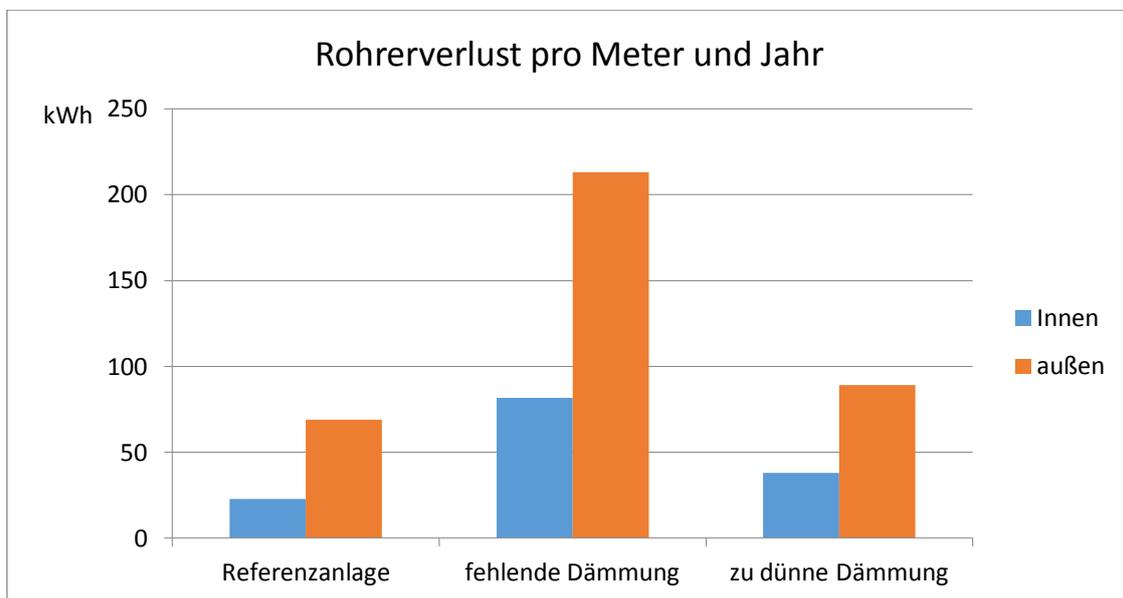


Abbildung 14: Rohrverluste pro Meter

Die Auswirkung bei fehlender oder zu dünner Dämmung ist stark Abhängig von der Länge der Rohre und Temperaturdifferenz zwischen Umgebungstemperatur und der Temperatur der Solarflüssigkeit im Rohr.

Wirtschaftliche Auswertung

Beim Betrachten der wirtschaftlichen Auswirkung werden die beiden Fälle betrachtet.

Bei fehlender Dämmung fällt die Einsparung an Brennstoff $24,8\text{m}^3$ geringer aus als bei der Referenzanlage. Bei einer zu dünnen Dämmung sind es lediglich $5,4\text{m}^3$.

Aus der Rechnung ergeben sich folgende Einsparungsverluste:

1.. Fehlende Dämmung: $24,8\text{ m}^3 \cdot 10\text{ kWh/m}^3 \cdot 0,055\text{ €/kWh} = 13,64\text{ €}$

2.. Zu dünne Dämmung: $5,4\text{ m}^3 \cdot 10\text{ kWh/m}^3 \cdot 0,055\text{ €/kWh} = 2,97\text{€}$

Dies sind vor allem im Fall der zu dünnen Dämmung nur geringe Unterschiede und Einsparungen. Jedoch häufen diese sich über die Jahre an und ein Montieren korrekter Rohrdämmung würde sich rentieren.

Optimierungsmöglichkeiten

Grundsätzlich gilt es, die Rohre richtig nach EnEV zu dämmen. Die höheren Investitionskosten, die durch die etwas teurere geeignete Rohrdämmung entstehen, werden sich auszahlen. Denn eine unzureichende Wärmedämmung führt zu Solarertragseinbußen, damit verbunden höhere Kosten für die Nachheizung bis zum kompletten Austausch der Dämmung, sobald diese einen Schaden genommen hat.

Eine weitere Möglichkeit ist es, sogenannte Kälteschellen zu verwenden. In diesem Fall wird das Rohr mit einem sich zwischen den Schellen befindenden Stück Wärmedämmung fixiert (Corradini, et al., 2014, p. 41).

Praxisbeispiele:

Durch das Monitoring einiger Solarthermieanlagen vom SolarZentrum wurden in vielen Fällen Mängel dieser Art festgehalten. Es folgt ein Beispiel, bei dem die Wärmeverluste der Verrohrung erheblich sind. Dies ist bei Flachdachanlagen aufgrund der längeren Rohrleitung auf dem Dach relativ häufig der Fall. In Abbildung 15 ist ein Teil der beschädigten Rohrdämmung abgebildet. Die Dämmung bestand aus einem nichtgeeigneten Material, dass durch die Vögel an mehreren Stellen zerstört wurde. Das Material unter der ersten Schicht saugte sich mit Wasser voll. Durch das Wasser wird der Wärmeleitwert verschlechtert und es kommt auch hier zu größeren Wärmeverlusten.



Abbildung 15: Beschädigte und falsch gedämmte Rohrdämmung

5.4 Positionsfehler des Kollektorfühlers

Der Kollektorfühler sollte generell am wärmsten Punkt des Kollektors positioniert werden. Jedoch ist bei einigen untersuchten Anlagen eine falsche Positionierung oder ein beschädigter Kollektorfühler festgestellt worden. Es kommt auch häufiger vor, dass der Kollektorfühler am Rücklaufanschluss des Kollektors positioniert wird (Corradini, et al., 2014, p. 45). Im Rahmen des SolarZentrums wurden Anlagen untersucht, bei denen der Kollektorfühler beschädigt war oder nicht richtig montiert wurde. Auch im Rahmen der Interviews wurde dieser Aspekt kritisiert (Geiger, 2019) (Gundert, 2019).

Es ist schwer festzustellen, ob alle 3 Szenarien ähnliche Auswirkungen haben. Jedoch kann die falsche Position des Kollektorfühlers zur Folge haben, dass eine geringere Temperatur gemessen wird. Die Simulation basiert darauf, dass untersucht wurde, welchen Einfluss unterschiedliche Temperaturdifferenzen zur eigentlichen Kollektorvorlauftemperatur auf den Solarertrag haben. Bei der Referenzanlage wird der Kollektorkreis eingeschaltet, sobald die Vorlauftemperatur 8 Grad über der Speicherbezugstemperatur liegt. Bei 3 Kelvin zwischen Kollektor- und Speicherbezugstemperatur schaltet der Kollektorkreis sich aus. Z.B. wird bei einer Speicherbezugstemperatur von 50 °C die Kollektorkreispumpe bei 58 °C Kollektorvorlauftemperatur eingeschaltet. Bei den nachfolgenden Varianten misst der Kollektorfühler jedoch einen niedrigeren Wert und die Kollektorkreispumpe schaltet somit später ein und früher aus. Tabelle 10 stellt die Ergebnisse der Simulation dar.

Tabelle 10: Simulationsergebnisse aus der Berechnung von T*SOL2018

Einschalt- /Ausschalttemperaturdifferenz [K]	8/3	13/8	18/13	23/18	28/23	33/28
Variante	Referenz- anlage	5K	10K	15K	20K	25K
Ergebnisse						
Einstrahlung auf Kollektorfläche gesamt [kWh]	13.047	13.047	13.047	13.047	13.047	13.047
Einstrahlung auf Kollektorfläche spezifisch [kWh/m ²]	1.087,2	1.087,2	1.087,2	1.087,2	1.087,2	1.087,2
abgegebene Energie Kollektorkreis [kWh]	3.335	3.102	2.875	2.617	2.394	2.200
Abgegebene Energie Kollektorkreis spezifisch [kWh/m ²]	277,91	258,51	239,62	218,04	199,52	183,35
Zugeführte Energie Zusatzheizung [kWh]	19.923	20.099	20.282	20.502	20.684	20.852
Systemnutzungsgrad [%]	23,67	22,10	20,53	18,72	17,14	15,74
Deckungsanteil gesamt [%]	13,42	12,55	11,67	10,64	9,76	8,97
Energielieferung Trinkwassererwärmung [kWh]	2.784	2.784	2.784	2.784	2.784	2.784
Deckungsanteil Warmwasser [%]	53,25	50,39	48,09	45,11	42,45	40,07
Energie Solarsystem an Warmwasser [kWh]	1.932	1.814	1.723	1.607	1.503	1.412
Energielieferung Heizwärme [kWh]	19.380	19.380	19.376	19.380	19.378	19.380
Deckungsanteil Heizung [%]	5,96	5,51	4,93	4,31	3,78	3,31
Energie Solarsystem an Heizung [kWh]	1.156	1.069	955	835	733	642
Einsparungen Brennstoff [m ³]	388,8	352,2	339,1	309,9	284,6	262,2
Vermiedene CO ₂ -Emissionen [kg]	822,1	768,9	717,1	655,2	601,9	554,4

Auswertung:

Ein Kollektorfühler der Temperaturen nicht korrekt erfasst hat deutliche Auswirkungen auf den Solarertrag. In Abbildung 16 ist der Solarertrag in kWh auf der Y-Achse dargestellt und die Temperaturabweichung auf der X-Achse. Man erkennt bei konstanter Veränderung der Temperatur um 5 Kelvin einen linearen Abfall. Das bedeutet, bei einem Kollektorfühler der richtig eingebaut ist, werden 3.335 kWh an den Kollektorkreis abgegeben. Kommt es jetzt aber dazu, dass dieser beschädigt oder nicht richtig montiert wurde und eine um 5 Kelvin geringere Temperatur misst, so springt der Kollektorkreis der Anlage später an. Dies hat die Folge, dass knapp 230 kWh weniger Energie an den Kollektorkreis abgegeben werden. Das sind 7 % weniger Solarertrag. Diese Einbuße fällt bereits bei einer falschen Messung um 5 Kelvin an. Kommt es dazu, dass der Kollektorfühler die Temperatur um 10 Kelvin falsch misst, werden lediglich 2.875 kWh Solarertrag erzielt. Das entspricht ei-

nem Verlust von 460 kWh, also einem Verlust von 13,8 %. Kommt es zu einer sehr großen Temperaturdifferenz von Soll- zu Ist-Temperatur, z.B. 25 Kelvin, so kann es zu Ertragseinbußen von 34 %, also knapp über ein Drittel weniger Solarertrag, kommen.

