



LowTEMP2.0

Großmaßstäbliche Solarthermie

Anforderungen, Möglichkeiten, Integration in FW-Netzwerke



EUROPEAN
REGIONAL
DEVELOPMENT
FUND



LowTEMP-Trainingspaket – Gliederung

Einführung

Einführung in Klimaschutzstrategie(n) & -ziele

Einführung in Energieversorgungssysteme und Niedertemperaturfernwärme (NTFW)

Energieversorgungssysteme im Ostseeraum

Energiestrategien und Pilotprojekte

Methodik zur Entwicklung von Pilot-Energiestrategien

Pilot-Energiestrategien – Ziele und Rahmenbedingungen

Pilot-Energiestrategien – Beispiele

Pilot- bzw. Demonstrationsprojekte

Berechnung von THG-Emissionen

Lebenszyklusanalyse von NTFW

Finanzielle Aspekte

Lebenszykluskosten von NT FW-Projekten

Wirtschaftlichkeit und unrentierliche Kosten

Vertrags- und Zahlungsmodelle

Geschäftsmodelle und innovative Förderstrukturen

Technische Aspekte

Rohrleitungssysteme

Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)

Großmaßstäbliche Solarthermie

Ab- & Überschusswärme

Großmaßstäbliche Wärmepumpensysteme

Power-2-Heat und Power-2-X

Thermische, solare Eis- und PCM-Speichertechniken

Wärmepumpen-Systeme

Niedrigtemperatur und Fußbodenheizung

Trinkwarmwasserproduktion

Lüftungssysteme

Aus der Praxis

Innovative Praxisbeispiele



Überblick

- **Sonneneinstrahlung und Wärmeproduktion**
- **Überblick Solarthermische Anlagen & Betriebsarten**
 - Allgemeines Prinzip von Flachkollektoren
 - Allgemeines Prinzip von Vakuumröhrenkollektoren
 - Indirekt durchströmte Vakuumröhrenkollektoren / Heat-Pipe-Prinzip
 - Direkt durchströmte Vakuumröhrenkollektoren / Verbund-Parabol-Konzentrator (VPKs)
 - Eigenschaften des Wärmedmediums
- **Installations- und Planungsvorgaben**
 - Kollektorausrichtung / Neigung & Wirkungsgrad
 - Kollektoranordnung / Kollektorbeschaltung
 - Tichelmann-Prinzip
 - Umgang mit Stagnation



Überblick

- **Technische & wirtschaftliche Effizienz**
 - Abweichung zwischen Kollektor- und Anlagenenertrag
 - Jährliches Deckungsgrad
 - Erhöhung der jährlichen Solarabdeckung durch Speicherung
 - Schlüsselfragen zu Investitionskosten & Wirtschaftlichkeit
- **Einspeiseprinzipien**
 - Hydraulische Einbindung der solarthermischen Einspeisung
 - Solarwärme kombiniert mit anderen Brennstoffen
- **ANHANG & Übersicht über Pilotprojekte**

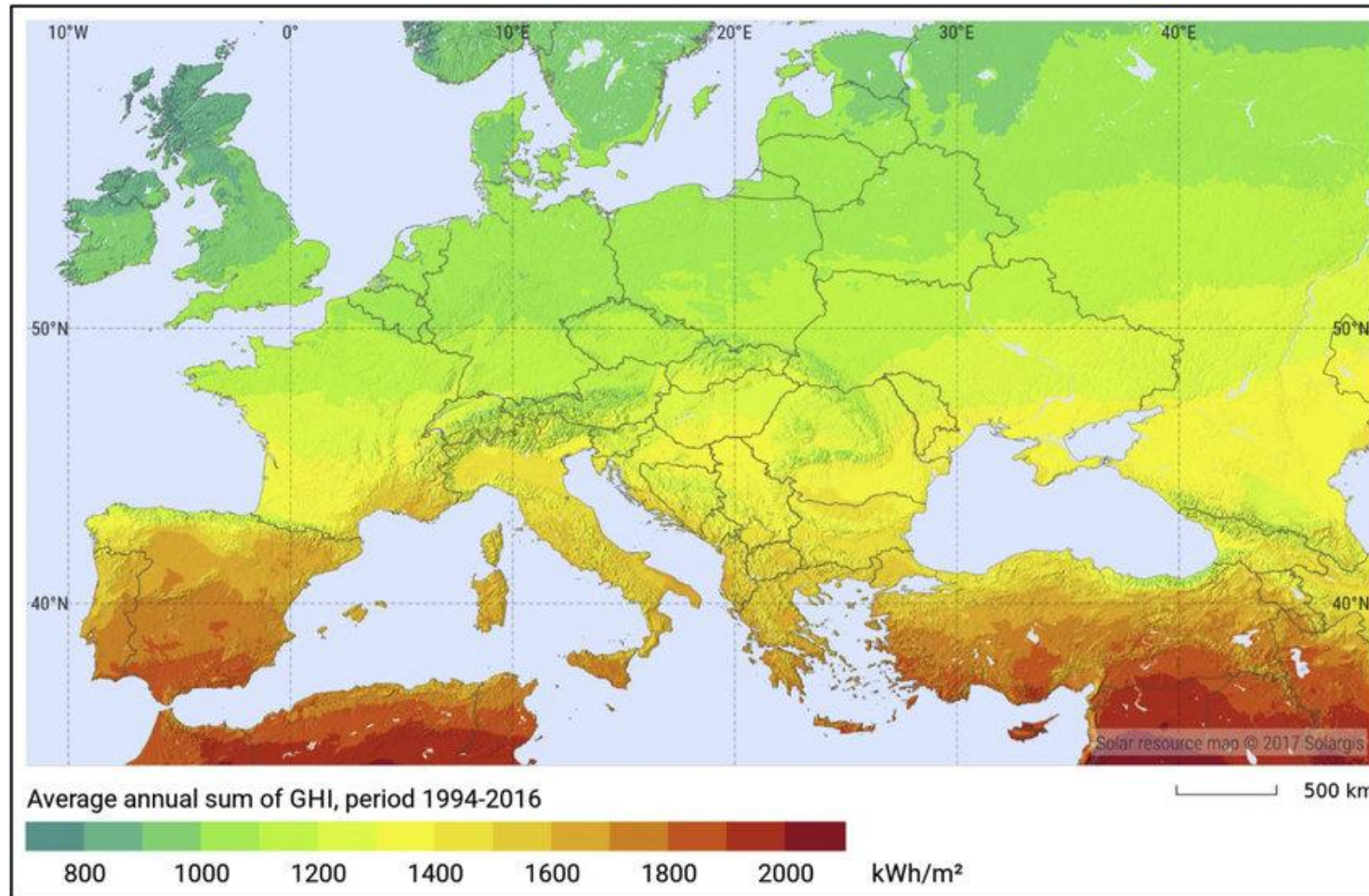


Sonneneinstrahlung & Wärmeproduktion

- **Durchschnittliche Sonneneinstrahlung in Mitteleuropa zur Mittagszeit :**
+/- 1000 Watt / m² (unter perfekten Wetterbedingungen)
- **Jahresdurchschnitt der Sonneneinstrahlung in Mitteleuropa:**
+/- 125 W/ m² (etwa 1/8 der perfekten Bedingungen)
- **ca. durchschnittliche Sonneneinstrahlung auf den Kollektor:**
1/8 x 24h (3h pro Tag)
oder 1/8 x 8760 h/a = +/- 1100 Betriebsstunden /a
+/- 1100 kW/h pro m²a

Quelle des Beispiels: Arbeitsgemeinschaft QM Fernwärme (2017): Planungshandbuch Fernwärme [1]

Sonneneinstrahlung & Wärmeproduktion



- Der Jahresertrag von Solarkollektoren hängt von vielen Faktoren ab
 - Wetter
 - Kollektortyp
 - Standortvorgaben
 - Anlagendimensionierung und Energieausnutzung
 - Einbauwinkel
 - USW...

