

Stahrsolar – effizienter mehr ernten

Alexander Stahr

Am Mühlberg 4, 09123 Chemnitz

Tel. +49 37209 / 69 14 87: , Fax: +49 37209 / 50 38 55

Alexander@Stahr.engineer

1. Einleitung

Das Ziel von Stahrsolar ist es, Ansätze zur Steigerung der Attraktivität von kleineren Solaranlagen darzustellen und sie auf deren Potenzial, technische Machbarkeit und Marktakzeptanz zu untersuchen.

Bei der Planung wurde daher auf einen für viele Endkunden vorteilhaften Kompromiss zwischen den drei marktrelevanten Grundelementen Wirtschaftlichkeit, Umweltverträglichkeit und Ästhetik abgezielt.

So wurde die Installation des Kollektors an der Fassade als besonders vorteilhaft eingestuft. Dies lag neben den zu erwartenden höheren Erträgen in der Heizsaison und dem geringeren Trend zur Stagnation im Sommer an der Möglichkeit, einen Reflektor wirksam platzieren zu können sowie die Hausansicht ansprechend ästhetisch aufzuwerten.

Auf chemische Frostschutzmittel sollte aus ökologischen und ökonomischen Gründen verzichtet werden. Der Aufwand für Herstellung, Betrieb und Entsorgung von beispielsweise Glykol als Trägermedium verschlechtert den gesamten ökologischen Fußabdruck einer Solarthermieanlage drastisch. Die Verwendung von reinem Wasser mit direkter Anbindung an das Heizungssystem wird für eine wachsende Kundengruppe als wichtiges Merkmal einer modernen Solaranlage eingestuft.

Desweiteren wurde geprüft, inwieweit Erkenntnisse und Ansätze aus der Forschung und Entwicklung der Automobilindustrie in der Solarbranche Anwendung finden können. Auch hier bestand eine Herausforderung darin, das technisch Machbare mit dem für den Kunden Vorteilhaften in Einklang zu bringen.

Stahrsolar wurde bereits einem breiten Kundenspektrum vorgestellt und von diesem als sehr ansprechend empfunden.

Im Folgenden werden die drei technischen Säulen von Stahrsolar vorgestellt.

2. Das Kollektor- Temperatur- Modell

2.1. Kollektortemperaturen

Standardmäßig wird der thermische Zustand des Kollektors über mindestens zwei gemessene Temperaturen beschrieben – die des Mediums beim Eintritt und die beim Verlassen des Kollektors.

Wenn das Medium ruht, liefern diese Werte lediglich Temperaturinformationen an den jeweiligen Messstellen. Das Auftreten von größeren lokalen Abweichungen innerhalb des Kollektors kann nicht ermittelt werden.

Erst bei ausreichend hoher Strömungsgeschwindigkeit des Trägermediums wird speziell der Wert der Austrittstemperatur für den gesamten Kollektor repräsentativ und als globale Information von der Steuerung effektiv auswertbar.

2.2. Motivation Solarstart

Der Übergang aus der Ruhephase in den Solarbetrieb – der sogenannte Solarstart – wird konventionell auf zwei Wegen erreicht:

a) Auswertung der freien Konvektion

Das erwärmte Trägermedium steigt auf und gelangt idealer Weise an die Messstellen für den Kollektorausritt. Die Steuerung wertet den Betrag und/oder die Änderungsgeschwindigkeit der Temperatur aus und aktiviert entsprechend von abgelegten Schwellwerten die Solarpumpe.

b) Willkürlich erzwungene Konvektion

Über Steuerparameter – zum Beispiel die Tageszeit oder der Sonnenstand – wird für eine kurze Zeit die Solarpumpe aktiviert. Steigt in dieser sogenannten Spülzeit die gemessene Austrittstemperatur über einen Sollwert, so bleibt die Solarpumpe aktiv. Anderenfalls wird sie deaktiviert. Es folgt eine Wartephase, nach welcher der Spülvorgang wiederholt wird.

Ob eine Solarernte möglich ist, kann von der Steuerung bei beiden Ansätzen erst nach einer hinreichend langen Spülzeit mit ausreichend hoher Austrittstemperatur bewertet werden.

Das Stahrsolahr- Kollektor- Temperatur- Modell hat die Aufgabe, den aktuellen thermischen Zustand des gesamten Kollektors in Form eines repräsentativen, global gültigen Temperaturwertes auch bei ruhendem Medium exakt zu beschreiben. Auf dessen Basis soll die Steuerung den korrekten Zeitpunkt für den Beginn der Solarernte bestimmen können.

2.3. Motivation Frostschutz bei reinem Wasser als Trägermedium

Die Vorteile reinen Wassers gegenüber beispielsweise einem Glykolegemisch sind vielfältig:

- Die niedrigere Viskosität senkt den Strömungswiderstand und somit den Bedarf an elektrischer Pumpenergie.
- Die höhere Wärmekapazität führt bei gleichem Wärmeeintrag – gleicher Solarstrahlung – zu einer niedrigeren Temperatur und somit niedrigeren thermischen Verlusten.
- Die Verwendung von Heizungswasser auch im Kollektor macht einen Wärmetauscher sowie die parallel betriebene Pumpe für das Glykolgemisch überflüssig. Das System wird in Herstellung, Betrieb und Entsorgung einfacher und günstiger.
- Glykol ist ein chemisches Produkt, welches in Abhängigkeit von den herrschenden Bedingungen wie Temperatur, Sauerstoffgehalt und Druck altert und daher gewartet – sprich: ersetzt werden muss. Wasser unterliegt keiner Alterung und ist somit wartungsfrei. Es entstehen keine weiteren Kosten.
- Die Herstellung und Entsorgung von Glykol ist industriell aufwändig. Reines Wasser ist eine stabile natürliche Verbindung und durch einfache Filtersysteme zu gewinnen. Dessen ökologischer Saldo ist somit bereits ab der Inbetriebnahme einer entsprechenden Solaranlage deutlich höher.