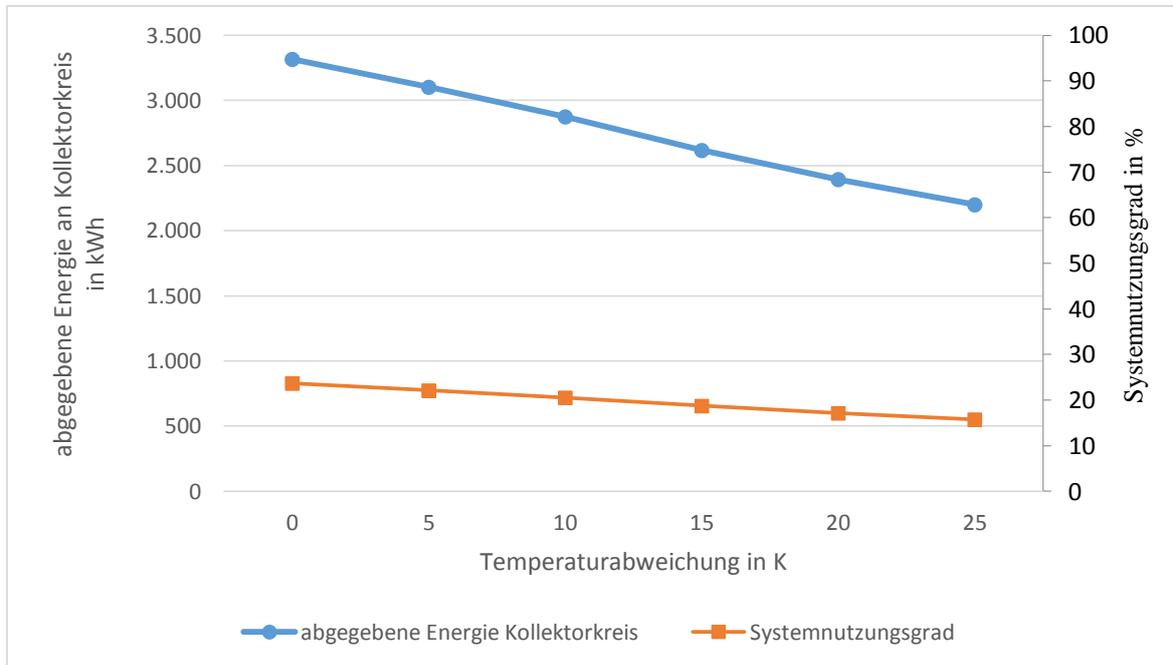


Abbildung 16: Einfluss der falsch gemessenen Temperaturen im Vorlauf des Kollektorkreises auf die abgegebene Energie

Durch die Ertragseinbuße kommt es zu einem starken Abfall des Systemnutzungsgrads und des Deckungsanteiles. Auch hier ist die Einbuße nahezu linear fallend. Beim Betrachten der Werte kann man mit einem Abfall von ungefähr 1,5 % pro 5 Kelvin Differenz zwischen gemessener und der Soll-Temperatur rechnen.

Dieser Mangel hat einen großen Einfluss auf den Solarertrag, da es durchaus auch passieren kann, dass überhaupt kein Solarertrag mehr gewonnen wird. Denn durch das späte Reagieren der Pumpe kommt es im Kollektor bereits zur Dampfbildung. Die Pumpe schafft es ab diesem Zeitpunkt nicht mehr, den Kollektor wieder entscheidend abzukühlen und den Durchfluss zum Laufen zu bringen (Gundert, 2019, p. (6)).

Wirtschaftliche Betrachtung

Da es sich in diesem Falle um den Vergleich von 6 Ereignissen handelt, wurden die Werte des eingesparten Brennstoffes in Form eines Säulendiagramms dargestellt (vgl. Abbildung 17). Mit einer steigenden Temperaturdifferenz werden mehr Verluste erzielt und die Ein-

sparungen an Brennstoff nehmen ab. Die Abnahme ist zu Beginn noch gering, bei zunehmender Differenz jedoch größer und fast linear steigend. Die Einsparungsverluste im Vergleich zur Referenzanlage liegen zwischen 20 € und 70 €.

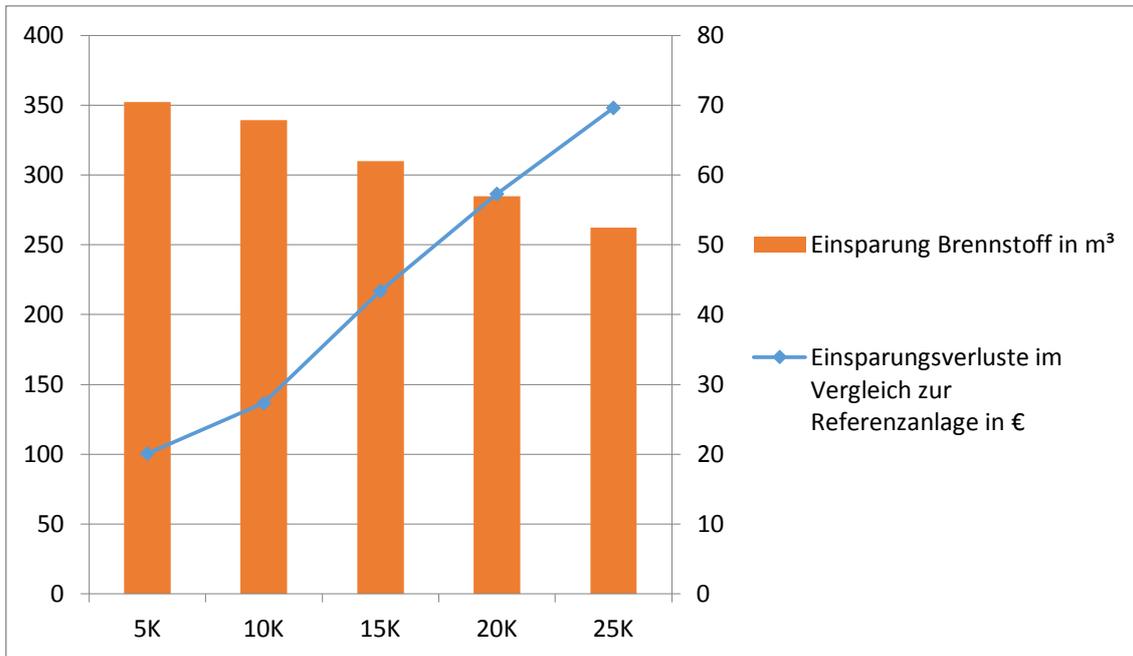


Abbildung 17: Einsparungsverluste im Vergleich zur Referenzanlage in €

5.5 Rücklauf der Nachheizung zu tief angesetzt

Aus dem Experteninterview mit Herr Fuchs stellte sich ein weiterer Mangel heraus, der häufig bei solarthermischen Anlagen vorkommt. Der Rücklauf der Nachheizung wird hierbei zu tief angesetzt. Dadurch kommt es zu einer Durchmischung im Speicher. Diese Durchmischung führt dazu, dass das Temperaturniveau, in dem Bereich wo die Solarthermieanlage einspeist, höher liegt. Damit fehlt der Solaranlage eine relative Kaltwasserzone, wo sie einspeisen kann. Der obere Bereich des Speichers hat beispielsweise 50 °C und der untere 40 °C, so muss die Anlage erst einmal 45 °C erreichen um anzuspringen. Gerade in den Morgenstunden kann dies zu einem verspäteten Start des Kollektorkreises führen (Fuchs, 2019, p. (7)).

In der Simulation wurde der Anschluss der Nachheizung somit um einige Prozentwerte tiefer angesetzt. Bei der Referenzanlage ist die Höhe des Rücklaufs der Nachheizung mit 45 % angegeben. In der Vergleichsanlage wurde die Höhe auf 30 % gesenkt.

Die Ergebnisse werden in Tabelle 11 festgehalten:

Tabelle 11: Simulationsergebnisse

Variante	Referenzanlage	Rücklauf der Nachheizung zu tief angesetzt
Ergebnisse		
Einstrahlung auf Kollektorfläche gesamt [kWh]	13.047	13.047
Einstrahlung auf Kollektorfläche spezifisch [kWh/m ²]	1.087,25	1.087,25
abgegebene Energie Kollektorkreis [kWh]	3.335	3.197
Abgegebene Energie Kollektorkreis spezifisch [kWh/m ²]	277,91	266,42
Zugeführte Energie Zusatzheizung [kWh]	19.923	20.135
Systemnutzungsgrad [%]	23,66	22,84
Deckungsanteil gesamt [%]	13,42	12,89
Energielieferung Trinkwassererwärmung [kWh]	2.784	2.784
Deckungsanteil Warmwasser [%]	53,25	46,62
Energie Solarsystem an Warmwasser [kWh]	1.932	1.743
Energielieferung Heizwärme [kWh]	19.380	19.374
Deckungsanteil Heizung [%]	5,96	6,39
Energie Solarsystem an Heizung [kWh]	1.156	1.237
Einsparungen Brennstoff [m ³]	388,7	376,1
Vermiedene CO ₂ -Emissionen [kg]	821,9	795,3

Auswertung

Der zu tief gelegte Anschluss des Rücklaufes der Nachheizung hat in der Tat Auswirkungen auf den Solarertrag. Bei dem Fall, dass man den Rücklauf 15 % tiefer legt (in diesem Fall entspricht das knapp 30 cm), kann man mit einem Verlust von 138 kWh rechnen. Auf den Solarertrag der Referenzanlage betrachtet, sind das 4,13 % Verlust die man dadurch in Kauf nehmen muss. An den Energiewerten die von der Solaranlage für den Warmwasserverbrauch kann man den Einfluss deutlich erkennen. So steigt der Energiewert des Solarsystems an der Heizung um 81 kWh auf 1.237 kWh an. Der Energiewert des Solarsystems an Warmwasser sinkt jedoch um 189 kWh. Somit steigt der Deckungsanteil der Heizung um 0,43 % an. Der Deckungsanteil an Warmwasser sinkt jedoch um 6,63 %.

Wirtschaftliche Auswertung

Sowohl die Brennstoffeinsparungen als auch der Anteil an CO₂-Emissionen der vermieden wird sinken im Falle eines zu tief angesetzten Rücklaufes der Nachheizung. Bei den CO₂-Emissionen werden nur noch 795,3 kg eingespart, im Vergleich zu vorherigen 821,9 kg. Bei den Brennstoffeinsparungen muss man mit etwa 3,2 % weniger Einsparungen rechnen. Hier werden lediglich noch 376,1 m³ eingespart. Das bedeutet nach folgender Rechnung:

$$12,6 \text{ m}^3 \cdot 10 \text{ kWh/m}^3 \cdot 0,055 \text{ €/kWh} = 6,93 \text{ €}$$

Es werden durch eine falsche Ansetzung des Rücklaufes der Nachheizung bis zu 6,93 € pro Jahr mehr für Brennstoff ausgegeben.