Abb. 1: Sonneneinstrahlungskarte Europa, Gholami & Røstvik. 2020 [2]

Überblick - Solarthermische Anlagen & Betriebsarten

- **Wo sollten Solarwärmekollektoren platziert werden?**

- Bodenmontierte Solarkollektoren

(billigste Lösung; abhängig von: Grundstückspreisen, Entfernung zum bestehenden Rohrsystem oder Verbraucher, allgemeiner Wärmenutzung, Speicherung & vielen anderen Parametern)

- Aufdach-Solarkollektoren (interessant für große und flache Dachflächen)

- **Die gängigsten Kollektortypen auf dem Markt?**

- Flachkollektoren
- Vakuum-Röhrenkollektoren



Abb. 2 und 3: Solarkollektoren auf dem Dach und Boden [3]



Abb. 4: Solaranlage auf dem Boden [4]

Überblick - Solarthermische Anlagen & Betriebsarten

Typ	Flachkollektoren		Vakuümröhrenkollektoren	
	Konventionelle / Hochleistungskollektoren	Indirekt durchströmt Heat-Pipe-Prinzip	direkt durchströmt Vakuümröhren	direkt durchströmt Verbund-Parabol-Konzentrator
	<p>Quelle: sunpower [5]</p>	<p>Quelle: Baunetz_wissen [5]</p>		

Abb. 5: Übersicht Kollektorarten, Darstellung AGFW auf Grundlage [5]

Allgemeines Prinzip von Flachkollektoren

- Flachkollektoren verwenden eine flache Absorberplatte, die mit Mineralwolle, Polyurethanschaum oder anderen Materialien isoliert ist
- Diese Isolierung ist weniger wirksam als die Vakuumisolierung von Vakuumröhrenkollektoren
- Hochleistungs-Flachkollektoren werden mit Kupferabsorbern betrieben



Abb. 6: auf dem Boden aufgestellte Flachkollektoren, Foto Simonides [4]

Allgemeines Prinzip von Flachkollektoren

- Produktion von ca. 500-550 kWh/a pro m² Bruttokollektorfläche
- Erreicht Betriebstemperaturen von 30 bis 80 °C
- Bei sorgfältiger Planung, können Stagnationstemperaturen von 150-200 °C erreicht werden
- Kann in Reihen- oder Parallelschaltung installiert werden
- Einbauwinkel variabel
- Flachkollektoren arbeiten in der Regel mit einem Medium aus Wasser und Frostschutzmittel

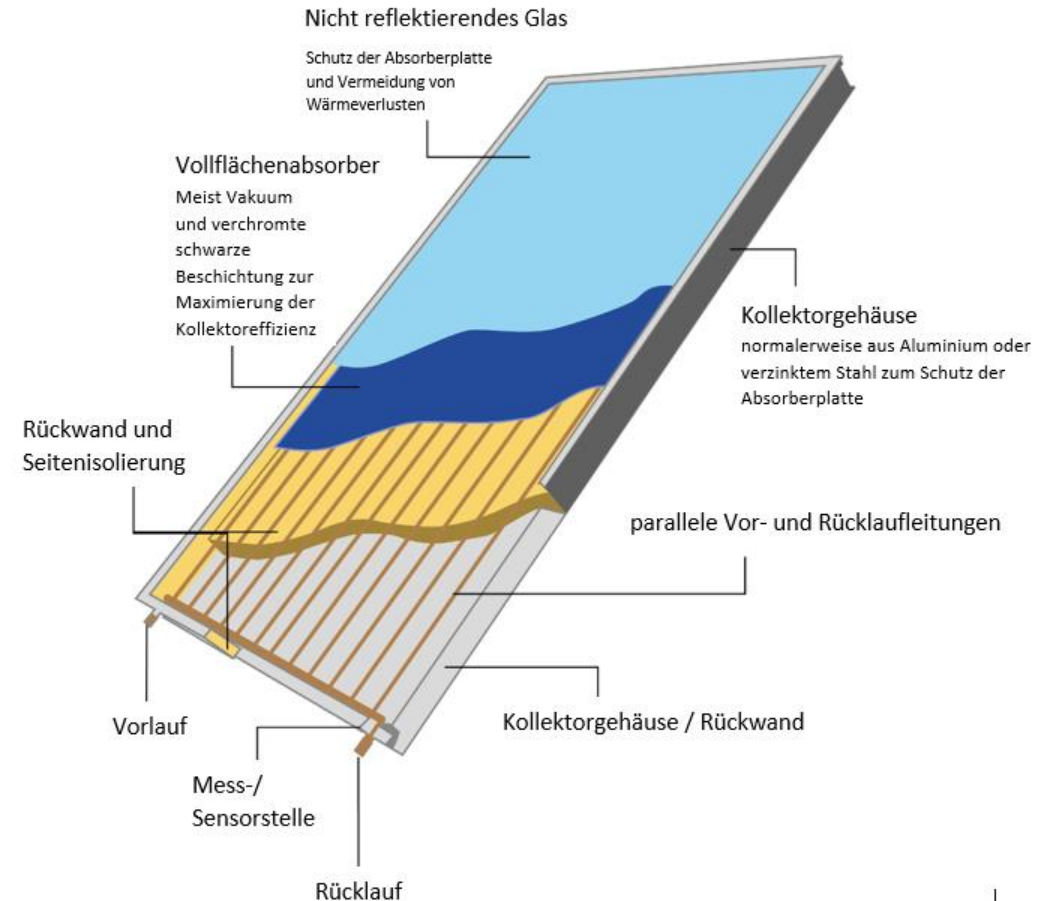


Abb. 7: Aufbau Flachkollektor; Quelle: sunpower, übersetzt

Allgemeines Prinzip von Vakuumröhrenkollektoren

- Vakuumröhrenkollektoren sind typischerweise mit parallelen Reihen von doppelwandigen Glasröhren aufgebaut
- Durch das Vakuum im Außenrohr werden sehr hohe Wärmedämmwerte erreicht
- Wärmerohre übertragen die Wärme an das Wärmemedium (indirekte Durchströmung) oder direkte Durchströmung transportieren das Wärmemedium in einer "U-Form" durch das innere Glasrohr
- Höhere Temperaturniveaus können erreicht werden (über 200 °C bis zu 350°C)
- Höhere Wärmeauskopplungseffizienz im Vergleich zu FKs im Temperaturbereich über 80°C
- Der Wirkungsgrad ist ebenfalls höher als bei Flachkollektoren
- Höhere Investitionskosten als bei Flachkollektoren



Abb. 8: Aufbau Vakuumröhrenkollektor; Quelle: Ritter-XL-Solar [7]