Diesen Vorteilen steht das Gefrieren des Wassers bei Temperaturen unterhalb von 0°C als erheblicher Nachteil entgegen:

- Das Anlagern von Eiskristallen an der Leitungsoberfläche führt zu einer Verengung des Leitungsquerschnittes bis hin zum kompletten Verschluss der Leitung. Die Strömung kommt zum Erliegen, wodurch die Vereisung beschleunigt wird.
- Das spezifische Volumen von Wasser steigt bei sinkender Temperatur. Mit Eis verschlossene Leitungen werden mit sinkender Temperatur einem steigenden inneren Druck ausgesetzt. Dieser kann zum Bersten der Leitung und somit zum Totalausfall der Anlage führen. Speziell Kollektoren auf Basis eines Rohr – in – Rohr- Prinzips weisen sehr geringe Strömungsquerschnitte und somit eine hohe Neigung zum Rohrbruch auf.

Um diesen Nachteilen entgegenzuwirken gibt es aktuell zwei Lösungsansätze. Bei Frostgefahr wird das Wasser

- a) durch Luft ersetzt – der Kollektor wird entleert
- b) ständig in Bewegung und durch Zufuhr von Wärme oberhalb der Gefrieretemperatur gehalten.

Auf Basis des Stahrsolahr- Modellwertes soll die Steuerung den spätesten sicheren Zeitpunkt zum Austausch des kalten durch wärmeres Wassers ermitteln. Dadurch soll eine minimale Kollektortemperatur sowie minimale Pumpzeiten gewährleistet

werden. Der Ansatz b) wird in Bezug auf eingesetzte Wärme und Hilfsenergie deutlich optimiert.

2.4. Modellansatz

Wenn die Steuerung den Solarbetrieb aufgrund geringer Strahlung der untergehenden Sonne beendet hat, stellt das Modell weiterhin einen Temperaturwert zur Verfügung.

Unterschreitet die modellierte Temperatur eine Schwelle – beispielsweise 4°C – so werden von der Steuerung Frostschutzmaßnahmen eingeleitet.

Mit aufgehender Sonne führt die steigende Solarstrahlung zu einer steigenden modellierten Temperatur. Überschreitet diese einen Schwellwert – zum Beispiel die aktuelle Temperatur des Heizungsrücklaufes – um beispielsweise 2K , wird das von der Steuerung als ausreichende Strahlung für die Solarernte interpretiert. Der Solarbetrieb startet.

2.5. Modellprinzip

Bei der Modellierung der Kollektortemperatur kommt das Prinzip der Wärmebilanz zum Einsatz. Dabei ergibt sich die aktuelle Wärme eines Systems aus der Summe der Startwärmemenge sowie sämtlicher zu- und abfließender Teilwärmemengen. Dieser Ansatz hat sich unter anderem in der Automobilindustrie mehrfach bewährt. So wird er beispielsweise zur Bestimmung der Temperaturen in der Kupplung oder von Flüssigkeiten und Gase im Verbrennungsmotor angewendet.

Beim Stahrsolar- Temperaturmodell wird die Wärmezufuhr Q_{zu} in den Kollektor mittels einer polynomischen Formel mit festen und variablen Koeffizienten sowie dem Messwert eines Sensors für die Solarstrahlung ermittelt.

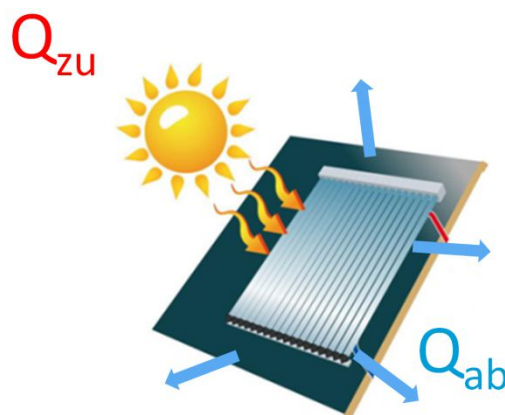


Bild 1: Prinzip Wärmebilanz eines Solarkollektors

Ein zweiter Wärmestrom entsteht über die Differenz aus der aktuellen (modellierten) Kollektortemperatur und der Umgebungstemperatur. Da diese Temperaturdifferenz meist ein negatives Vorzeichen hat, führt diese primär zur Absenkung der modellierten Temperatur und wird daher im Weiteren Wärmeabfuhr Q_{ab} bzw. Wärmeaustrag genannt. Dessen Betrag wird ebenfalls mittels einer polynomischen Formel jedoch mit eigenen festen und variablen Koeffizienten bestimmt.

Beide Wärmeströme werden in Temperaturänderungen umgewandelt und zu der aktuellen Temperatur addiert. Alle Temperaturwerte haben eine Auflösung von 0,1K, Diese Berechnungen erfolgen in einem Abstand von einer Minute, wodurch werden der Steuerung pro Stunde 60 aktuelle Modellwerte zur Verfügung gestellt.

Die festen Koeffizienten fassen sämtliche physikalische und konstruktive Eigenschaften der Solaranlage zusammen. Dazu gehören beispielsweise die Kollektorfläche, die Kollektorart, die Wärmekapazität des Trägermediums, Leitungslängen und der Wärmeübergang der Leitungsdämmung. Diese Koeffizienten werden zur Inbetriebnahme ermittelt und in der Steuerung abgelegt.

Die variablen Anteile dienen der Erfassung von Unschärfen bei der Ermittlung der festen Koeffizienten sowie von exemplarischen Besonderheiten – wie zum Beispiel Verschmutzung – der jeweiligen Solaranlage und werden von der Steuerung automatisch ermittelt. Wenn der sogenannte Adaptionsvorgang abgeschlossen ist, liegt die Abweichung zwischen der modellierten und der gemessenen Temperatur unter 0,5K. Dadurch ist das Modell in der Lage, für jedes Exemplar Kollektor bzw. Solaranlage eine korrekt modellierte Temperatur bereitzustellen.