5.6 Vergleich der Ergebnisse

In Abbildung 18 sind die Ergebnisse grafisch gegenübergestellt. Die Nummerierungen entsprechen den Mängeln in der gleichen Reihenfolge wie aus den vorherigen Kapiteln:

- 1: Über-/Unterdimensionierung
- 2: Nachheizen im Sommer
- 3: Mangelnde oder fehlende Rohrdämmung
- 4: Falsche Positionierung des Kollektorfühlers
- 5: Rücklauf der Nachheizung zu tief angesetzt

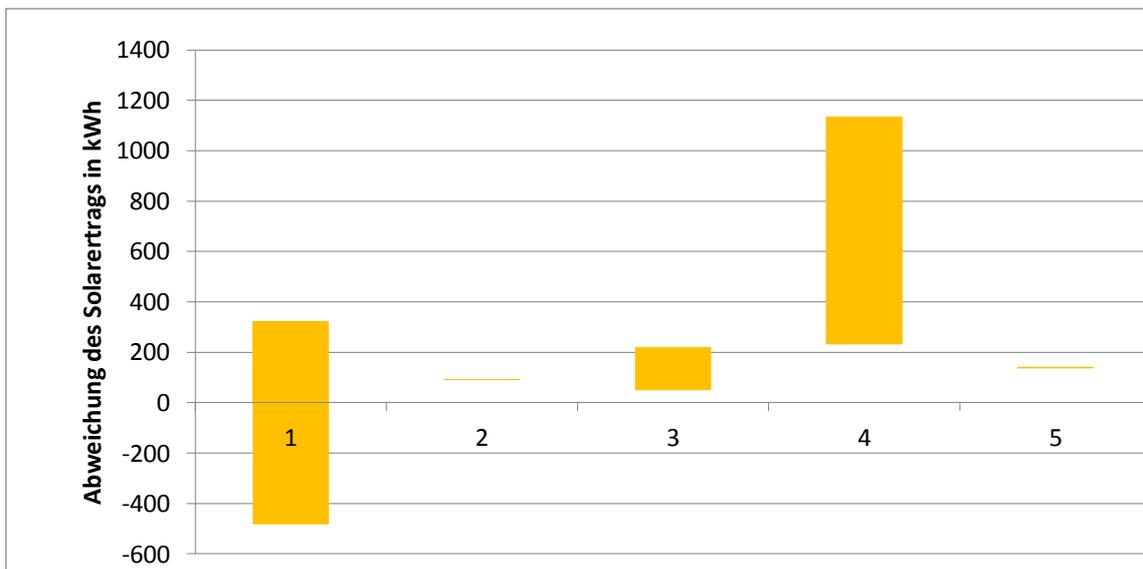


Abbildung 18: Vergleich der Abweichung des Solarertrags durch die untersuchten Mängel von der Referenzanlage

Ist die Anlage überdimensioniert, hat man mit Verlusten bis 323 kWh zu rechnen. Bei einer unterdimensionierten Anlage hat es sogar den positiven Effekt, dass durch den größeren Wasserbedarf mehr Wärmeenergie dem Speicher entnommen werden kann und die Anlage effizienter arbeitet. Im Beispiel konnte durch Verdopplung des Warmwasserverbrauchs ein um 482 kWh steigender Solarertrag festgestellt werden. Lediglich die Deckungsanteile nehmen dann prozentual ab. Einen deutlich geringeren Einfluss auf

den Solarertrag hat das Ausschalten der Nachheizung im Sommer, obwohl dieser Aspekt als gravierend im Abschlussbericht der Solarwärme Checks dargestellt wurde. Es stellt sich jedoch heraus, dass lediglich 89 kWh im Jahr verloren gehen. Ähnlich geringe Auswirkungen hat eine zu dünne, aber mit dem richtigen Material versehene Dämmung. Hier sind gerade einmal 49 kWh Verlust berechnet wurden. Deutlich stärker sind die Auswirkungen bei fehlender Dämmung.

Abschließend kann man sagen, dass sämtliche untersuchten Mängel einen mehr oder weniger großen Einfluss auf den Solarertrag haben. Dennoch können mit einer gut durchdachten Planung und regelmäßiger Wartung diese Mängel verhindert werden. Dies führt zu einem höheren Solarertrag und einer entsprechenden Einsparung.

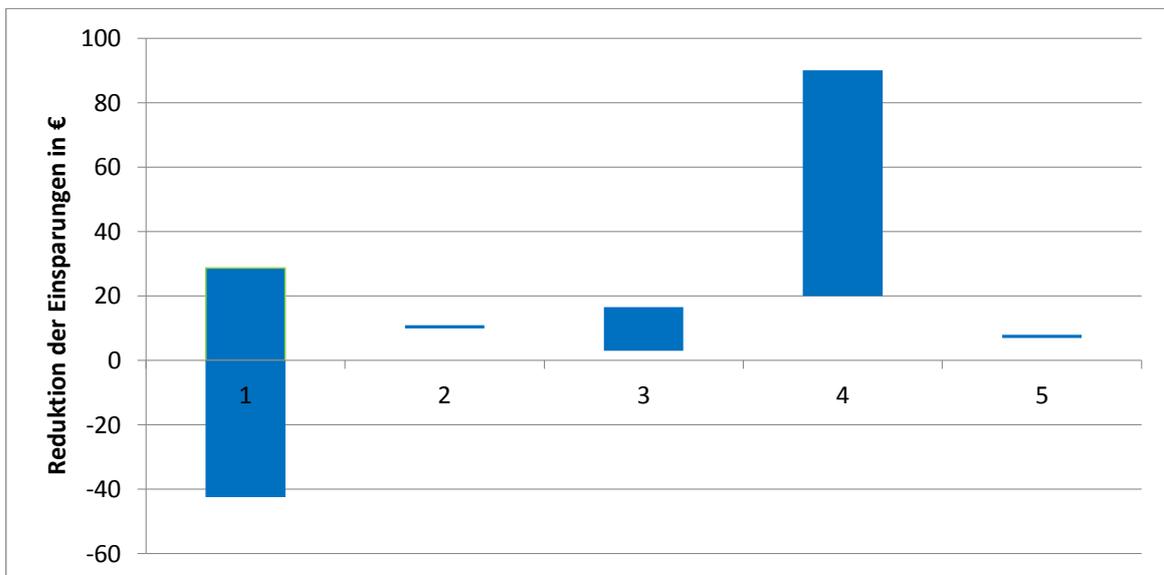


Abbildung 19: Differenz der Einsparungen aufgrund der Mängel im Vergleich zur Referenzanlage in €

Abbildung 19 stellt die Differenz der Einsparungen im Vergleich zum Referenzsystem in € dar. Bei einer Überdimensionierung muss man mit 28,60 € mehr Ausgaben rechnen im Vergleich zu der Referenzanlage. Bei einer Unterdimensionierung werden 42,35 € mehr eingespart. Die falsche Position des Kollektorfühlers nimmt auch wirtschaftlich gesehen einen großen Bereich ein, bei dem man im schlimmsten Fall mit 70 € mehr Ausgaben rechnen muss. Bei einem zu tief angesetzten Rücklauf der Nachheizung entstehen 6,93 € mehr Kosten im Vergleich zu der Referenzanlage.

5.7 Weitere Mängel

Die oben behandelten Mängel treten durchaus häufig in der Praxis auf. Innerhalb der Untersuchung und durch die Experteninterviews sind weitere Mängel möglich bzw. genannt, welche mittels Simulation jedoch schwierig oder gar nicht nachgestellt werden können. Da diese Mängel jedoch ebenfalls einen zum Teil sehr großen Einfluss haben, werden diese im folgenden Kapitel kurz beschrieben.

Luft im Kollektorkreis

Häufig kommt es dazu, dass sich Luft im Kollektorkreis befindet. Luftblasen im Solarkreis gelten nicht zuletzt auch als die häufigste Störungsursache in thermischen Solaranlagen (Kasper & Weyres-Borchert, 2012).

Die Luft im Kollektorkreis wird von Herr Gundert im Interview sogar als das Hauptproblem bezeichnet. Die Luft sammelt sich durch den eigenen Auftrieb an der Stelle, wo es wieder nach unten zum Wärmetauscher geht. Bleibt die Pumpe stehen, so perlt die Luft wieder nach oben. Da führt häufig dazu, dass der Kollektor sehr heiß wird und das Solarfluid im Absorber in Dampf gerät. Bei einer Glykolanlage kann das Glykol dadurch chemisch verändert werden, im Extremfall crackt das Glykol und wird zu einer Säure, die durch die Veränderung des PH-Wertes schädlich für das Metall des Absorbers ist. Es kann zu Metall-Korrosionen und Fluid-Ausflockungen. Diese Ausflockungen führen dann dazu dass der Durchfluss behindert wird (Gundert, 2019, p. (6)).

Dieser Vorgang ist mittels Simulation nicht nachzustellen. Die Luft im Kollektorkreis reduziert zum einem den Durchfluss. Ein reduzierter Durchfluss hätte deutliche Auswirkungen auf den Solarertrag, welche durch Abbildung 20 verdeutlicht werden. Jedoch kommt es meistens direkt zum Stillstand und somit zu keinem Solarertrag.

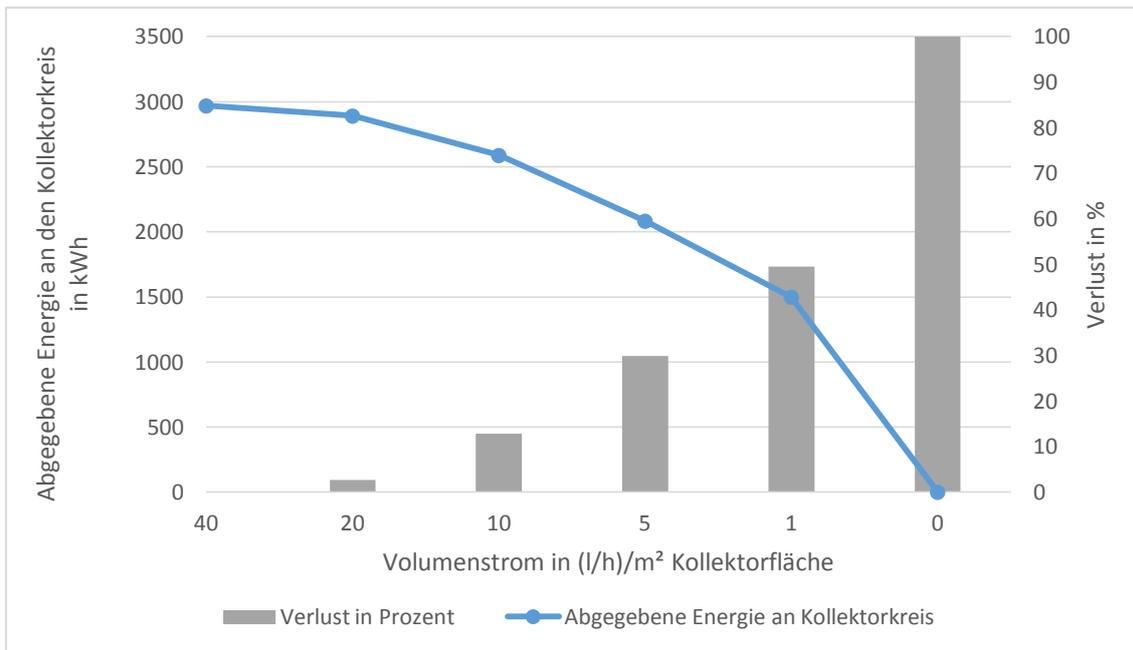


Abbildung 20: Abgebene Energie an den Kollektorkreis in Abhängigkeit vom Volumenstrom

Besteht die Anlage aus parallelgeschalteten Kollektoren, was meistens der Fall ist, kommt es dazu, dass lediglich ein Kollektor nicht durchflossen wird. Grund dafür ist, dass die Luft sich an dieser Stelle festsetzt. Bei einer Anlage mit 3 Kollektoren würde dies bedeuten, dass 2 gut durchflossen werden, der dritte Kollektor jedoch nicht. Somit würde man lediglich den Solarertrag für 2 Kollektoren ernten. Das Problem dabei ist, dass ein gewisser Solarertrag jedoch gewonnen wird und am Speicher ankommt und man nicht sofort erkennt, dass hier ein Mangel vorliegt (Gundert, 2019).