Allgemeines Prinzip von Vakuumröhrenkollektoren

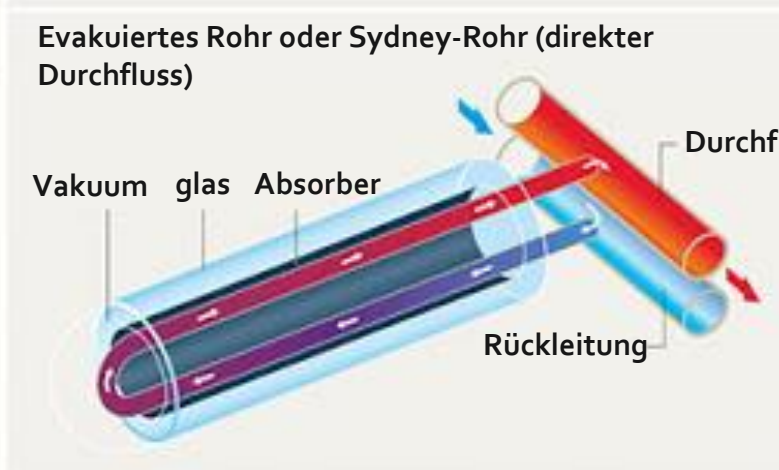
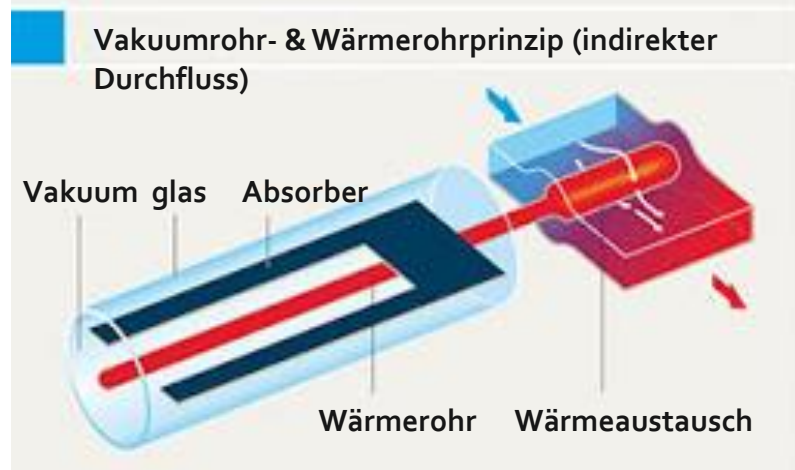
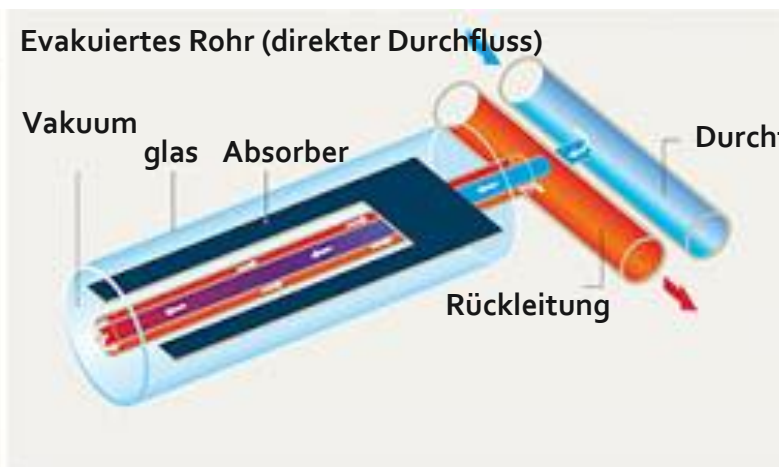
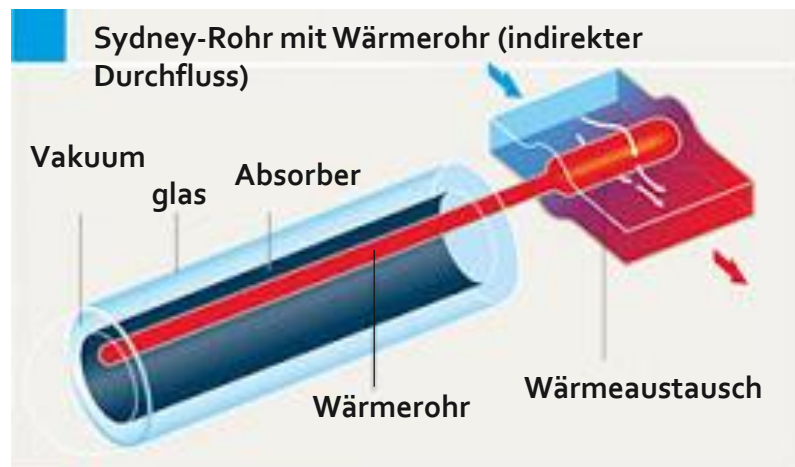


Abb. 9: Verschiedene Typen von direkt und indirekt durchflossenen Vakuumröhrenkollektoren; Quelle: Solarwärme (2014), angepasst AGFW [9]

Indirekt durchströmte Vakuumröhrenkollektoren oder Heat-Pipe-Prinzip

- Wärmeübertragungsrohr wird auf der Rückseite einer Absorberplatte installiert
- Das Rohr ist mit einem Wärmeträger (meist Wasser oder Alkohol unter Unterdruck) gefüllt
- Die Wärmeübertragung findet am oberen Ende des Rohres statt

(Kondensation des Wärmeträgermediums gibt Wärme an das Kollektorrohrsystem ab > Kondensat des Wärmeträgers fließt zum Boden des Glasrohrs zurück und heizt sich erneut auf)

→ Funktioniert auch an Tagen mit geringer Sonneneinstrahlung, da Kondensat verdampft bereits bei niedrigen Temperaturen von ca. 25 °C (Kollektortemperatur)

→ Geringerer Druckverlust durch direkten Wärmeaustausch an der Vorlaufleitung

Vakuum-Röhrenkollektoren

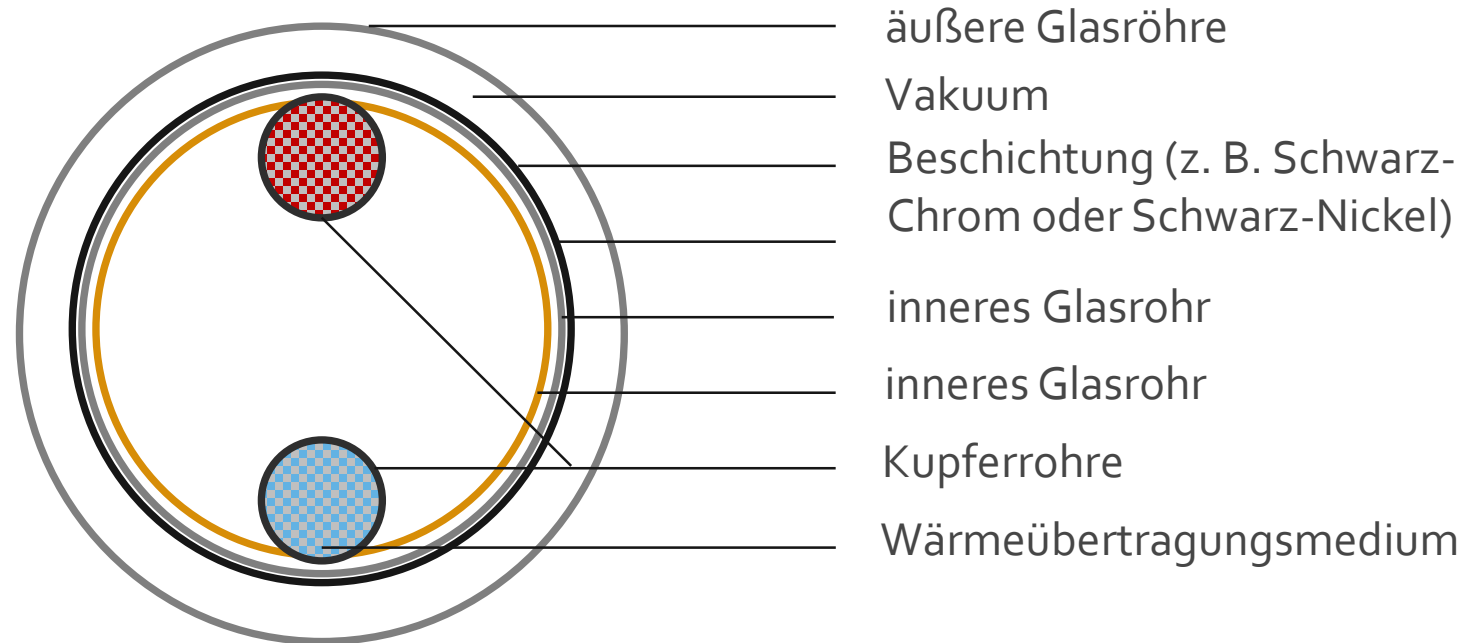


Abb. 10: Grundsätzlicher Aufbau einer Vakuum-Röhre; Darstellung AGFW

Verbund-Parabol-Konzentrator (VPKs)