Bei aktiver Solarpumpe wird der Wärmeeintrag ermittelt und der Steuerung der Solarpumpe übergeben (siehe 4.2.1 Überhitzung).

2.6. Wirkung des Modells

Das Modell dient zum einen der exakten Aktivierung von Frostschutzmaßnahmen. Um diese effizient ergreifen zu können, wurde parallel zu Solarpumpe und Kollektor eine zweite – sekundäre – Pumpe installiert. Diese kann relativ klein dimensioniert sein, da sich ein geschlossener Zirkulationskreis mit minimalen Pumpverlusten bildet. Die Strömungsrichtung ist der Solarpumpe entgegengesetzt, da sich bei Abkühlung durch frostige Außentemperaturen auch die Richtung der zu unterstützenden freien Konvektion umkehrt.

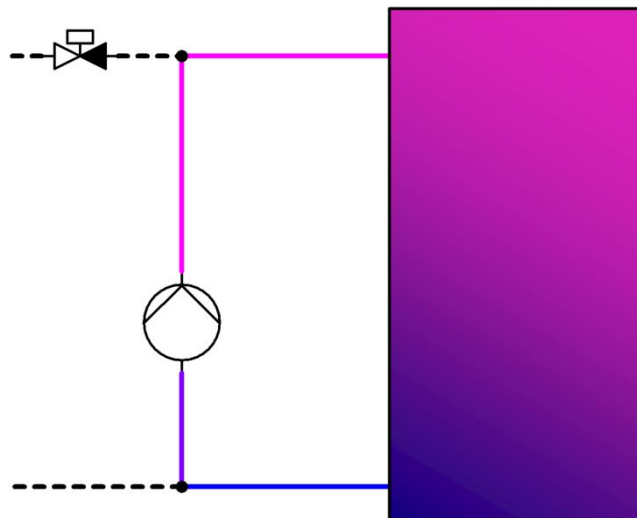


Bild 2: Sekundäre Pumpe mit Kollektor

Unterschreitet die modellierte Kollektortemperatur eine abgelegte Frostschutztemperatur – beispielsweise 4°C – so wird die sekundäre Pumpe aktiviert. Dabei wird das im unteren Teil des Kollektors befindliche kalte Wasser ins Gebäude befördert. Gleichzeitig strömt im Gebäude befindliches wärmeres Leitungswasser in den Kollektor. Die sekundäre Pumpe wird abgeschaltet, wenn die Austrittstemperatur nicht mehr steigt. Nun folgt erneut eine Stillstandsphase. Diese wird beendet, wenn die modellierte Kollektortemperatur erneut den oben genannten Schwellwert unterschreitet und die sekundäre Pumpe aktiviert wird.

Dieser Prozess wird so lange wiederholt, bis die steigende Solarstrahlung zu einer ausreichend hohen modellierten Temperatur führt oder ein Abschalten der sekundären Pumpe zu einer deutlichen Unterschreitung der Frostschutztemperatur führen würde. Auf diese Weise wird bei der vorgestellten Anlage der Frostschutz bis zu einer Außentemperatur von ca. -5°C gewährleistet.

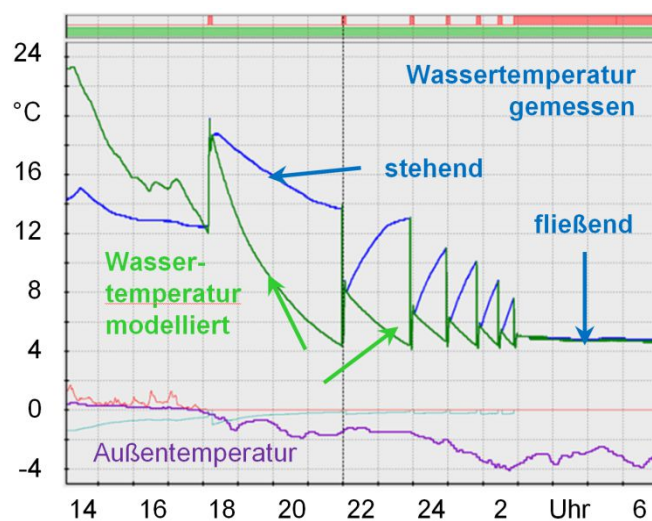
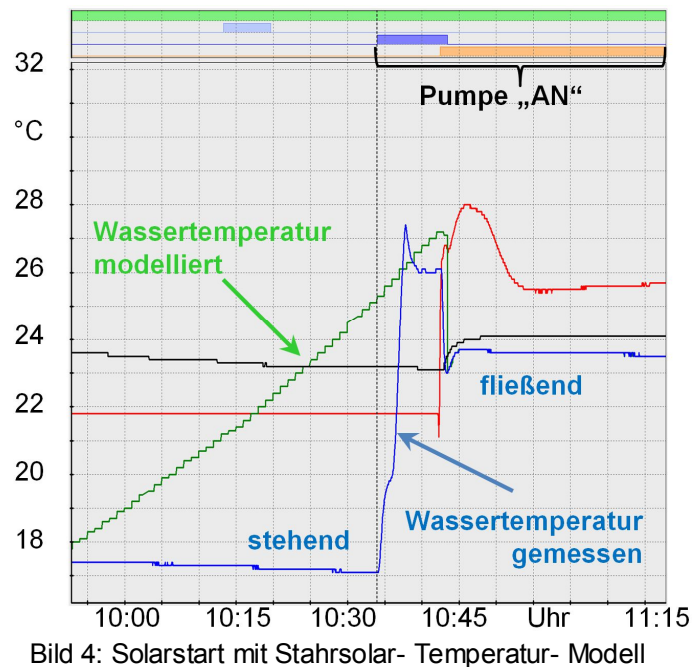


Bild 3: Frostschutz mit Stahrsolar- Temperatur- Modell

Weiterführende Frostschutzmaßnahmen werden im Punkt 4 beschrieben.