Ferner bringt das Befinden von Luft im System folgende Probleme mit:

- Die Umwälzung der Solarflüssigkeit wird verringert oder kommt ganz zum Erliegen
- Laute Geräusche können entstehen
- Bei Ansammlung von Luft an/in der Pumpe führt die zu Schäden durch Heißlaufen
- Luft vor der Schwerkraftbremse kann das Öffnen beim Anlaufen der Pumpe verhindern

(Rummel, 2005).

Optimierungsmöglichkeiten

Um Störungen durch Luft zu vermeiden gilt es, einen gründlichen Ablauf vor der Inbetriebnahme der Anlage zu beachten. Der erste Schritt ist ein Pumpen der Solarflüssigkeit

durch die Anlage und den Mischbehälter. Als nächstes muss ein Druckaufbau bis zum Anlagendruck erfolgen. Daraufhin wird die Umwälzpumpe in mehreren kleinen Zeitabständen (10 Minuten) ein- und ausgeschaltet. Für diesen Vorgang sollte man sich ausreichend Zeit nehmen, da die Folgen, durch Luftblasen einen starken Einfluss auf den Ertrag haben können. Ist die Luft bereits im Solarsystem enthalten, so ist es schwer auszumachen, an welcher Stelle diese sich befindet, da es z.B. zum Fall kommen kann, dass die Luft sich am Kollektor absetzt und man erst durch gründlichere Untersuchung auf diesen Mangel stößt. Somit ist es von großer Bedeutung, diesen Mangel vor der Inbetriebnahme der Solaranlage, zu verhindern (Kasper & Weyres-Borchert, 2012, p. 69).

Speicher-Anschlüsse nicht siphonartig ausgeführt

Der Speicher muss genau wie die Rohrleitungen ausreichend gedämmt werden. Jedoch ist ein Problem, was häufig nicht beachtet wird und somit in der Praxis mehrfach vorkommt, dass Weglassen von sogenannten Thermosiphon (Geiger, 2019, p. (8)). Es handelt sich dabei um u-förmige Rohranschlüsse. Der Grundgedanke dabei ist, Einrohrzirkulation zu vermeiden. In sämtlichen Rohranschlüssen, die sich am Speicher befinden, befindet sich Wasser. Dieses gibt Wärme an die Umgebung ab und kühlt sich ab. Durch das Abkühlen sinkt das Wasser in den unteren Bereich des Rohres und in den Speicher. Es entsteht ein Unterdruck, der dazu führt, dass warmes Wasser aus dem Speicher in das Rohr gezogen wird. Diese ungewollte Zirkulation kann zu großen Wärmeverlusten führen (Corradini, et al., 2014, p. 44) (Geiger, 2019).

Verschmutzte Kollektoren

Ein Faktor der durchaus von Bedeutung ist und in der Praxis auftritt, ist eine Verschmutzung der Kollektorfläche. Sind Kollektoren verschmutzt, so kommt es schon beim Umwandlungsprozess der Sonnenstrahlung zu hohen optischen Verlusten. Untersuchungen ergaben, dass über längere Zeiträume betrachtet, Luftverschmutzungen an den Gläsern für eine optische Beeinträchtigung sorgen. Das führte zu einem verschlechterten Wirkungsgrad nach 20 Jahren von bis zu 17 Prozent (Corradini, et al., 2014).

Bei langanhaltenden Trockenwetterperioden und keinem Regenfall kann es durchaus zu geringeren Vorlauftemperaturen kommen, z.B. durch Pollen. Bei einer Anlage von Herr Geiger führte dies zu einer Differenz von 10°C bei der Vorlauftemperatur (Gundert, 2019, p. 12).

6 Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit war die Untersuchung von Mängeln in solarthermischen Anlagen mittels Simulationen. Mit den Ergebnissen sollten ferner die Auswirkungen auf die Anlageneffizienz festgehalten werden. Es wurden 3 Interviews mit Experten aus dem Solarbereich geführt, die schon mehrere Jahre in diesem Bereich arbeiten. Mit Hilfe der Interviews und Eigenrecherche wurden die Mängel ausgewählt, die in der Praxis ein häufiges Vorkommen ausweisen.

Bei den aus den Interviews und Eigenrecherche ausgewählten und untersuchten Mängeln beschränkte man sich auf 5 verschiedene Mängel, die im Simulationsprogramm T*SOL2018 gut nachzustellen sind. Von den untersuchten Mängeln lässt sich zusammenfassend sagen, dass jeder dieser einen Einfluss auf die Anlageneffizienz hat.

Bei dem Fall einer falsch dimensionierten Anlage stellte sich heraus, dass eine überdimensionierte Anlage viel gravierendere Auswirkungen auf den Solarertrag hat als eine unterdimensionierte Anlage. Bei einer unterdimensionierten Anlage ist der Solarertrag sogar gestiegen. Einen deutlich geringeren Einfluss auf den Solarertrag haben das Ausschalten der Nachheizung im Sommer und eine zu dünne, mit dem richtigen Material versehene Rohrdämmung. Eine fehlende Rohrdämmung hingegen bringt herbe Verluste beim Solarertrag zustande. Setzt man den Rücklauf der Nachheizung zu tief an, so kommt es ebenfalls zu Verlusten beim Solarertrag. Diese sind immerhin nur ein wenig niedriger als bei fehlender Rohrdämmung. Die größten Verluste neben einer überdimensionierten Anlage kann ein falsch montierter Kollektorfühler verursachen. Hier ist entscheidend wie groß die Abweichungen der gemessenen von den realen Temperaturen sind.

Grundsätzlich werden Mängel in solarthermischen Anlagen relativ spät oder auch gar nicht festgestellt, da bei zu geringem Solarertrag die Nachheizung des vorhandenen Heizkessels für entsprechende Temperaturen im Speicher sorgt.

Aus diesem Grund ist es von zentraler Bedeutung, dass der Anlagenenertrag kontinuierlich erfasst und in bestimmten Abständen kontrolliert wird. Dies ist mit Hilfe eines Wärmemengenzählers möglich, bestehend im Wesentlichen aus einem Volumenstromgeber und zwei Temperaturfühlern. Eine Wärmemengenerfassung sollte Bestandteil jeder thermischen Solaranlage sein, um Störungen frühzeitig zu erkennen und entsprechend reagieren zu können.

7 Literaturverzeichnis

Agentur für Erneuerbare Energien, 2019. *Solarwärme wächst - zu langsam - Agentur für Erneuerbare Energien*. [Online]

Available at: <https://www.unendlich-viel-energie.de/erneuerbare-energie/sonne/solarthermie/solarwaerme-waechst-%e2%80%93-zu-langsam>

[Zugriff am 21 03 2019].

BSW-Solar, 2018. *Statistische Zahlen der deutschen Solarwärmebranche (Solarthermie)*. [Online]

Available at:

https://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/user_upload/bsw_faktenblatt_st_2018_2.pdf

[Zugriff am 21 03 2019].

Corradini, D.-I. D.-P. R.et al., 2014. *Solarthermie, Technik, Potenziale, Wirtschaftlichkeit und Ökobilanz für solarthermische Systeme in Einfamilienhäusern*. Ludwigsburg: Wüstenrot Stiftung.

EEM Energy & Environment Media GmbH, 2019. *A/Azimuthwinkel - Solarserver*. [Online]

Available at: <https://www.solarserver.de/wissen/lexikon/a/azimuthwinkel.html>

[Zugriff am 2 2 2019].

energiezukunft, 2015. *Solarleitungen müssen nach EnEV gedämmt werden - energiezukunft.eu*. [Online]

Available at: <https://www.energiezukunft.eu/erneuerbare-energien/solar/solarleitungen-muessen-nach-enev-gedaemmt-werden-gn102972/>

[Zugriff am 26 02 2019].

EnEV-online, 2013. *EnEV 2014: Anlage 5: Anforderungen zur Begrenzung der Wärmeabgabe von Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen sowieso Armaturen*.

[Online]

Available at: [http://www.enev-](http://www.enev-online.com/enev_2014_volltext/anlage_05_anforderungen_waermedaemmung_rohrleitung_en_armaturen.htm)

[online.com/enev_2014_volltext/anlage_05_anforderungen_waermedaemmung_rohrleitung_en_armaturen.htm](http://www.enev-online.com/enev_2014_volltext/anlage_05_anforderungen_waermedaemmung_rohrleitung_en_armaturen.htm)

[Zugriff am 10 03 2019].

Frahm, T., 2019. *Solarthermie Dachneigung - optimale Neigung für Warmwasser & Heizung*. [Online]

Available at: <https://www.solaranlagen-portal.com/solarthermie/montage/dachneigung>

[Zugriff am 4 2 2019].