- Fähigkeit, **einen sehr weiten Winkel der gesamten** einfallenden Strahlung zum Absorber zu **reflektieren**
- Wechselnde Sonnenausrichtung kann durch die Verwendung einer Rinne mit zwei sich gegenüberliegenden Parabelabschnitten **reduziert werden**
- Durch die Verwendung von **mehrfachen internen Reflexionen** findet jede Strahlung, die in die Öffnung innerhalb des Akzeptanzwinkels des Kollektors eintritt, ihren Weg zur Absorberoberfläche

→ Hohe Investitionskosten

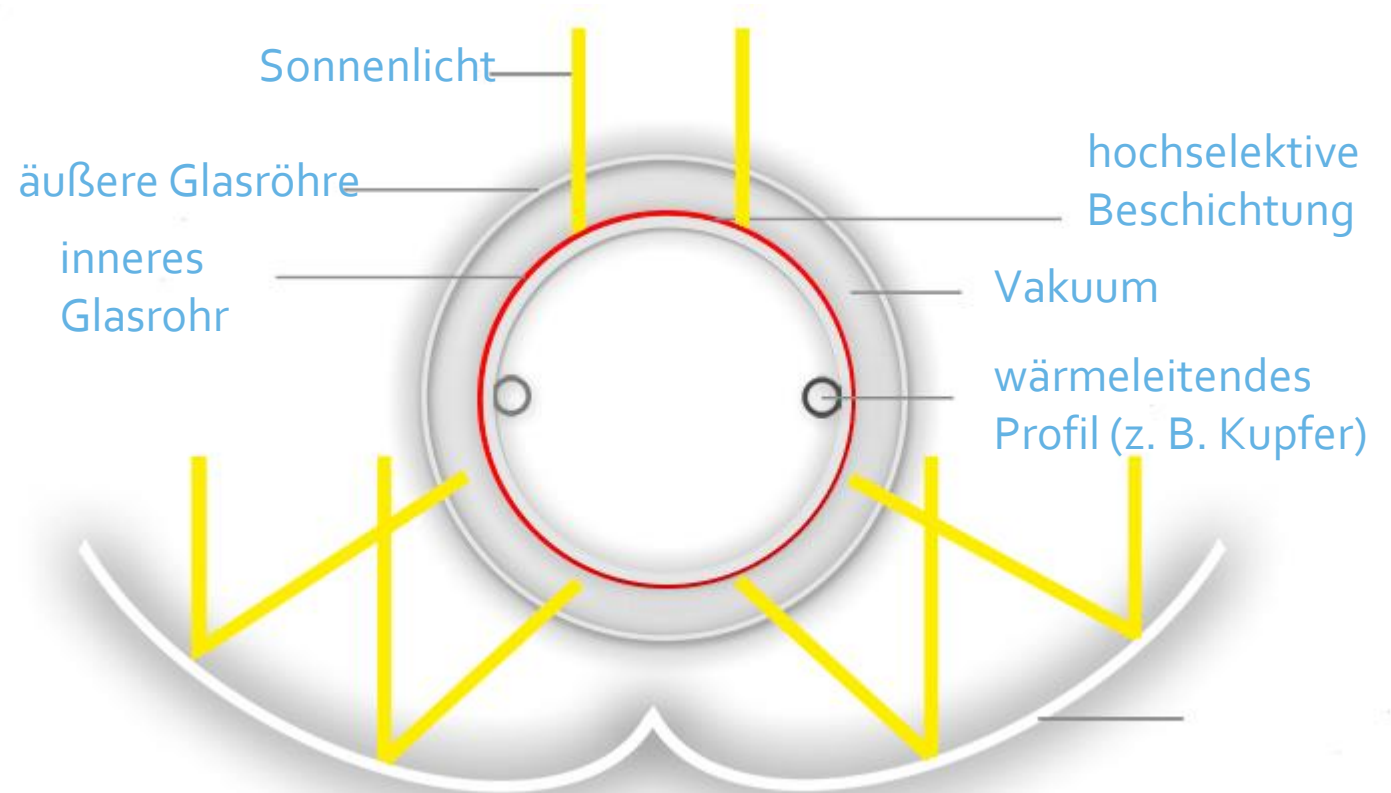


Abb. 11: Grundsätzlicher Aufbau einer Verbund-Parabol-Konzentrator; Darstellung Tebbe [10]

Eigenschaften des Wärmeträgers

- Geschlossener Flüssigkeitskreisläufe im Kollektorkreislauf
- Der Wärmeaustausch erfolgt im Speicher über einen Wärmetauscher
- Der Wärmeaustausch erfolgt an der Oberseite der evakuierten Röhrenkollektoren, die mit indirekter Strömung operieren

Wichtige Eigenschaften für wärmeübertragenden Flüssigkeiten im Kollektorkreislauf:

- Hohe Temperaturstabilität
- Niedrige Viskosität (aufgrund der Wärmekapazität)
- Hohe Wärmekapazität
- Umweltverträglichkeit
- Korrosionsschutz (demineralisiertes Wasser usw.)
- Frostschutz (meist wird ein Gemisch aus Wasser und Alkohol verwendet; z. B. Propylenglykol)

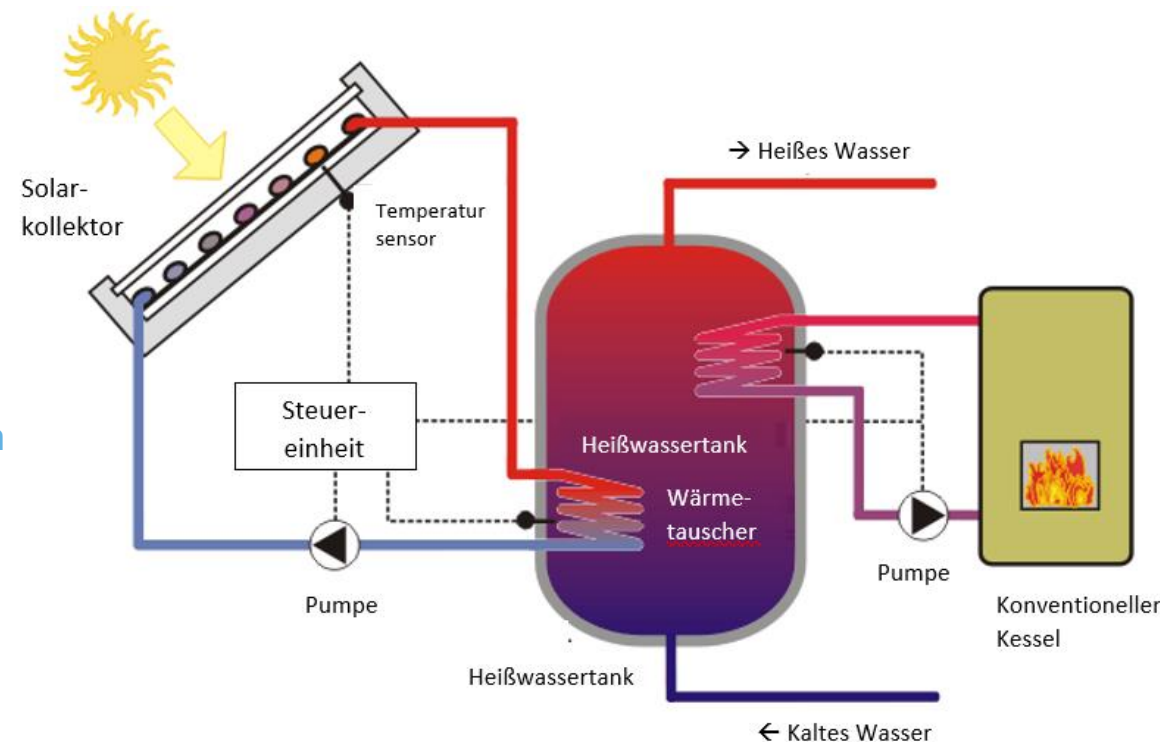


Abb. 12: Grundsätzlicher Aufbau einer Heizungseinheit bestehend aus Kollektorkreislauf, Warmwasserspeicher, Spitzenlastkessel ; Darstellung Quaschnig [11]