Erst wenn der Wärmezufuhr größer ist als der Wärmeabtrag, steigt die (modellierte) Kollektortemperatur.

Erreicht die modellierte Temperatur den Sollwert, beginnt die Solarernte.



Besonders an kalten Wintertagen ist das Gleichgewicht zwischen den beiden Wärmeströmen erst bei relativ starker Solarstrahlung überwunden. Meist genügt die Solarstrahlung jedoch für Frostfreiheit bei Tageslicht. Solare Ernte bedarf bei starkem Frost längerer sonniger Phasen. Dies resultiert aus dem hohen Wärmeabtrag aufgrund der sehr niedrigen Außentemperatur und der heizungsbedingt hohen Solltemperatur.

2.7. Absicherung gegen Spannungsausfall

Die Funktionen des Modells und der sekundären Pumpe müssen auch bei Ausfall der Netzspannung gewährleistet sein. Daher wurden diese über eine unabhängige Spannungsversorgung (USV) abgesichert. Die Kapazität wurde auf eine maximale Leistung von 10W über eine Ausfallzeit von 10h ausgelegt.

Auftretende Netzausfälle hatten dadurch keinerlei einschränkende Wirkung auf die modellierte Kollektortemperatur sowie den Betrieb der sekundären Pumpe.

2.8. Wirtschaftlichkeit

Um die Modellierung der Kollektortemperatur in bestehende Anlagen zu integrieren, bedarf es lediglich einer Änderung der Software sowie eines Sensors für die Solarstrahlung. Der Betrieb der Anlage bleibt während der Installation unbeeinflusst.

Der Nutzen stellt sich abhängig von der zu optimierenden Anlage und den herrschenden Strahlungsverhältnissen umgehend ein. Die Investition kann sich somit bereits innerhalb eines Jahres amortisieren.

2.9. Zusammenfassung und Ausblick

Das Temperaturmodell ist seit 2017 erfolgreich im Einsatz.

In einem Bereich der Außentemperatur von -30 bis $+38^{\circ}\text{C}$ blieb die Abweichung zwischen modellierter und gemessener Kollektortemperatur unter $0,5\text{K}$.

Somit wurde für den Modellansatz als auch für die Selbstoptimierung der Funktionsnachweis erbracht und mehrjährig erprobt.

Ein sicherer und effizienter Frostschutz für den mit Wasser befüllten Kollektor war somit stets gegeben.

2021 wurde das Modell zur Optimierung des Solarstarts in die Steuerung einer konventionellen Solaranlage mit Flachkollektoren und Glykolgemisch aufgenommen.

Der Betreiber hat einen deutlichen Unterschied festgestellt: die Anlage erntet nun auch an Tagen mit diffuser bzw. geringer Strahlung. Er ist begeistert.

Die Robustheit des Modellansatzes und die Reproduzierbarkeit der hohen Modellgüte aufgrund der Selbstoptimierung ermöglichen es, weiterführende Schritte einzuleiten. So wird es ähnlich dem Automobil möglich sein, eine Reihe von Diagnosen für die Solaranlage zu erstellen. Auf deren Basis wird der Betreiber stets über den aktuellen Zustand informiert sein bzw. auf notwendige Wartungs- oder Reparaturarbeiten seiner Anlage(n) aufmerksam gemacht werden.

3. Der variable Reflektor

3.1. Motivation

Gerade in urbanen Gebieten besteht für erneuerbare Energien ein sehr nachteiliger, schier unlösbarer Widerspruch: der Energiebedarf ist sehr hoch – die für Neuinstallationen verfügbare Fläche ist jedoch sehr klein. Die Preise für verfügbare Flächen machen eine reine Nutzung zur Energiegewinnung oft unwirtschaftlich.

Eine Möglichkeit, vorhandene bebaute Flächen sehr effektiv zu nutzen, ist die Montage des Kollektors an der Fassade sowie die Platzierung eines Reflektors unterhalb dieses Kollektors.

Bereits eine starre Reflektionsfläche brachte bei der hier beschriebenen Pilotanlage eine Steigerung des Solarertrages um ca. 15%. Leider war diese Installation weder windlastsicher noch witterungsbeständig.

Das Ziel des Stahrsolar- Reflektors war eine:

- kostengünstige Variante mit
- hoher ganzjährig Verfügbarkeit
- Selbstschutz
- Selbstreinigung und
- signifikant Ertragssteigerung durch optimale Positionierung der Reflektionsfläche entsprechend des aktuellen Sonnenstandes

3.2. Die Technologie

Als Basis für die Entwicklung und Herstellung des Prototyps wurde die Markisentechnologie gewählt, da sie folgende vorteilhaften Eigenschaften besitzt:

- Bewährtes Produkt mit langjähriger Marktreife
- Motorisiertes Einrollen als bewährte Schutzmaßnahme vor Windlast und Verwitterung
- Geringer Flächenbedarf für die Montage
- Betrieb meist ohne zusätzliche Flächennutzungskosten möglich
- Bei geschickter Platzierung ist sekundärer Nutzeffekt (Verschattung) möglich
- Markisentuch und Tragwerk bieten ausreichend Flexibilität, um die aufgespannte Oberfläche entsprechend dem Sonnenstand zu formen und zu positionieren
- Masse der Gesamtkonstruktion erfordert relativ geringe Trag- und Verstellkräfte. Dies ermöglicht einen kompakten und kostengünstigen Antrieb für die Formung und Positionierung der aufgespannten Fläche

Die Tuchoberseite wurde mit 0,05mm Aluminium beschichtet. Damit wurde der Reflektionsgrad des Markisentuches auf >91% erhöht.

Die Formung und Positionierung der aufgespannten Tuchoberfläche erfolgt durch zwei unabhängig steuerbare Antriebskonsolen. Diese sind jeweils auf Höhe der beiden Gelenkarme mit der Markise verbunden.