- Frahm, T., 2019. *Stagnation bei Solarthermieanlagen*. [Online]
Available at: <https://www.solaranlagen-portal.com/solarthermie/thermische-solaranlage/stagnation>
[Zugriff am 10 03 2019].
- Fuchs, U., 2019. *Interview 2* [Interview] (11 02 2019).
- Geiger, S., 2019. *Interview 2* [Interview] (13 2 2019).
- Gundert, C., 2019. *Interview 3* [Interview] (27 2 2019).
- Kasper, D.-I. B.-R. & Weyres-Borchert, D.-M. B., 2012. Montage, Inbetriebnahme, Wartung und Service. In: DGS, Hrsg. *Solarthermische Anlagen, Leitfaden für das SHK-, Elektro- und Dachdeckerhandwerk, Fachplaner, Architekten, Bauherren und Weiterbildungsinstitutionen*. Berlin: DGS.
- Kasper, D.-I. B.-R., Weyres-Borchert, D. B. & Metz, D. M., 2012. Warum Sonnenenergie nutzen?. In: *Solarthermische Anlagen, Leitfaden für das SHK-, Elektro- und Dachdeckerhandwerk, Fachplaner, Architekten, Bauherren und Weiterbildungsinstitutionen*. s.l.:s.n.
- Menz, D.-I. M., 2012. Elektronische Medien und Software im Bereich Solarthermie. In: DGS, Hrsg. *Solarthermische Anlagen, Leitfaden für das SHK-, Elektro- und Dachdeckerhandwerk, Fachplaner, Architekten, Bauherren und Weiterbildungsinstitutionen*. s.l.:s.n., pp. 12-8.
- Mertens, K., 2019. *Photovoltaik - Lehrbuch zu Grundlagen, Technologie und Praxis*. s.l.:Hanser Verlag.
- Metz, D.-I., Moersch, D.-I. M. & Heinl, W., 2012. Komponenten solarthermischer Anlagen. In: DGS, Hrsg. *Solarthermische Anlagen, Leitfaden für das SHK-, Elektro- und Dachdeckerhandwerk, Fachplaner, Architekten, Bauherren und Weiterbildungsinstitutionen*. s.l.:Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie, Landesverband Berlin Brandenburg e.V., Landesverband Hamburg/Schleswig-Holstein e.V..
- Quaschnig, V., 2015. *Regenerative Energiesysteme, Technologie-Berechnung-Simulation*. München: Carl Hanser Verlag.
- Rummel, A., 2005. Die Luft muss raus. *SonneWindWärme*, 03, p. 56.
- Schabbach, T. & Leibbrandt, P., 2014. *Solarthermie, Wie Sonne zu Wärme wird*. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag.
- Schnauss, D.-I. M. et al., 2012. Systeme zur Trinkwassererwärmung. In: *Solarthermische Anlagen, Leitfaden für das SHK-, Elektro- und Dachdeckerhandwerk, Fachplaner, Architekten, Bauherren und Weiterbildungsinstitutionen*. s.l.:9. Auflage, DGS.

solaranlage-ratgeber, 2019. © *solaranlage-ratgeber.de - Solarthermieanlage Verrohrung und Solarkreislauf*. [Online]

Available at: <https://www.solaranlage-ratgeber.de/solarthermie/solarthermie-technik/verrohrung>

[Zugriff am 6 2 2019].

Umweltdatenbank, 2019. *Wärmeträgerflüssigkeit*. [Online]

Available at: <https://www.umweltdatenbank.de/cms/lexikon/49-lexikon-w/449-waermetraegerfluessigkeit.html>

[Zugriff am 2 2 2019].

Valentin Software GmbH, 2015. *Solarthermie Berechnung | Valentin Software*. [Online]

Available at: <https://www.valentin-software.com/produkte/solarthermie/14/tsol>

[Zugriff am 3 02 2019].

Verbraucherzentrale Bundesverband e.V., 2018. *Auswertung des Solarwaerme-Checks*.

[Online]

Available at: www.verbraucherzentrale-energieberatung.de

[Zugriff am 01 02 2019].

Weyres-Borchert, B. & Kasper, B.-R., 2015. *Solare Wärme, Technik-Planung-Hausanlage*. Karlsruhe: Fraunhofer IRB Verlag.

Inhaltsverzeichnis Anhang

Anhang 1: Interwieskripte	1
Anhang 1.1 Interview mit Ulrich Fuchs von Solarfuchs.....	1
Anhang 1.2: Interview mit Stephan Geiger.....	5
Anhang 1.3: Interview mit Christof Gundert	8
Anhang 2:	12

Anhang 1: Interwieskripte

Anhang 1.1 Interview mit Ulrich Fuchs von Solarfuchs.

Interview geführt am: 11.02.2019

Interviewpartner: Ulrich Fuchs

(1) Wie lange arbeiten sie schon im Bereich Solarenergie?

Ich arbeite jetzt schon seit 19 Jahren in diesem Bereich

(2) Und was gehört dabei zu ihrem Berufsalltag?

Also wir machen alles was mit Solar zu tun hat, aber ausschließlich solar. Photovoltaikanlagen und in der Thermie wassergeführte Anlagen und Luftkollektoranlagen. Aber wir sind keine Elektrofirma und keine Heizungsbaufirma. Was die Solaranlagen anbelangt, ist alles von der Kundeberatung, Planung und Installation und gegeben falls auch Weiterbetreuung im Berufsalltag mit eingebunden.

(3) Können sie eine Zahl nennen, wie viele Anlagen sie schon installiert haben?

Ja, ich habe da mal drüber nachgedacht. Es müssten so 80-100 Anlagen sein.

(4) Welche Mängel treten Ihrer Erfahrung nach häufig in der Praxis auf?

Bei solarthermischen Anlagen ist es häufig, dass nicht beachtet wird, ob die Anlage richtig in Betrieb gegangen ist. Also, das Häufigste was wir finden ist, dass die Anlage kein Durchfluss hat, weil sich irgendwie eine Luftblase gebildet hat. Für die Installateurs Seite heißt es eigentlich, ich muss die Anlage nochmal kontrollieren, sobald diese richtig heiß geworden ist. Für die Betreiberseite heißt es, auch wenn die Betreiber technische Laien sind, müssen sie irgendwie angehalten werden, darauf zu achten, dass die Anlage arbeitet. Also wenigstens dieses Digitale, tut sie es oder tut sie es nicht. Das muss bestenfalls geleistet werden.

(5) Zum Thema Luft – damit meinen Sie die Luft im Kollektorkreis und deren Folgen auf z.B. die Umwälzpumpe?

Richtig, oder das einfach durch das erste Ausgasen der Flüssigkeit, also, wenn ich an einem bedeckten Tag die Anlage in Betrieb nehme, dann enthält sie noch relativ viel Gas. Wenn sie das erste Mal richtig heiß wird, gast sie noch aus. Wir dürfen im Solarkreis keine Automatikentlüfter haben, also kommt die Luft auch nicht von alleine raus. Mit großer Wahrscheinlichkeit setzt die Luftblase sich dann an eine der ungünstigsten Stellen hin. Dann kommen wir zum zweiten Punkt. Das hat etwas mit der Wärmemengenzählung zu tun. Wenn ich jetzt aus Kostengründen auf einen Wärmemengenzähler und somit einen Durchflussmesser verzichtet habe, dann bekomme ich gar nichts mit. In Hamburg ist dies nicht der Fall, weil es von der Förderung vorgeschrieben ist. Dann kann jedoch die Pumpe vor sich rumrodern, aber nichts fördern. Und ich habe keinen Anhaltspunkt dafür, dass die Anlage nicht arbeitet. Und das grundsätzliche Problem bei den thermischen Solaranlagen ist ja, dass der Speicher von der Heizung immer nachheizt. Hier habe ich die Komfortschaltung. So kommt es dazu, dass einige Kunden erst nach einem Jahr an ihrer Gasrechnung sehen, dass

diese gar nicht runtergegangen ist. Das ist eine sehr blöde Situation in die man kommt, denn da hat die Anlage den ganzen Sommer vor sich hin gestanden, aber keiner hat es gemerkt. Und wenn man Pech hat, hat die Pumpe ein Dutzend Arbeitsstunden auf der Uhr, aber hat in Wirklichkeit kaum gefördert.

(6) Also ist dies ein Punkt den man regelmäßiger untersuchen sollte?

Definitiv.

(7) In welchem Bereich (Produkte, Planung, Montage) werden am häufigsten Fehler gemacht?

Produktfehler habe ich in dem Sinne so gut wie nie bemerkt. Das sind diese Punkte, wo alle dazugelernt haben. Dass man eben im Solarkreis keine Automatikentlüfter ansetzen darf, weil sie die Temperaturen von dem Dampf gar nicht aushalten und weil eben auch eine Dampfbildung im Sommer durchaus ein Betriebszustand ist und der Dampf soll ja nicht raus. Es sollen ja nur Luftblasen raus. Wenn der Dampf sich abkühlt und kondensiert, dann ist ja wieder alles in Ordnung.

Früher wurden auch nicht ausreichend temperaturfeste Isolierungen angesetzt. Da wurde dann gesagt, die Sonne hier in Hamburg ist ja weniger stark, da könnte man ja auch die billige Isolierung aus dem Baumarkt verwenden. Und nach dem ersten Stillstand der Anlage, weil die Besitzer im Urlaub waren oder so, hängt da die Isolierung geschmolzen am Rohr.

Eine Sache die man immer wieder gemacht wird, die uns schon aufgefallen ist bei Heizungsunterstützende Anlagen, wir bauen fast nur noch heizungsunterstützende Anlagen aufgrund der Fördersituation, dass man speziell bei Speichern mit vielen Anschlussmöglichkeiten, den Rücklauf für die Nachheizung zu tief ansetzt. So kommt es zur Durchmischung des Speichers. So hat die Solaranlage thermisch gar keinen Platz, also eine relativ Kaltwasserzone vorfindet, wo sie dann den Solarertrag reinarbeiten kann. Wenn durch die Nachheizung der Wasserspeicher bis unten hin also erwärmt wird, auch wenn er oben meinetwegen 50°C und unten noch 40°C hat, dann muss der Solarkollektor erst einmal über 45°C kommen bevor es überhaupt anspringt.

(8) Also bei einer Situation, wo wir jetzt ungefähr 10Uhr oder 11 Uhr morgens hätten, die Sonne scheint, aber die Temperatur ist noch nicht erreicht. Dann würde hier noch nicht viel passieren?

Genau. Weil der Speicher von der Heizung durchwärmt ist. So senkt man sich da selber den Solarertrag.

(9) Welche von diesen Mängeln haben Ihrer Meinung nach einen großen Einfluss auf den Ertrag?

Hier habe ich jetzt schon einiges bei der Frage zuvor weggenommen.

Von Heizungsbauern habe ich öfter gehört: Dann baue ich das hier alles lieber etwas größer, dann habe ich Ruhe. Nach dem Motto: Wenn es den Leuten zu kalt wird oder das Duschwasser nicht warm wird, dann werde ich andauernd angerufen, darauf habe ich keine Lust. Dann stelle ich das alles auf 60°C und keiner redet darüber. Jedoch ist dann klar, wenn man den Komfort hoch setzt, dass man dann aber auch den Solarertrag runterzieht, damit die Möglichkeit das die Solaranlage einsteigen kann. Und genau so, das kennen wir schon von dem einfachen bivalenten Warmwasserspeicher, wenn man den Fühler für den Heizkessel für die Nachheizung zu weit runterzieht, dann wird auch dafür gesorgt, dass ein größerer Teil des

Speichers durchwärmt wird von der Heizung. Aber dies ist immer diese Abwägung. Wenn die Leute behaupten, ich bekomme die Badewanne gar nicht richtig warm, weil der Speicher dann auch relativ klein ist oder so, dann muss man da den richtigen Kompromiss finden. Da haben wir als Installateur dann aber auch einen gewissen Einfluss, die Grenze zwischen Solarertrag und Komfort richtig zu schieben.