Installations- und Planungsanforderungen

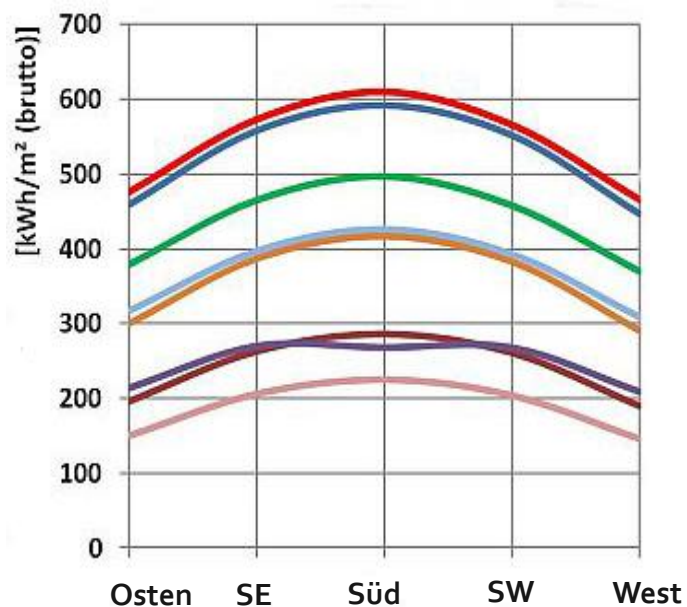
Kollektorausrichtung / Neigung & Wirkungsgrad

- Absorber arbeitet am effizientesten, wenn die Kollektorachse absolut senkrecht zu den Sonnenstrahlen steht
 - Durch die Erdrotation ändert sich der Einstrahlungswinkel in Abhängigkeit von Tages- und Jahreszeit
 - Daher müssen die Kollektoren im rechten Winkel und in der Neigung des Breitengrades ausgerichtet sein
 - Für Europa sind in der Regel 25° bis 45° der idealste "Einstrahlungswinkel" zur Montage, aber auch Winkel von bis zu 60° z.B. auf Dächern sind anzutreffen
 - Je höher der Neigungswinkel, desto höher der Kollektorertrag in der Winterzeit / an Tagen mit geringer Sonneneinstrahlung
 - Hohe Neigungswinkel minimieren Spitzen und thermische Stagnation im Sommer, aber auch das Temperaturniveau
- Die Ausrichtung der Kollektoren richtet sich grundsätzlich immer nach dem standortspezifischen Betrieb / der geplanten Wärmenutzung (Raumheizung / Warmwasserbereitung / beides / mit oder ohne saisonale Speicherung) / Wärmebedarf usw.

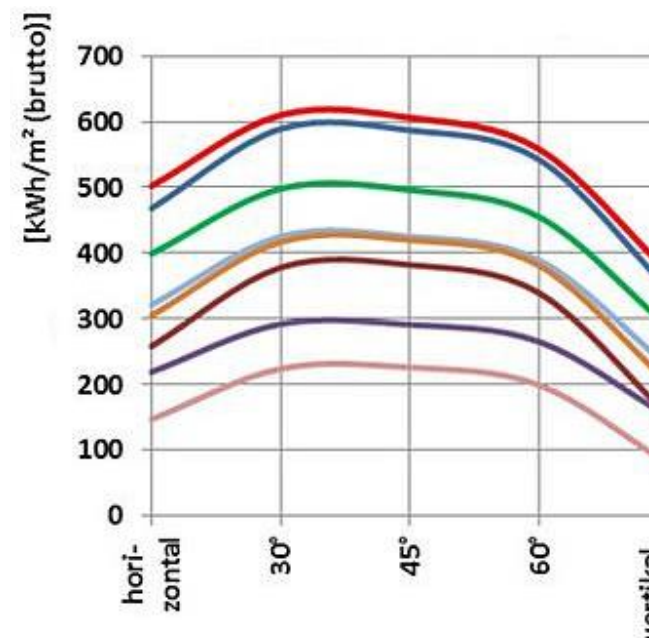
Installations- und Planungsanforderungen

Kollektorausrichtung / Aufstellwinkel & Wirkungsgrad

Berechnungsbeispiel für verschiedene Arten von solarthermischen Kollektoren



- Standort: Würzburg, Deutschland
- Aufstellwinkel: 75° Ausrichtung: variierend
- Durchschnittliche Kollektortemp.: 75 C°



- Standort: Würzburg, Deutschland
- Ausrichtung: Süden; Neigung: variierend
- Durchschnittliche Kollektortemp.: 75 C°

Abb. 13: Diagramme aus Berechnungsbeispielen ; Darstellung Paradigma, geändert AGFW 2020 [10]

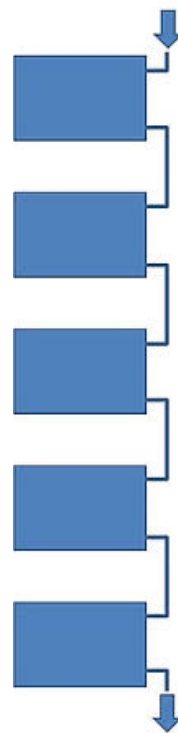
Installations- und Planungsanforderungen

Kollektoranordnung & Schaltung der Module

- Solarthermische Großanlagen können in Reihen- und/oder Parallelschaltung installiert werden

Reihenschaltung

- Hohe Druckverluste
- Hohe Pumpenleistung
- Gleichmäßige Durchflussmengen
- Hoch
- Geringere Leitungsinstallations- / geringere Investitionskosten



Parallelschaltung

- geringe Druckverluste
- weniger Pumpenleistung
- **Tichelmann-Prinzip** für gleichmäßige Durchflüsse notwendig
- Niedrigere Durchflussraten
- ΔT abhängig von Kollektoren in Reihenschaltung
- Für großflächige Anlagen

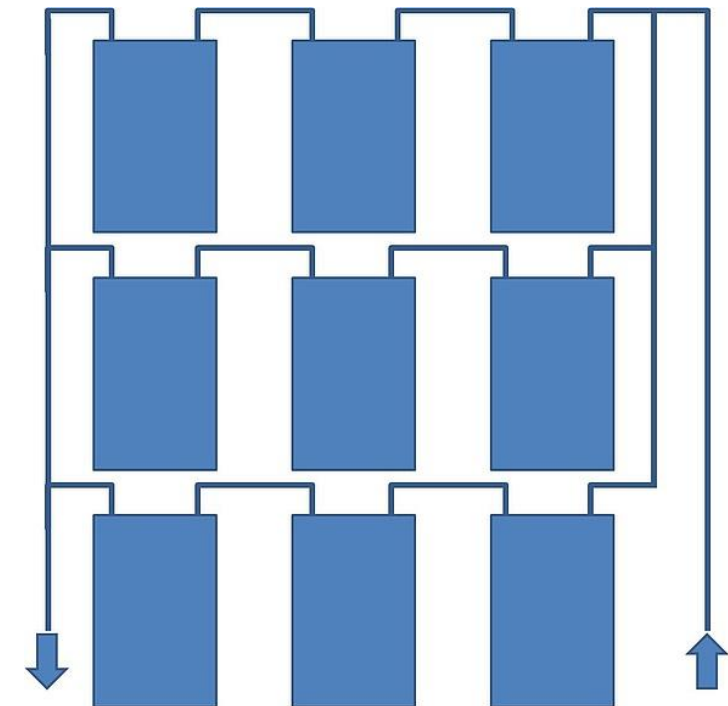


Abb: 14: Serien- & Parallelschaltung. Darstellung. AGFW-Project GmbH

Installations- und Planungsanforderungen

"Tichelmann-Prinzip":