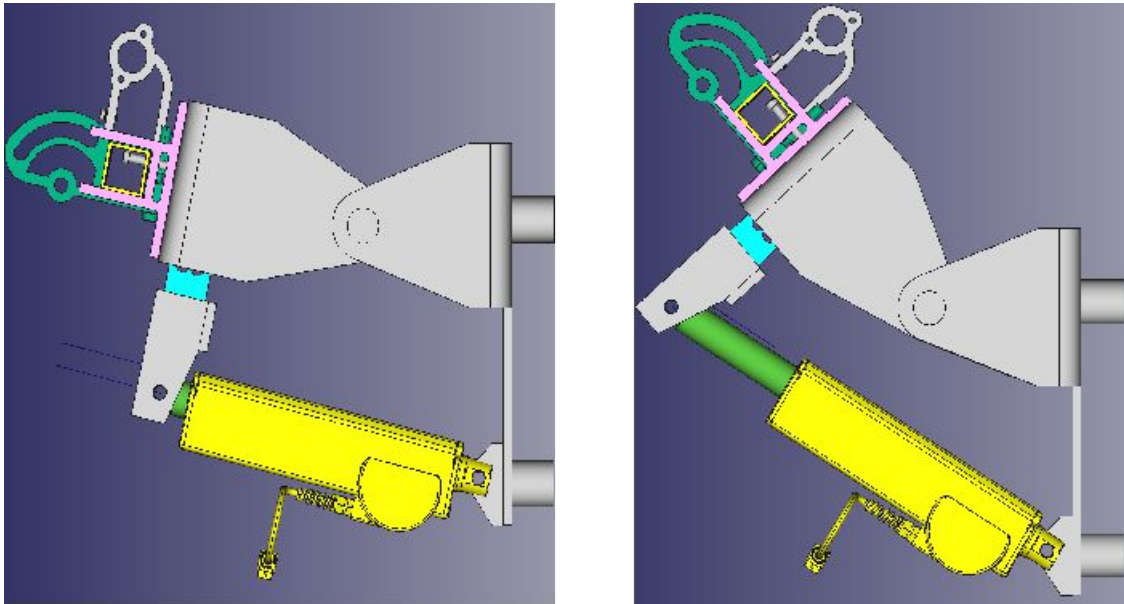


Bild 5: Antriebskonsolen mit minimaler und maximaler Verstellung

Um den Azimut der Sonne zu kompensieren, werden beide Antriebe gleich angesteuert. Dadurch wird die Neigung geändert. Entsprechend der Sonnenrichtung erfolgt ein Schrägen der Reflektorfläche. Dabei wird der Tragarm abgesenkt, welcher der Sonne zugewandt ist.



Bild 6: Stahrsolar – Kollektor mit positioniertem Reflektor

3.3. Betrieb und Wartung

Die Markisentechnik ist nahezu unverändert und daher entsprechend sämtlicher Marktprodukte wartungsfrei.

Die Komponenten der Antriebskonsolen wurden ebenfalls wartungsfrei ausgelegt.

Zum Schutz der Konstruktion vor Schäden aufgrund zu hoher Windlast wird der Reflektor bei Windböen über 3m/s abgesenkt und die Spannleiste auf dem Boden abgelegt. Erst bei zu starker Böigkeit bzw. bei hoher Windstärke wird der Reflektor eingefahren.

Zum Schutz vor Verwitterung wird der Reflektor bei Regen(gefahr) sowie bei Sonnenuntergang eingefahren.

Beim Einfahren führt das Wickeln des Tuches zu minimalen Relativbewegungen zwischen den einzelnen Tuchlagen. Dabei reibt die glatte und beschichtete Oberfläche des Tuches an der rauen Unterseite der darüber befindlichen Lage. Dies führt zum Abrieb von Schmutzteilchen. Die Reflektoroberfläche ist somit selbstreinigend und wartungsfrei.

Sobald am nächsten Morgen die Sonne einen in der Steuerung abgelegten Azimut erreicht hat, die Solarstrahlung genügt und die Windgeschwindigkeit unter einem Sicherheitswert liegt, wird der Reflektor ausgefahren und positioniert.

3.4. Ergebnisse

Wenn die Sonne hinter der Kollektorebene steht, ermöglicht der Reflektor das Reflektieren von Solarstrahlung auf den verschatteten Kollektor. Dadurch wurde der Solarstart um bis zu 2Stunden früher möglich.

Bei Sonnenhöchststand konnte die Leistung des Kollektors um ca. 30% gesteigert werden. Dies lag primär an der Kompensation der Verschattung des Kollektors durch den Dachüberstand.

Die bodennahe Installation des Reflektors führte zu einem eingeschränkten Neigungswinkel. Dadurch konnte bei Sonnenständen nahe der Lotrechten zur Kollektorebene nur ein Teilpotenzial genutzt werden.

Im Jahresmittel wurde eine Steigerung des solaren Ertrages um 50% erreicht.