(10) Was sind Ihrer Meinung nach wichtige ertragsentscheidende Punkte bei der Planung und Installation von solarthermischen Anlagen?

Also generell meine ich, dass diese ganze Planungsgeschichte und in dem Sinne Ertragsoptimierung, zu hoch bewertet wird. Also ich muss natürlich eine Leitung gut dämmen und ich muss nicht ohne Not die Solarleitung irre lang und ungeschützt auf dem kalten Dach oder Dachboden laufen lassen, also da kann ich einen Einfluss drauf nehmen. Meiner Ansicht nach, sind die praktischen Auswirkungen jedoch, also im Betrieb der Anlage, viel größer als eine nichtoptimale Planung. Ob die Anlage jetzt zu groß oder zu klein ist, naja, wenn sie zu klein ist, bekommt sie eben immer gute Ertragszahlen, ich muss aber andauernd nachheizen. Wenn sie zu groß ist, ist es andersrum, ich habe viel Geld investiert, bekomme aber wenigstens an einen bewölkten Tag noch mein Duschwasser warm. Da haben wir aber auch über die vorgeschriebenen Ertragswerte der Förderung in Hamburg, also die IFB Vorgaben mit der Simulation, Einschränkungen, dass wir da gar nicht zu groß werden dürfen. Ein aus meiner Sicht wichtiger Punkt, der manchmal übersehen wird, werden vermutlich einige Kollegen anders sehen, ist die Robustheit. Also wir bauen zum Beispiel, manche rümpfen hier die Nase, immer Anlagen mit Frostschutzmitteln. Da kann auch ruhig der Strom ausfallen. Wenn die Anlage voll Wasser stehen würde, frieren uns dann nicht die Kollektoren kaputt. Ich bin schon öfter bei Anlagen gewesen, weil der Kunde die Nase voll hatte. Er hat ein gut ausgeklügeltes System, aber dann gab es einen Stromausfall oder die Solarkreislaufpumpe war kaputt, es gab Frost, keine Warnung und auf einmal war der Kollektor verfroren. Da finde ich dann, dass sich dieser Aufwand, diese Chemie da dieses Tyfocor einzusetzen, schon lohnt. Also da kann die Anlage einfach vor sich hin stehen und die Teile nehmen keinen Schaden. Das jetzt besonders bezogen auf Flachkollektoren. Röhrenkollektoren bauen wir trotz der Schwierigkeiten im Gegenteiligen Bereich, wenn viel Dampf kommt, mit Tyfocor.

Aus heutiger Sicht würde ich reine Wasseranlagen nur mit Drain back System machen. Selbst da hatten wir den Fall, dass wir einen Röhrenkollektor austauschen mussten. Das war in dem Sinne ein Installationsfehler. Da war eine ganze Reihe Röhrenkollektoren auf dem Dach und die hingen in der Mitte bisschen durch. Man konnte es von unten kaum erkennen, aber das führte dazu, dass die eigentlichen Sammlerrohre, auch beim Drain back, nicht wirklich leergelaufen sind und dadurch sind dann Kollektoren gefroren. Da sollte man dann die Notwendigkeit sehen und sagen, ich muss in der Mitte eher einen kleinen Berg einbauen, damit das Rohr richtig leerlaufen kann oder vielleicht an dem einen Ende, je nachdem wie es angeschlossen ist.

(11) Welche Fehler werden Ihrer Kenntnis nach heute noch immer gemacht, welche sind eher selten?

Also heute eher selten würde ich den vorher schon genannten Punkt mit der Isolierung nennen. Ich glaube heute wissen viele, dass im Kollektorkreis Dampf entstehen kann und dass man da Material haben muss, welches 150-200 Grad für eine gewisse Zeit aushält. Ich denke schon, dass man die Information mal mitgenommen haben muss und das es gerade bei den Klempnern häufig so ist, dass sie davon ausgehen, dass die übliche Isolierung dieses bisschen Solar schon mitmacht. Das man da aber noch einmal eine ganz andere Denke benötigt, das

haben sie nicht so im Bewusstsein. Und dann passieren eben solche Fehler. Also wir beziehen unsere Produkte alle vom Selben Anbieter, der auch Wert darauflegt, dass diese den Umständen entsprechen. Also die Materialausfälle, wenn wir sie mal haben, die sind im normalen statistischen Maß. Zwischen 100 Teilen kann es mal passieren, dass ein Schlechtes dabei ist. Aber systematische Fehler, dass diese Pumpe z.B. eine Schwachstelle ist, dass kennen wir eigentlich nicht.

Ich möchte mich für das nette und aufgeschlossene Gespräch bedanken und wünsche Ihnen noch alles Gute für die Zukunft.

Anhang 1.2: Interview mit Stephan Geiger

Interview geführt am: 20.02.2019

Interviewpartner: Stephan Geiger

(1) Wie lange sind Sie im Bereich Solarenergie tätig? Sie hatten im Vorfeld erwähnt, dass Sie die Anlagen prüfen?

Also ich baue natürlich auch Anlagen, als Heizungsbaufirma. Das mache ich jetzt seit 12-15 Jahre ungefähr. Ja, seitdem baue ich Solaranlagen ein. Die Anzahl wird natürlich jetzt immer weniger, da die Nachfrage einfach geringer geworden ist, gerade bei der Nachrüstung.

(2) Wir hatten ja jetzt einen guten letzten Sommer, hat sich davon etwas bemerkbar gemacht?

Nein, überhaupt nicht.

(3) Was gehört zu den Aufgaben Ihres Berufsalltags?

Also eigentlich habe ich ein Heizungsbaubetrieb. Ich arbeite alleine. Beim Einbauen von Solaranlagen oder Heizkesseln habe ich immer mein Sohn als Unterstützung dabei. Die Hauptaufgabe ist die Wartung von Heizungsanlagen und nebenbei eben halt für die SKA Prüf IFB Solaranlagen abnehmen. Das sind vielleicht 10 Stück im Jahr.

(4) Wie viele Anlagen haben sie bisher in etwa geprüft oder installiert?

Geprüft habe ich bisher bestimmt schon 40-50. Selbst gebaut oder installiert, vielleicht um die 20. Es handelt sich dabei meistens um große Anlagen mit Heizungsunterstützung, nicht nur Warmwasser. Also Heizungsunterstützung, Kesseltausch und so weiter. Hast du vielleicht ja auch selbst auf meinem Dach gesehen.

(5) Ja, wie groß ist die Anlage, wenn ich fragen darf?

15 Quadratmeter. Sind aber auch 10 Personen hier im Haushalt. Die 3 Wohnungen. Ich habe es noch nie gehabt, dass die Anlage abgeschaltet hat, weil zu viel Sonne da ist. Und wenn die Sonne weg ist, 2 Tage, reicht das.

(6) Welche Mängel treten Ihrer Erfahrung nach sehr häufig auf?

Ich überprüfe die Anlagen ja nach einem vorgegebenen Schema und die häufigsten Mängel sind, dass kein Z und U Anschluss gemacht wird. Sprich, die Folge daraus ist, dass eine Zirkulation entstehen kann, die nicht gewollt ist. Das wird ganz oft vergessen. Ansonsten sind es ganz viele technische Sachen, Isolierungen fehlen, mal ein Wärmemengenzähler nicht da, das Sicherheitsventil bei mindestens der Hälfte der Anlagen, nicht in einer metallischen Leitung ausgeführt worden ist, sondern einfach nur ein Schlauch oder auch gar kein Schlauch. Das sind so die Wesentlichen. Es kam noch einmal vor, dass zu wenig Frostschutz vorhanden war. Aber besonders die Isolierungen, bzw. die fehlenden oder falschen Isolierungen, das ist fast überall so.

(7) Das ist also noch heute sehr aktuell?

Ja genau, es fehlen also meist immer viele Stücke oder mal ist sie viel zu dünn. Da ist einfach eine nicht passende Isolierung gewählt wurden. Oder sehr viele falsche Rohrleitung. Da hatte ich häufiger den Fall, dass Mehrschichtverbundrohre genommen wurden als Solarleitung. Aber der häufigste Fehler ist wie gesagt, die nicht vorhandenen Z und U-Rohr Anschlüsse, dass diese nicht vorhanden sind.

(8) Was hat das genau für einen Einfluss?

Es kann Zirkulation entstehen. Selbsttätige Zirkulation. Solaranlagen haben ja üblicherweise Rückschlagklappen eingebaut. Aber ich hatte bei einigen Anlagen trotzdem den Fall, dass sie zirkuliert haben. Wenn die Rückschlagklappen irgendwann hängen, weil sie zu alt werden. Beim Einbau von diesem Z Anschluss wird diese Zirkulation verhindert. Also man verhindert diese statische Zirkulation. Und auch beim Heizungskreislauf, die am Pufferspeicher angeschlossen werden. Da sollte auch nicht ausversehen Schwerkraft entstehen. Deshalb sollten diese dort auch immer in Z oder U Anschlüssen ausgeführt werden. Weil gerade bei den Heizungsanlagen auch immer automatisch Zirkulation entsteht. Und das soll ja verhindert werden, es soll ja nicht planlos Energie fließen, wenn keine gebraucht wird.

(9) Es gibt ja aber auch Anlagen, bei denen extra eine Zirkulation mit Zirkulationsleitungen eingebaut wird.

Ja, aber das ist ja im Trinkwasserbereich. Ja klar, aber da ist auch so, dass die Zirkulationspumpen dort 24 Stunden durchlaufen. Da muss man also auch drauf achten, dass sie eine vernünftige Zeiteinstellung haben.

(10) In welchem Bereich (Produkte, Planung, Montage) werden am häufigsten Fehler gemacht?

Das war paar Mal der Fall, dass die Isolierteile nicht gegen Vogelfraß und Maderfraß gesichert sind. Gerade diese Solarfühler, da war ich gerade wieder bei einer Anlage, weil die Mader die zerfressen. Gerade bei größeren Anlagen, wenn die beim Flachdach aufgeständert sind, ist das wichtig. Das hat dann die Folge, dass die Anlagen nicht funktionieren. Bei Produkten kam es vor, dass mal eine Scheibe beim Kollektor kaputt war oder bei älteren Anlagen, da sind die Kupferverbindungen auseinander gegangen, also die Lötungen. Die sind nicht gut verarbeitet wurden, das waren auch keine deutschen Produkte. Da konntest du die ganze Anlage rausschmeißen.

(11) Kam es bei Ihnen mal zum Vorfall, dass sich Luft im System befand?