- Gleiches Längenverhältnis zwischen Vorlauf- und Rücklaufleitung
- Wärmeträger legt immer die gleiche Strecke zurück
- Gleiche Druckverluste innerhalb des Systems
- Gleichmäßige Verteilung des Massenstroms

→ Höherer Aufwand für Leitungen erforderlich

→ Geringerer Regelungsaufwand z. B. durch Regelventile

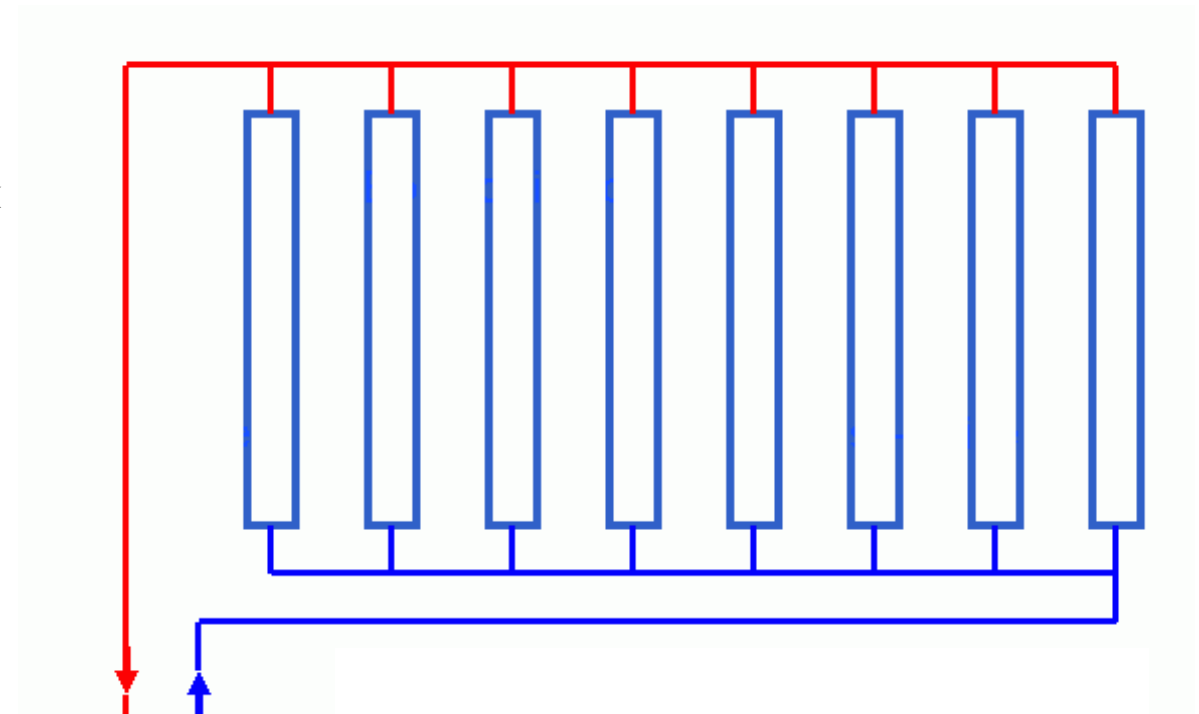


Abb. 15: Tichelmann-Prinzip. Darstellung: AGFW-Project GmbH

Umgang mit Stagnation in den Kollektoren [12]

Auslegung Temperatur

Die Auslegungstemperatur beschreibt die maximale Temperatur, die ein solarthermischer Kollektor oder ein Kollektorkreisteil aushalten kann, ohne Schaden zu nehmen. Die Auslegungstemperatur für das Gesamtsystem bestimmt sich durch das Bauteil des Systems, welches die niedrigste Auslegungstemperatur verträgt.

Betriebstemperatur

Als Betriebstemperatur wird die maximale Temperatur eines solarthermischen Kollektors bzw. des Kollektorkreises festgelegt, wobei der "normale" Betrieb verfolgt wird. Die Betriebstemperatur wird bestimmt durch:

→ die maximale Lagertemperatur

→ den Wärmebedarf des angeschlossenen Fernwärme-Systems

Stagnation

Stagnation beschreibt den Zustand einer solarthermischen Anlage, bei dem (aus welchen Gründen auch immer) die Durchströmung im Kollektorkreis unterbrochen ist, obwohl ausreichend Sonneneinstrahlung für den Betrieb des Kollektorkreises vorhanden ist.

→ Die Flüssigkeit im Solarkollektor wird auf eine Temperatur aufgeheizt, bei der die absorbierte Energie den Verlusten entspricht.

Umgang mit Stagnation [12]

"Umgang mit Stagnation...

...wenn Stagnation ein akzeptierter Betriebsmodus ist!"

" Schutz vor Überhitzung"...

... wenn Stagnation keine akzeptierter Betriebsmodus ist!"

Keymark-Zertifikat:



Seite 1/2

Zusammenfassung der EN 12975 Testergebnisse, Anhang zum Solar KEYMARK-Zertifikat	Lizenznummer	[REDACTED]	
	Ausstellungsdatum	2015-11-30	
Stagnationstemperatur - Wetterbedingungen siehe Anmerkung 2	Tstg	301	°C
Effektive Wärmekapazität	ceff = C/Ag	9.18	kJ/(m ² K)
max. zulässige Betriebstemperatur - siehe Anmerkung 3	Tmax,op	160	°C
max. Betriebsdruck - siehe Anmerkung 3	pmax,op	1000	kPa

Abb. 16: Beispiel eines Keymark-Zertifikats. Quelle: www.estif.org)

Konstruktive Vorkehrungen und das Sicherheitskonzept hinsichtlich der Anlagendimensionierung müssen in der Planungsphase DIE wichtigsten Aspekte sein!

Umgang mit Stagnation

Auswirkungen der Stagnation:

- Druckanstieg und Dampfbildung im Kollektor
- Dampfbildung im Solarkreislauf
- Hohe Beanspruchung der Systemkomponenten (z. B. Pumpendichtungen)
- Mögliches Cracken von Glykol in der Wärmeträgerflüssigkeit

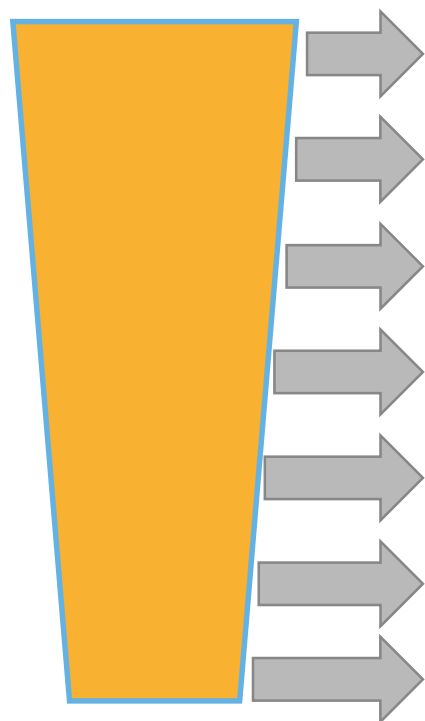
Umgang mit Stagnation:

- Entwässerung der Solarflüssigkeit (besonders bei Glykolmedium vor Stagnationszustand notwendig)
- Pumpen & Überdruckmanagement abschalten
- Aktive Kühlung z. B. mit Grundwasser und einem zweiten Wärmetauscher (extra Brunnen und Schluckbrunnen werden benötigt)

→ Das Akzeptieren von Stagnation als Betriebsmodus muss in der Planungs- und Implementierungsphase berücksichtigt und geplant werden

Technische- und wirtschaftliche Effizienz

Kollektorertrag



Maximaler Systemertrag

Differenz zwischen Kollektor- und Anlagenenertrag

Unterschied tritt auf...