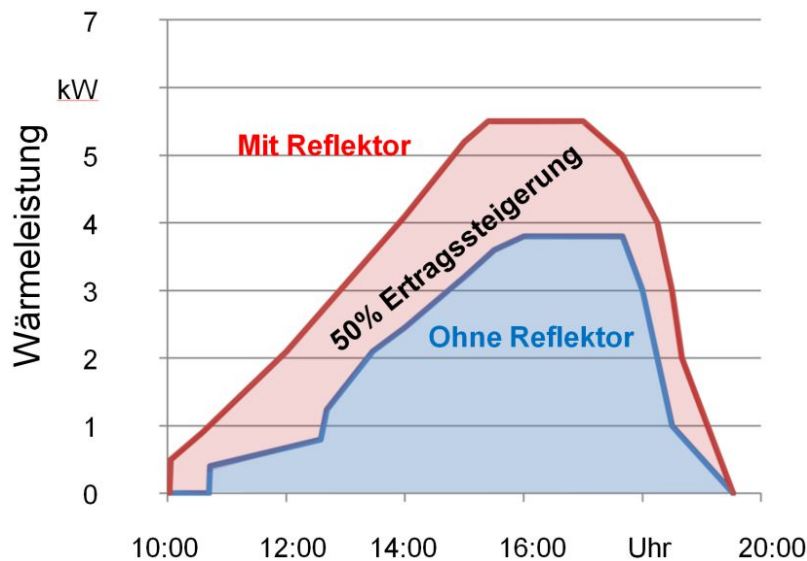


Bild 7: Ertragsvergleich mit/ohne Reflektor

3.5. Wirtschaftlichkeit

Eine konkrete Prognose über erzielbare Renditen ist aktuell nicht möglich. Die größten Unschärfen liegen aktuell in der industriellen Beschichtung des Tuches sowie der Industrialisierung der Konsolenfertigung.

Aus heutiger Sicht sollte beim Kunden ein Reflektorpreis von ca. 300€/m² zu erzielen sein.

Beim Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) wurde die Aufnahme in die Liste förderfähiger Technologien beantragt. Ein positiver Bescheid würde die Attraktivität der Technologie weiter steigern.

3.6. Zusammenfassung und Ausblick

Der variable Kollektor ist seit 2019 erfolgreich und ohne Ausfall im Einsatz.

Er hat den Solarertrag deutlich gesteigert.

Für 2021/22 sind Antriebskonsolen der 2. Generation geplant. Durch die neue Kinematik wird eine weitere Optimierung Reflektorpositionierung und somit eine weitere Steigerung des solaren Ertrages möglich sein.

Es ist anzunehmen, dass durch die Verwendung eines Reflektors die minimale wirtschaftlich sinnvolle Kollektorfläche sinken wird.

Speziell für urbane Gebiete sollte somit die Attraktivität von kleineren Solarkollektoren gesteigert werden können.

4. Die optimale variable Hydraulik

4.1. Motivation

Bei Stahrsolar war ein wichtiger Grundsatz für die Auslegung des hydraulischen Anschlusses des Kollektors an den Speicher bzw. das Heizungssystem, dass die Anlage mit minimalen Pumpverlusten und einer effizienten Überhitzung zu betreiben ist.

Unter effizienter Überhitzung ist die optimale Differenz zwischen den Temperaturen an Kollektorein- und -austritt zu verstehen, welche sich als Kompromiss aus den entgegengesetzt wirkenden thermischen und hydraulischen Verlusten ergibt.

Je niedriger der Volumenstrom / die elektrische Pumpleistung / der Bedarf an Hilfsenergie sind, desto größer ist die Temperaturüberhöhung. Je größer die Temperaturüberhöhung, desto mehr Wärme wird vom Kollektor und sämtlichen außerhalb (des zu bewirtschaftenden Gebäudes) liegenden Anlagenteilen wieder an die Umgebung abgegeben und kann somit nicht genutzt werden.

Die Absenkung dieses thermischen Verlustes kann nur mit einem erhöhten Volumenstrom / erhöhter el. Pumpleistung erfolgen.

Um die jeweiligen Optima zu finden, wurden die Wechselwirkungen der Faktoren bei konstanter Wärmeabfuhr (z.B. durch Außentemperatur und Nutzwärmesenken) ermittelt und graphisch abgelegt. Somit wurden wichtige bekannte Effekte und deren Wirkbereiche darstellbar.

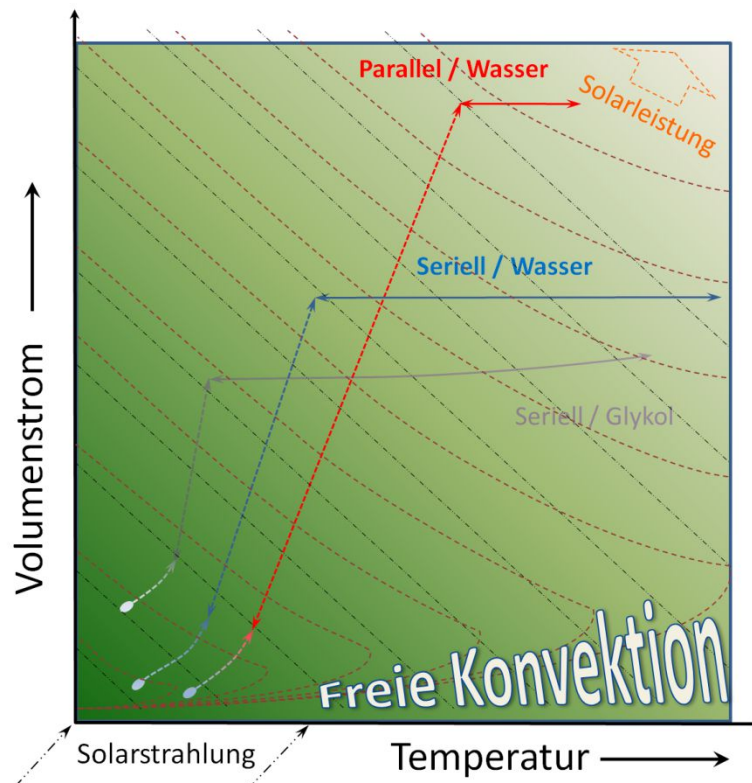


Bild 8: T- \dot{V} - P_s Diagramm

- a) Je niedriger der Volumenstrom bei konstanter Strahlung, desto höher ist die Austrittstemperatur
- b) Mit der Austrittstemperatur steigen die thermischen Verluste.
- c) Mit sinkender Wärmekapazität steigt die Austrittstemperatur
- d) Mit sinkender Viskosität steigt der Volumenstrom bei gleichbleibender Pumparbeit (siehe Seriell/Glykol).

Ein Reflektor steigert die maximale solare Leistung eines gleichgroßen Kollektors um ca. 40%. Diese soll mit möglichst geringen zusätzlichen thermischen bzw. elektrischen Verlusten genutzt werden.