Also bei den neuen Anlagen nicht, aber bei den älteren kommt das vor. Aber das sieht man eigentlich am Manometer, dass da der Anlagendruck zu gering ist oder man Fließgeräusche hat. Das hört man aber auch. Man sollte zusehen, dass die Schnellentlüfter oben zu sind oder ganz weg sind. Beim Ausdehnungsgefäß ist es dann noch wichtig den richtigen Vordruck einzustellen, sonst hast du hier auch Probleme. Also es wird normalerweise ausgeliefert mit 4 bar, und wenn du dann nur 3 bar raufgibst, sind 4 bar zu viel, dann kann sie nicht arbeiten.

(12) von diesen Mängeln haben Ihrer Meinung nach einen großen Einfluss auf den Ertrag?

Verschattung und Ausrichtung. Bäume vor allem. Also Bäume und Ausrichtung, es hat ja nicht jeder Süden aber ich habe auch schon einmal eine Anlage auf Nord gesehen. Aber das muss ein guter Verkäufer gewesen sein. Die habe ich nicht überprüft, nur beim Vorbeifahren. Aber besonders auch bei Neubauten. Da hast du eine Solaranlage auf dem Dach und nebenan wird neu gebaut und plötzlich ist die Verschattung da. Aber da kann man nichts gegen machen. Und verschmutzte Kollektoren sind auch ein gravierend. Gerade jetzt bei den Pollen, wenn es dann lange nicht regnet sieht man immer sehr gut. Das habe ich bei mir am Haus mal gemessen. Das sind bestimmt 10°C Vorlauftemperatur Unterschied gewesen. Also eigentlich schafft der Regen, wenn er denn da ist, die Kollektoren zu säubern.

(13) Welche Fehler werden Ihrer Kenntnis nach heute noch immer gemacht, welche sind eher selten?

Armaturen werden häufig nicht isoliert, aber das ist auch schwierig in einigen Fällen. Aber ansonsten auch das, was ich zuvor erwähnt habe. Gerade das mit den Z und U Anschlüssen.

(14) Sie haben erwähnt sie prüfen die Anlagen. Haben sie da ein bestimmtes Schema?

Ja also ich habe hier einen bestimmten Vorgang. Da notiere ich mir sämtliche Informationen über den Flachkollektoren, welches Modell und wie viel Quadratmeter, womit wird nachgeheizt, Rohrleitung und so weiter. Und dann habe ich hier noch Messergebnisse. Temperaturen, Durchflussmenge und solche Geschichten. Ah und der Brauchwassermischer wird auch oft vergessen.

(15) Kam es bei Ihnen vor, dass eine Anlage falsch geplant wurde?

Nein, an sich sind die Komponenten immer gut aneinander angepasst gewesen. Es müssen natürlich auch Verbraucher dahinterstehen. Also einer Oma und einem Opa eine Anlage verkaufen bringt weniger etwas. Bei einer Bestandsanlage kann es auch immer zu Veränderungen kommen. Das ist dann ineffektiv, aber bei der Planung kann ich nichts zu sagen, dass dort was falsch geplant wurde. Hier zu Hause sind wir ja auch mal mehr und mal weniger, aber ich kann nicht sagen, dass das hier nicht hinhaut.

(16) Wie sieht es bei den von Ihnen geprüften Anlagen mit einem Wärmemengenzähler aus? Ist der vorhanden?

Ja, der ist Pflicht. Also in allen Anlagen die ich überprüft habe, war einer drin. Die ganz alten Anlagen hatten vielleicht keinen, da war es noch nicht Pflicht. Aber seit vielen Jahren ist das nicht mehr der Fall.

(17) Ein Kritikpunkt bei Betreibern von Solarthermieanlagen, ist dass die Nachheizung bei vielen nicht über die Sommermonate ausgeschaltet wird. Die Verbraucherzentrale behauptet, die Nachheizung kann ausgeschaltet werden und der Solarertrag reicht für die Versorgung aus.

Nein, das schafft man nicht. Letzten Sommer, konnte bestimmt jeder ausschalten. Aber generell? Bedeckt, Regen, keine Chance. Das kann man auch nur mit Frischwasserstation machen, wo man auf 35 Grad runtergehen kann mit dem Trinkwasser. Das liegt auch an den Verbrauchern, wie viele da dran hängen.

Vielen Dank Herr Geiger, dass Sie sich die Zeit genommen haben, mir meine Fragen zu beantworten.

Anhang 1.3: Interview mit Christof Gundert

Interview geführt am: 27.02.2019

Gesprächspartner: Christof Gundert

(1) Wie lange arbeiten sie schon im Bereich Solarenergie?

Christof Gundert, Microsol Solarsysteme. Uns gibt es seit 1992. Wir haben angefangen mit solarthermischen Anlagen, Vakuumröhrenkollektoren, für Einfamilienhäuser, Warmwasserbereitung mit Heizungsunterstützung. Sind dann aber auch schnell auf größere Anlagen gegangen. Momentan ist der Schwerpunkt eben größere Solarthermieanlagen, zwischen 20 und 100 Quadratmeter und dazugekommen ist relativ schnell, 1995 dann, die Photovoltaikanlage. Da maximal bis 30 kW. Wir sind ein Heizungsbau und Elektroinstallationsbetrieb und können dann, sozusagen auch alle Gewerke dann fertig machen.

(2) Und was gehört dabei zu ihrem Berufsalltag?

Ich bin Betriebsleiter, Geschäftsführer, Personalchef. Alles zusammen. Wir sind derzeit 9 Mitarbeiter. 6 sind draußen und ich bin zu ungefähr 70% draußen. Dann allerdings auch mit 60 Stunden die Woche. Das heißt, eigentlich 40 Stunden draußen und der Rest dann drin.

(3) Können sie eine Zahl nennen, wie viele Anlagen sie schon installiert haben?

Solarthermische Anlagen habe ich sicher um die 400 installiert. Auch viele übernommen, also damals 1992 sind dann sicher so 50 Anlagen dazugekommen, die ich jetzt in Pflege habe. Ich habe auch fremde Anlagen in Pflege. Bei Photovoltaik ist es nicht ganz so viel, wird aber immer mehr.

(4) Hatte der zuletzt heiße Sommer Auswirkungen auf die Anzahl der Kundschaft?

Also bei Photovoltaik merken wir das es anzieht, aber ich glaube das liegt nicht am Sommer, sondern es ist insgesamt die Diskussion, Klimaschutz, erneuerbare Energien, was kann man selber machen und die Elektromobilität, die führt eben dazu, dass die Leute sich mehr Gedanken über die Energie machen. Das wollen wir ja eben auch. Und da hat die Solartechnik einen eigentlich sehr guten Ruf. Die solarthermischen Anlagen hinken etwas hinterher. Ich glaube aber, dass es gar nicht so schlecht ist, wie es sich immer zeigt, oder wie es erzählt wird. Weil viele Neubauten eben schon diese konventionellen 2 Quadratmeter schon drauf haben. Ich denke, dass da auch relativ schnell eine Substitution kommen wird, dass die Anlagen dann größer gemacht werden. Also da muss man nur etwas Geduld haben.

(5) Welche Mängel treten Ihrer Erfahrung nach häufig in der Praxis auf?

In der Regel sind das eben, am Kollektor die Vogel und Maderfraß, macht schon einiges kaputt. UV-Licht natürlich auch. Fühlerkabel, Dämmung gehen kaputt und müssen ersetzt werden. Das führt in der Regel auch schnell dann zu einem Ausfall. Wird jedoch auch alles am Regler angezeigt, also ist letztendlich unproblematisch.

(6) Kann es passieren, dass der Kollektorfühler dann falsche Temperaturen misst?

Ja, das gibt es auch. Also wenn man z.B. falsche Kabelverbinder verwendet. Die Kollektorfühler müssen ja verlängert werden und wenn dort eben der Widerstand zu hoch wird, dann zeigen sie eben auch falsche Werte an. Also bei Fremdanlagen habe ich dann eher das Problem, dass falsche Fühler eingesetzt wurden. Also da ist ein Fühler ausgefallen, aufgrund eben Maderschaden und dann wurde ein falscher Fühler eingesetzt, und der zeigt dann eben die falschen Werte an. Da gibt es schon viele unterschiedliche Typen. Aber man nimmt im Prinzip deswegen beim Kollektorfühler einen PTC. Das bedeutet positiver Temperatur Koeffizient. Also wenn der Widerstandswert höher wird, dann wird auch der Temperaturwert höher. Das heißt die Anlage läuft eigentlich zu früh an, aber das ist weniger schädlich, als wenn sie zu spät anläuft. Weil ich ja sehr schnell in das Dampfereignis gelange, das ist dann das Hauptproblem. Wenn der Kollektor in Dampf geht, also in Stagnation, dann ist in der Regel der Tag eben gelaufen. Das heißt die Pumpe schafft es nicht den Kollektor wieder abzukühlen und den Durchfluss wieder zum Laufen zu bringen. Und da kann es eben verschiedene Stufen geben, wie sowas entstehen kann. Die eine ist ein zu später Start, Teilverschattung, so dass der Kollektor einfach zu schnell die Sonne sieht und die Pumpe nicht drauf reagieren kann. Ein Giebel zum Beispiel oder ein einzelner solitärer Baum, der dann plötzlich den Kollektor frei gibt. Dies führt oft zu Schwierigkeiten, kann man aber eben in der Planung berücksichtigen. Hauptproblem ist eigentlich eher, dass wir Luft im Kollektorkreis haben, der sich dann an der höchsten Stelle sammelt, bzw. an der Stelle wo es wieder nach unten geht zum Wärmetauscher, weil die Luft durch den eigenen Auftrieb eben dort oben hängen bleibt, bzw. wenn die Pumpe stillsteht, wieder nach oben perlt und das Spiel eben jedes Mal vom Neuen anfängt. Das führt dann oft dazu, dass der Kollektor zu heiß wird und in Dampf gerät. Wenn das dann ein Kollektor ist mit Glykol und sehr guter Effizienz, dann wird in der Regel eben auch das Glykol zerstört. Also Stück für Stück wird das Glykol gecrackt und wird zu einer Säure. Der PH-Wert verändert sich, wir haben Korrosion im Metall und im Kollektor und wir können Ausflockungen haben, das heißt die Korrosionsinhibitoren, die beim Glykol immer dabei sein müssen, weil Glykol korrosiv ist, die können sich dann zersetzen. Und in der Regel Kunststoffe, die können sich dann zersetzen und dann Komplexe bilden, die dann den Durchfluss auch wieder behindern. Also für mich waren das viele leidvolle Erfahrungen. Aus denen habe ich zwei Entschlüsse gezogen, die ich jetzt aber auch wieder revidiere. Hocheffiziente Röhrenkollektoren wollte ich eigentlich nur noch mit Wasser fahren. Firma X hat sich das dann von uns aufgegriffen und dann auch zum eigenen Produkt gemacht. Wir hatten damit aber schon zuvor angefangen. Hat jedoch den Nachteil, dass die Kundschaft immer „Up to date“ sein muss. Das heißt, die Anlagen sind tatsächlich nicht mehr eigensicher. Aber eine Anlage mit einem hocheffizienten Röhrenkollektor und Glykol, ist eben auch nicht eigensicher, die geht auch kaputt. Es ist nur offensichtlicher, also wenn der Druck abfällt, dann ist klar, da ist jetzt etwas geplatzt und wenn das Glykol crackt und verstopft dann merkt das keiner. Also die Pumpe läuft ja weiter und man bekommt nichts mit, weil es eben verstopft ist. Aus diesem Grund haben wir da seit zwei Jahren eben auch eine Lösung gefunden. Wir sind dabei die Kollektoren abschaltbar zu machen. Ein Kollektor, Heatpipe, die wird einfach nicht heißer als 110 °C. Ich habe dadurch kein Dampf mehr und kein Cracking vom Glykol. Dann kann ich Glykol auch wieder verwenden. Weil es eben stabil bleibt und ich es nicht mehr auswechseln muss. Und damit habe ich dann auch eine ganz andere Grundlage für die Komponenten, die ich einsetzen muss. Also es wird nicht mehr so heiß und ich muss nicht mehr mit 180°C auf die Kollektorleitung rechnen. Es reichen 110°C. Ich kann anderen Dämmung und Dichtungen verwenden. Das Ausdehnungsgefäß kann ich kleiner auslegen. Ich benötige kein Vorschaltgefäß.