- ... durch Erwärmung am Morgen und Abkühlung in der Nacht
- ... Wärmeverluste in Rohren und Ventilen
- ... durch die Lagerung
- ... aufgrund von Stagnation
- ... durch aktiven Frostschutz
- ... durch Frostschutzmittel
- ... durch Wärmetauscher

Die Differenz zwischen Kollektorertrag und maximalem Anlagenenertrag kann grob auf ca. 10% der Jahreseinstrahlung abgeschätzt werden.

Abb. 17: Differenz zwischen Kollektor- und Anlagenenertrag. Darstellung: AGFW-Project GmbH

Jährlicher Deckungsgrad

Der Deckungsgrad ist abhängig von:

- Integration der solaren Wärmeerzeugung in FW-Systeme (Einspeisepunkt: Vorlauf / Rücklauf)
 - Geplante Wärmenutzung und Betriebstemperaturniveau
(Trinkwasserbereitung, Raumheizung, Fußbodenheizung, usw.)
 - Gebäudestruktur (Entwicklungsbereich, vorhandene Gebäudestruktur)
 - Aufbau des Heizungs- und Solarthermiesystems (Pufferspeicher, saisonaler Speicher oder direkte Integration)
 - Direkte oder indirekte Einspeisung
- **Keine festgelegten Referenzwerte!** (Deckungsgrad muss projektspezifisch abgeschätzt werden)
- Solarthermie-Anlagen können ca. 30-60 % des Jahresbedarfs an Warmwasserbereitung abdecken (vollständige Abdeckung im Sommer)
- Saisonale Speicherung kann den jährlichen solaren Deckungsgrad erhöhen, indem das Temperaturniveau des gespeicherten Wassers z. B. mit einer Wärmepumpe in den Übergangszeiten erhöht wird.

Erhöhung der jährlichen Solarabdeckung durch Speicher

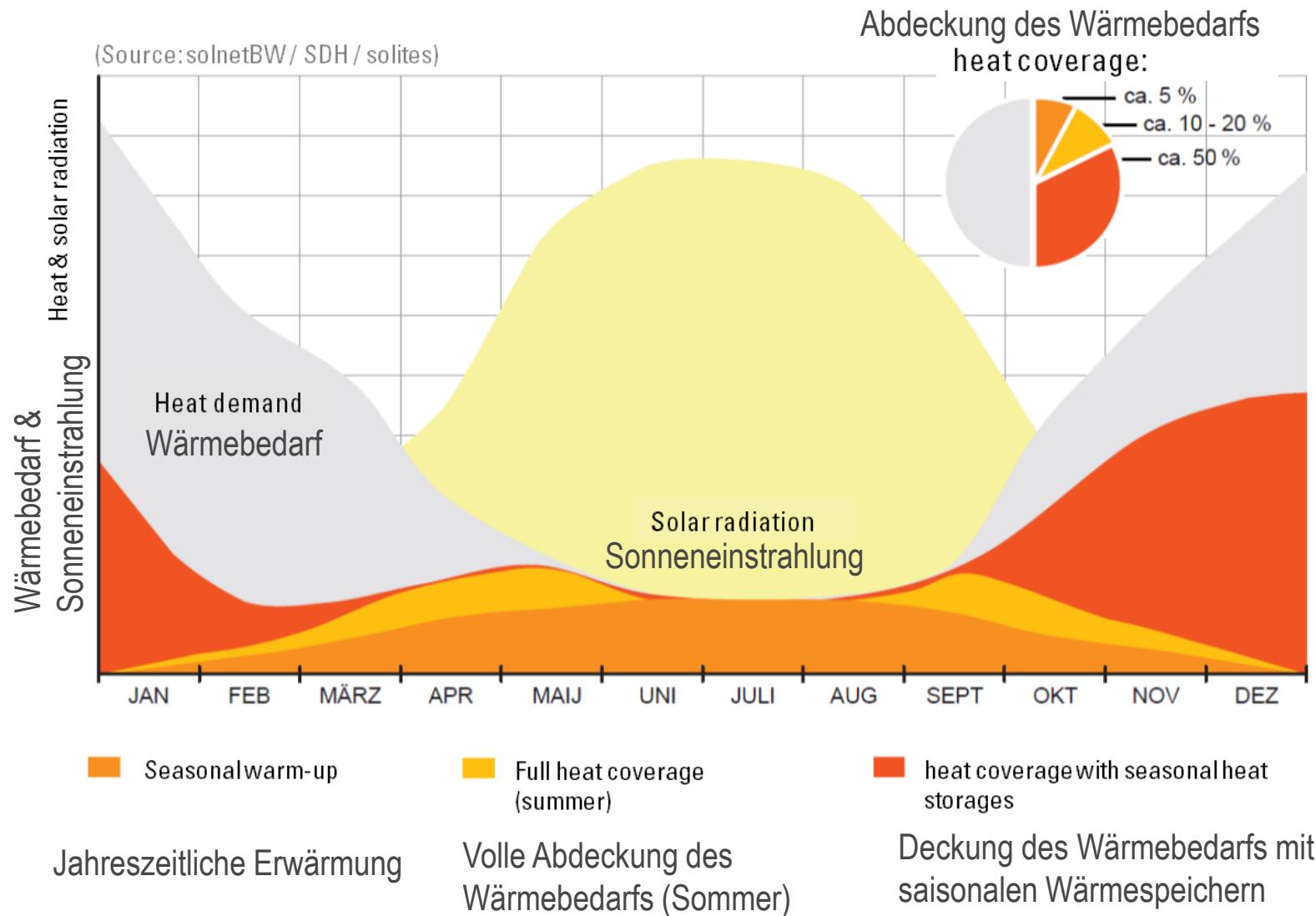
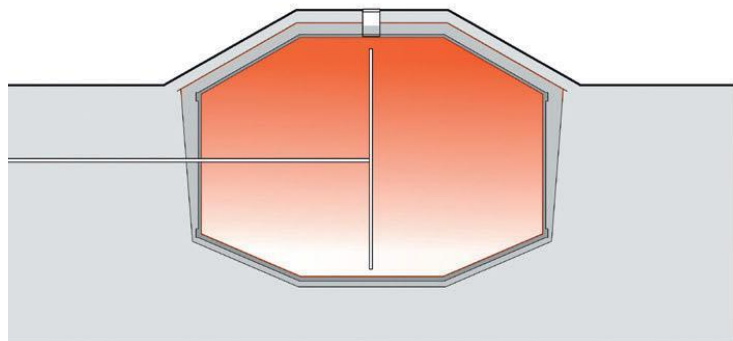


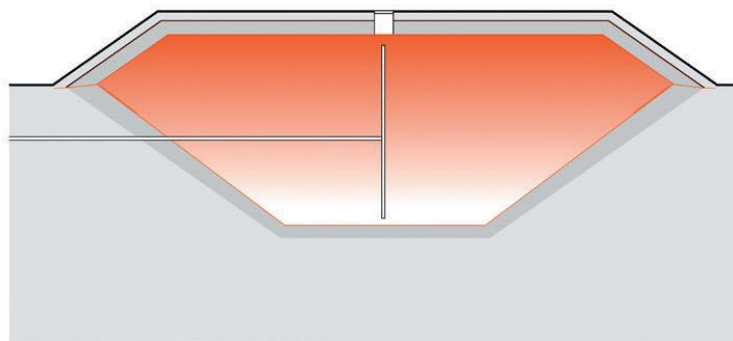
Abb. 18: ganzjährige Solarabdeckung
Darstellung: Mathilde Kolbe [14]