Der Frostschutz sollte mit minimalem thermischem und elektrischem Aufwand erfolgen.

4.2. Umsetzung

4.2.1. Überhitzung

Um die Überhitzung konstant zu halten, muss der Volumenstrom an die Solarstrahlung bzw. den Wärmeintrag angepasst werden. Diese Aufgabe übernimmt eine konventionelle Solarpumpe mit variabler Förderleistung und einer dazugehörigen Steuereinheit.

Um die Soll- Überhitzung exakt einzuhalten, wird der Steuerbefehl für die Solarpumpe auf Basis der Förderkennlinie der Pumpe sowie des Wärmeeintrages ermittelt. Dieser wird vom Stahrsolar- Kollektor- Temperaturmodell bereitgestellt. Verbleibende Abweichungen zwischen der Soll- und der Ist- Überhitzung wurden von einem PI-Regler nahezu komplett ausgeglichen. Dadurch sind die thermischen Verluste optimal.

4.2.2. Druckverluste

Eine wichtige Eigenschaft der Solaranlage zur Minimierung der Druckverluste war die parallele Durchströmung von zwei gleichgroßen Teilkollektoren. Dadurch ergeben sich gegenüber einer seriellen Durchströmung folgende positive Effekte:

- Verdoppelung des minimalen Leitungsquerschnittes
- Halbierung der Leitungslänge mit minimalem Leitungsquerschnitt

Bei ausgefahrenem Reflektor und einem großen Differenzwinkel zwischen Sonnenrichtung und dem Lot in die Kollektorebene wird der Teilkollektor, welcher der Sonne abgewandt ist, deutlich stärker bestrahlt und somit mehr erwärmt. Um die Überhitzung beider Teilkollektoren gleich zu halten, wird der Volumenstrom des kühlen Kol-

lektors mittels eines Verteilventils entsprechend gedrosselt. Um die steigenden Temperaturen zu senken, wird die Förderleistung der Solarpumpe erhöht.

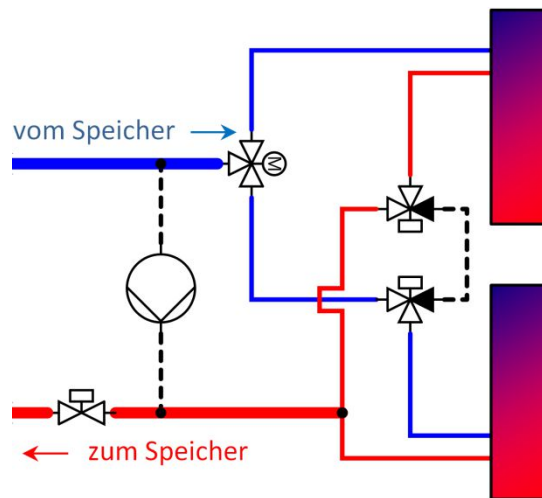


Bild 9: Solarbetrieb mit paralleler Durchströmung der Teilkollektoren

Weiterhin sollte es möglich sein, die maximale Überhitzung durch die serielle Durchströmung des Gesamtkollektors zu erreichen.

- ⇒ Sehr vorteilhaft bei geringer Solarstrahlung (Solarstart, Bewölkung, Sonnenuntergang etc.)
- ⇒ Hilfreich bei Warmwassererzeugung
- ⇒ Bei hoher Speicherbeladung zur Verschlechterung der Wirkungsgrades nutzbar => Stagnationsschutz

In dieser Betriebsart wird der Volumenstrom verwendet, welcher als bester Kompromiss aus Wärmetransport, Überhitzung und Informationsgehalt des Temperaturmesswertes ermittelt wurde. Er lag bei 52% der Förderleistung der Solarpumpe.

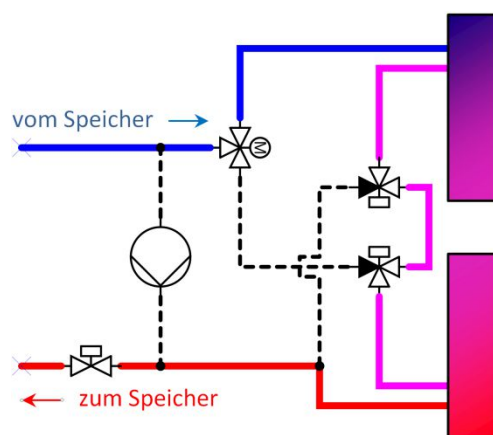


Bild 10: Solarbetrieb mit serieller Durchströmung der Teilkollektoren

Die dargestellte hydraulische Schaltung ermöglicht in Kombination mit entsprechenden Steueralgorithmen das bedarfsgerechte Wechseln zwischen den Vorteilen der beiden Betriebsarten.

4.2.3. Erweiterter Frostschutz

Sämtliche Frostschutzmaßnahmen erfolgen mit paralleler Durchströmung. Dadurch wird ein Minimum sowohl an Frostschutzwärme als auch bzgl. der el. Pumpleistung benötigt.

Bei stärkerem Frost wird im sekundären Kollektorkreis – bestehend aus dem Kollektor und der sekundären Pumpe – zusätzliche Frostschutzwärme benötigt. Diese wird über ein 3-Wege- Mischventil aus dem Speicher zugeführt, Damit wird die Regelung einer konstant niedrigen Kollektortemperatur – beispielsweise 3°C – sichergestellt.