(7) Seit wann setzen sie die genau ein?

Seit 2 Jahren. Es ist genial. Ich kann bei voller Sonnenstrahlung die Anlage befüllen und in Betrieb nehmen. Das wäre ansonsten undenkbar. Reine Wasseranlagen gehen in Dampf, da muss ich diese erstmal mit hohem Wasserverbrauch abkühlen. Die zweite Erkenntnis die ich gemacht habe ist, wenn die Anlagen größer werden muss ich verstärkt auf die Hydraulik achten und auf das Kollektorfeld. Und zwar weil wir dann immer parallel durchströmte Teile haben. Entweder ist der Kollektor schon mit parallel durchströmten Teilen aufgebaut oder ich habe eben mehrere Felder, die ich parallel durchströme. Und mit Glykol kann ich meiner Meinung nach, einige sind da anderer Meinung, nicht mit einem hydraulischen Abgleich arbeiten. Weil die Viskosität von Glykol bei kalten Zustand deutlich anders ist, als bei heißem Zustand. Bei heißen Temperaturen ist es wie Wasser, bei kalten eher wie Zuckerwasser. Dann ist es zäh und eine Abgleichung ist dann im Prinzip nachteilig. Bei Teilverschattung kann ich eigentlich sicher sein, dass ein Teil des Kollektors in Dampf geht. Darauf muss man sehr drauf achten und den Kollektor dann lieber kleiner machen, also die Kollektorfläche.

(8) Von welcher Größe sprechen wir ungefähr?

20 Quadratmeter sind die größte Größe, die ich in einem Stück machen kann. Aber auch da sind im Kollektor selbst parallele Abschnitte. Das kann man sich ja leicht vorstellen. Ich habe ja immer eine Temperaturerhöhung, von Rücklauf zu Vorlauf, wenn ich das zu lange mache, wird auch die Temperaturdifferenz zu groß. Dann habe ich 30 Kelvin Differenz, das heißt wenn mein Speicher 60 Grad hat, kommt es mit 90 runter. Das funktioniert dann schnell nicht mehr. Ich komme dann sehr schnell an die 100 Grad Marke und dann gibt es eben diese Stagnationsgefahr. Deshalb versucht man eben die Temperaturdifferenz möglichst eng beieinander zu machen. Das geht nur, indem man parallele Teile hat. Hier hat man aber auch das Problem, das man überall gleichmäßig Flüssigkeit durchschieben muss. Das ist eine große Herausforderung. Man kann Anlagen nach Tichelmann auslegen. Das heißt, dass der Vorlauf- und Rücklaufweg, gleich sein muss zu allen parallel durchströmten Teilen im Kollektor. Bei den Heizungsanlagen macht man es anders, da gibt es an jedem Thermostatventil eben eine Einstellmöglichkeit, so dass immer entsprechend viel Wasser durchläuft, wie ich auch für die Temperaturerhöhung oder Absenkung benötige. Aber beim Kollektor habe ich eben die unterschiedliche Viskosität zwischen kalt und warm. Deshalb funktioniert so eine mechanische Drosselung nicht. Die funktioniert nur zu einer bestimmten Temperatur. Wie möchte ich die einstellen? Dann warte ich als Installateur bis der Kollektor 80 Grad hat und dann kann ich eindrosseln? Oder ich drossel bei 20 Grad und bei 80 Grad ist es völlig egal was ich da gedrosselt habe. Das haut nicht hin. Deshalb möglichst ohne Drosseln arbeiten und das System, das Netz, es eben selbst machen lassen. Die Netzwidestände müssen gleich sein zwischen allen Kollektoren. Und bei Flachdächern ist das aufwändig und nicht immer herzustellen. Da haben wir in der Hafencity eben einige Anlagen, die wir nacharbeiten müssen. Der Betreiber geht dann auch her und baut ab. Da wird die Kollektorfläche auch reduziert. Weil es nur Ärger macht.

Also, das ist ähnlich wie bei der Luft im System. Die Luft reduziert ja meinen Durchfluss. Und die kann bei einer Kollektoranlage die aus mehreren Parallelen besteht, kann das auch in nur einem Feld passieren. Dann habe ich also 2 die sehr gut durchströmt sind, bei den alles wunderbar läuft wie ich das haben möchte, aber ein Kollektor arbeitet nicht. Da hat sich die Luft gesammelt und er arbeitet nicht. Er geht in Dampf, Stagnation, zerstörtes Glykol, aber ich merke es gar nicht weil unten kommt sozusagen alles normal an. Die Leistung ist aber um ein Drittel kleiner. In dem Fall. Das bedeutet ein Teil des Kollektor fällt aus. Und das beim Monitoring herauszufinden ist extrem aufwändig. Das machen wir über einen spezifischen Ertrag. Wir teilen den Tagesertrag durch die Quadratmeter Kollektorfläche. Und an diesem spezifischen Ertrag können wir sehen, da läuft was nicht. Natürlich könnte man in einer

Simulation jetzt sagen, mein Feld besteht aus 5 Teilen und ein Feld geht weg. Dann habe ich nur noch 4. Also 80 Prozent.

(9) Welche von diesen Mängeln haben Ihrer Meinung nach einen großen Einfluss auf den Ertrag?

Das sind genau drei ertragsentscheidende Punkte bei der Planung solarthermischer Anlagen. Einfache Hydraulik, möglichst keine Drosseln, sondern selbst regulierende Hydraulik und Kollektoren die sich abschalten. Es gibt auch Kollektoren die sich verdunkeln. Also bisher haben wir nur nach Effizienz ausgesucht. Mir geht es eigentlich mehr darum, was mache ich zum Beispiel in der Urlaubszeit. Meiner Meinung nach hat deswegen die Solarthermie auch einen kleinen Dämpfer bekommen. Es ging immer nur um die Effizienz. Und nicht um die Nutzbarkeit. Also Überdimensionierung ist bei unseren Kollektoren gar kein Thema mehr. Unterdimensionierung eben schon, wenn der Kunde genervt ist, wenn da nicht so viel runterkommt und nachgeheizt wird, im Sommer.

(10) Was sind Ihrer Meinung nach wichtige ertragsentscheidende Punkte bei der Planung und Installation von solarthermischen Anlagen?

Also man kann sehr viele Fehler machen in der Dimensionierung. Wenn die Anlagen nicht damit umgehen können wenn die zu heiß werden. Es ist ärgerlich, wenn da zu viel auf dem Dach ist. Also im letzten Sommer war dies ein großer Nachteil. Ich konnte die Anlagen nicht pflegen. Es gab keine Zeitfenster in dem ich genügend lange an der Anlage sein kann, ohne dass die Sonne scheint. Wenn morgens schon die Sonne scheint, ich kann nicht um 4 Uhr schon an der Anlage sein.

(11) Welche Fehler werden Ihrer Kenntnis nach heute noch immer gemacht, welche sind eher selten?

Also Wärmemengenzähler sind ja Pflicht. Schon länger seit der Förderung. Aber das interessiert den Kunden nicht. Und eine zweite Geschichte ist, die Wärme im Glykolkreis zu messen, aufgrund der unterschiedlichen Viskosität, eigentlich nicht machbar ist. Ich muss dann festlegen, in welchem Temperaturbereich die Anlage läuft, oder zählen soll. Das ist ja auch nur ein mechanisches Teil, was angetrieben wird. Und das ist abhängig von der Dichte, und diese ändert sich eben durch die Temperatur. Das ist halt der Nachteil einer Glykolanlage. Bei einer reinen Wasseranlage arbeite ich wunderbar mit einem Wärmemengenzähler. Bei großen Anlagen, noch wichtiger als der Wärmemengenzähler finde ich, das Monitoring. Das bauen wir immer ein. Weil die Anlage auch nur Teile an Wärme bringt und der Rest wird ja von der Nachheizung gestellt, dann merkt man eben nicht wenn eine Anlage weniger bringt oder ausfällt. Wir haben einen Datakollekt entwickelt, der dann aus der Anlage eine E-Mail versendet und den Tagesertrag versendet.

Ich glaube die Unternehmen die heute noch Solarthermie machen, die wissen was sie machen. Die anderen trauen sich nicht mehr dran. Das finde ich schade, wir brauchen mehr Player, damit wir das hinbekomme, was wir vorhaben. Aber vielleicht bekommen wir dadurch einen besseren Standard hin. Also das größte Problem ist glaube ich, Heizungskomponenten in der Solaranlage einzubauen. Das funktioniert nicht. Es funktioniert aber eben auch nicht, eine Anlage so von der Industrie zu kaufen und aufs Dach zu setzen.

Vielen Dank Herr Gundert, für Ihre Zeit und das informationsreiche Gespräch

Anhang 2:

Tabelle 1: EnEV 2014

Wärmedämmung von Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen, Kälteverteilungs- und Kaltwasserleitungen sowie Armaturen

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 den Zeilen 1 bis 4 in Wand- und Deckendurchbrüchen, im Kreuzungsbereich von Leitungen, an Leitungsverbindungsstellen, bei zentralen Leitungsnetzverteilern	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
7	Leitungen nach Zeile 6 im Fußbodenaufbau	6 mm
8	Kälteverteilungs- und Kaltwasserleitungen sowie Armaturen von Raumluftechnik- und Klimakältesystemen	6 mm

(EnEV-online, 2013)