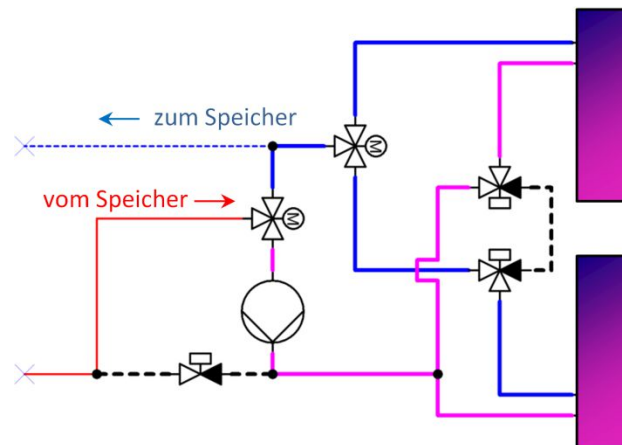


Bild 11: Sekundärer Kollektorkreis mit Temperaturregelventil

4.2.4. Kaltspülen

Die direkte Anbindung des Kollektors an den Heizkreis ermöglicht die Nutzung der Restwärme des im Kollektor und den Leitungen befindlichen Wassers bei Sonnenuntergang.

Dazu wird im Bedarfsfall die Heizkreispumpe aktiviert und die aktuelle Solltemperatur des Heizungsvorlaufes erhöht. Nun wird der Kollektor mit dem kälteren Wasser der Heizungsanlage gespült. Wenn die Temperaturen ausgeglichen sind, wird das Kaltspülen beendet.

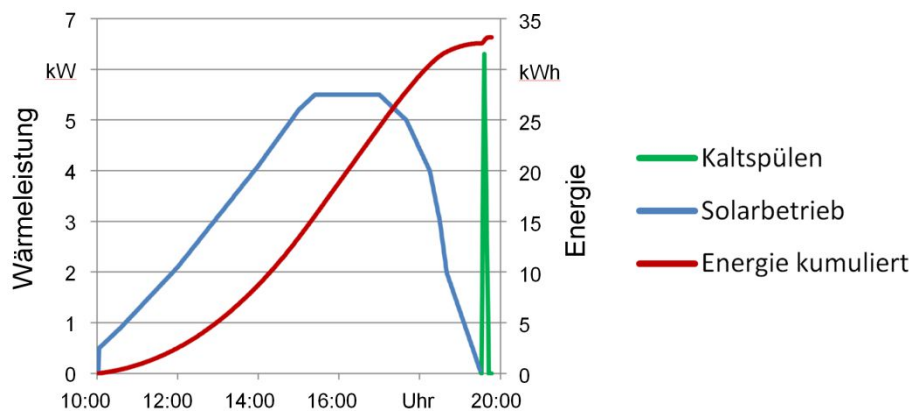


Bild 12: Nutzung Kollektorrestwärme durch Kaltspülen

Auf diese Weise wird Kollektorwärme genutzt, die vom Speicher nicht mehr aufgenommen werden konnte und ungenutzt an die Umgebung abgegeben worden wäre. Zu einer Bauteilaktivierung im originalen Sinne kommt es dabei aufgrund der geringen Wärmemengen nicht.

4.3. Wirtschaftlichkeit

Der Aufwand für die Installation ist gegenüber einer konventionellen Anlage beträchtlich und nur bei Neuinstallationen ökonomisch sinnvoll.

Die verwendeten Ventile sowie das Trägermedium Wasser sind wartungsfrei. Dies führt gegenüber Anlagen mit Frostschutzmittel zu einem erheblichen Vorteil bei den Betriebskosten.

Eine exakte Rentabilitätsvorschau konnte aufgrund fehlender Vergleichssysteme noch nicht erstellt werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass bei Verwendung von Wasser als Trägermedium und dem Stahrsolar- Temperaturmodell ein deutlicher energetischer Vorteil gegenüber aktuellen Systemen erzielt werden kann. Dadurch sollte sich die Installation einer Stahrsolar- Hydraulik bei mit Wasser befüllten Anlagen schneller amortisieren.

4.4. Zusammenfassung und Ausblick

Die Anforderungen an die Hydraulik wurden erfüllt.

- Der Solarstart bzw. die Solarernte waren auch bei niedriger Solarstrahlung möglich.
- Bis zu einer spezifischen Kollektorleistung von $700\text{W}/\text{m}^2$ konnte der Volumenstrom geregelt und damit die optimale Überhitzung gewährleistet werden. Höhere Leistungen wurden selten erzielt, weshalb die resultierenden thermischen Verluste als vernachlässigbar gering einzustufen sind.
- Im Solarbetrieb lag der Bedarf an Hilfsenergie im Mittel unter einem Prozent der solaren Leistung.
- Für die Nutzung der Restwärme des Kollektors war lediglich eine Funktionserweiterung erforderlich.
- Es konnte ein sehr effektiver und effizienter Frostschutz dargestellt werden.
- Die Anlage ist seit 2017 in Betrieb und funktioniert fehlerfrei

Der Vorteil einer Gleichstellung der Überhitzung der Teilkollektoren im parallelen Betrieb wird aktuell als wirtschaftlich vernachlässigbar eingestuft. Diese Aussage ist mit Reflektoren neuerer Generationen zu überprüfen.

Die vorliegenden Erkenntnisse motivieren, das Potenzial dieser Variabilität weiter zu untersuchen. Dazu können beispielsweise die vorliegenden Daten zur Validierung numerischer Analyse verwendet werden.

Unabhängig vom Trägermedium kann die variable Durchströmung des Kollektors zu einem deutlich effizienteren Anlagenbetrieb beitragen.

5. Zusammenfassung

Mit dem Temperaturmodell, dem variablen Reflektor sowie der variablen Hydraulik von Stahrsolar wurden Möglichkeiten aufgezeigt, den solaren Ertrag zu steigern und gleichzeitig den Bedarf an Hilfsenergie zu senken.

Mit der Verwendung von Wasser als Trägermedium sowie eines Reflektors sind Ansätze dargestellt, die die Attraktivität der Solarthermie besonders unter urbanen Bedingungen steigern werden.

Mit der Fassadeninstallation wurde ein ästhetische Lösung umgesetzt, die primär dekorativ wirkt und den Charakter eines Kollektors in den Hintergrund treten lässt.