Erhöhung der jährlichen Solarabdeckung durch Speicher

Wärmespeicher (Tank)
(60 bis 80 kWh/m³)



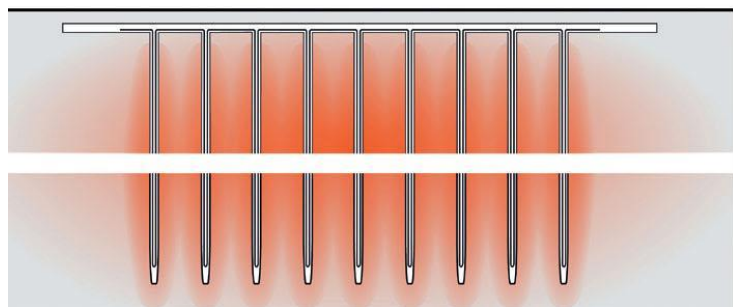
Grubenlagerung
(30 bis 80 kWh/m³)



Speichermöglichkeiten:

- Pufferspeicher (Tagesspeicher)
- Saisonale Speicher (auf der linken Seite)

Kuchenspeicher (Erdsonde)
(15 bis 30 kWh/m³)



Aquiferspeicher
(30 bis 40 kWh/m³)



Abb. 19: Speicherarten, Darstellung: ikz.de (übersetzt)[15]

Einspeiseprinzipien - dezentral / zentral

- „Dezentral“: Solarthermische Anlage befindet sich nicht in der Nähe eines anderen großen Wärmeerzeugers
- Zentral: Einspeisepunkt kann eine Übertragungsstation sein (Solarthermie-Anlage befindet sich neben einem anderen Wärmeerzeuger z. B. Heizwerk / Blockheizkraftwerk)

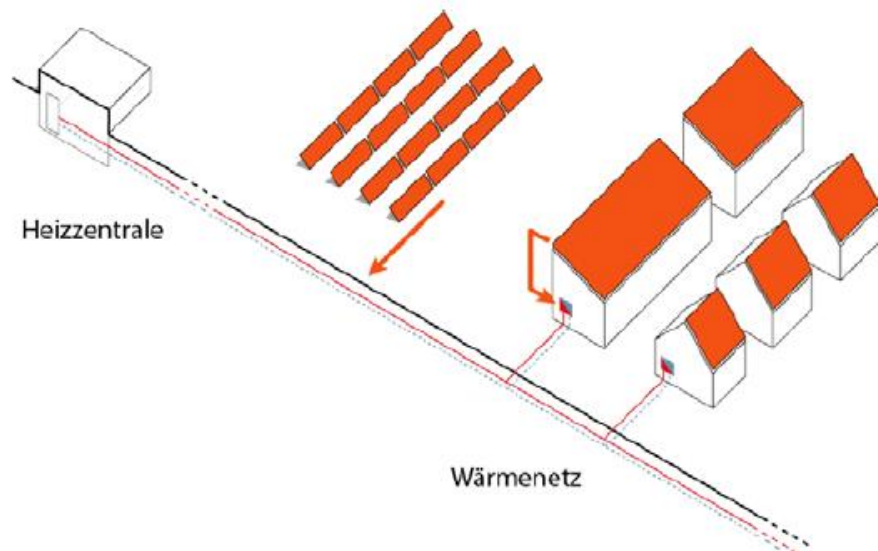


Abb. 20: dezentrale Einspeisung; solites [6]

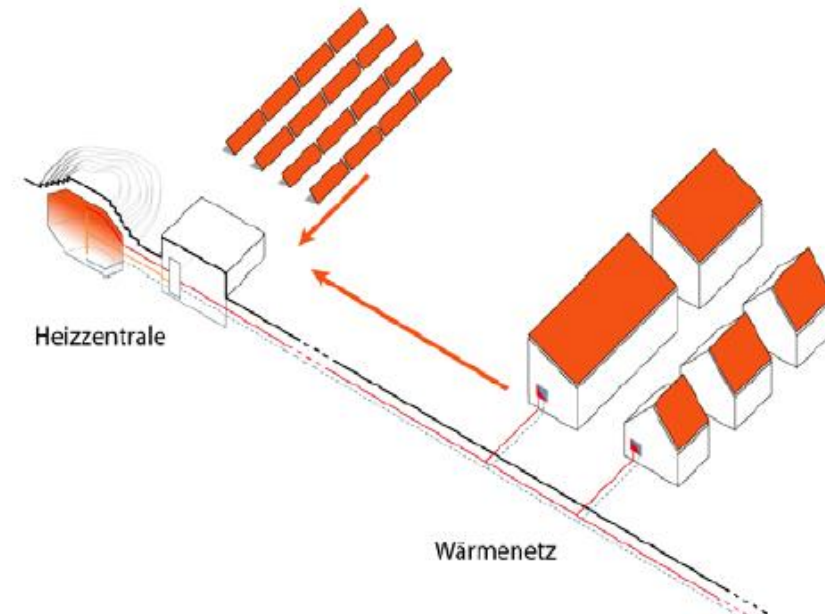
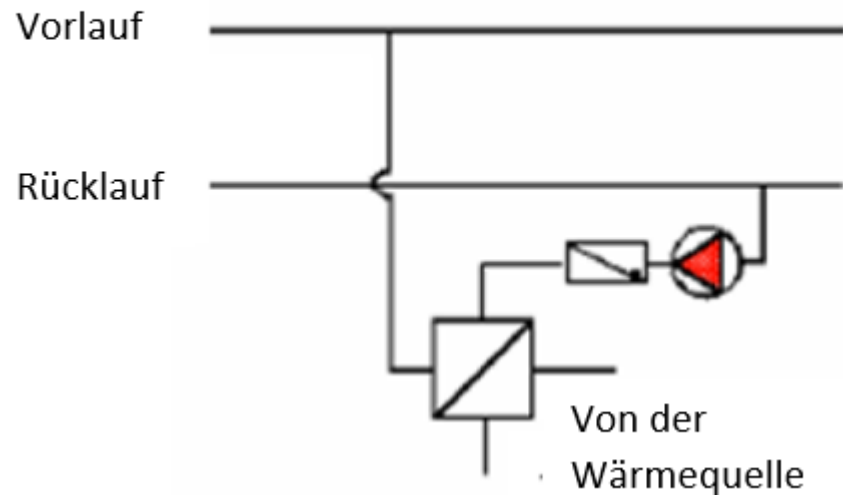


Abb. 21: zentrale Einspeisung; solites [6]

Einspeiseprinzipien - dezentral

solare Erwärmung des Rücklaufs >
Einspeisung in den Vorlauf



- Erforderlicher Temperaturhub im Wärmeezeuger wird durch Vor- und Rücklauf des Heiznetzes definiert
- Solaranlage muss mit angepassten Vorlaufmengen betrieben werden, angepasst an die erforderliche Vorlauftemperatur
- Einspeisepumpe muss Druckunterschiede zwischen Rücklauf und Vorlauf überwinden (kann mehrere bar betragen)
 - + keine Änderung der Rücklauftemperaturen
 - hohe Pumpenleistungen erforderlich

Abb. 22: dezentrales Einspeiseprinzip solare Erwärmung Rücklauf, Einspeisung in Vorlauf; Darstellung Solar District Heating [13]

Einspeiseprinzipien - dezentral

solare Erwärmung des Rücklaufs >
Einspeisung in den Rücklauf

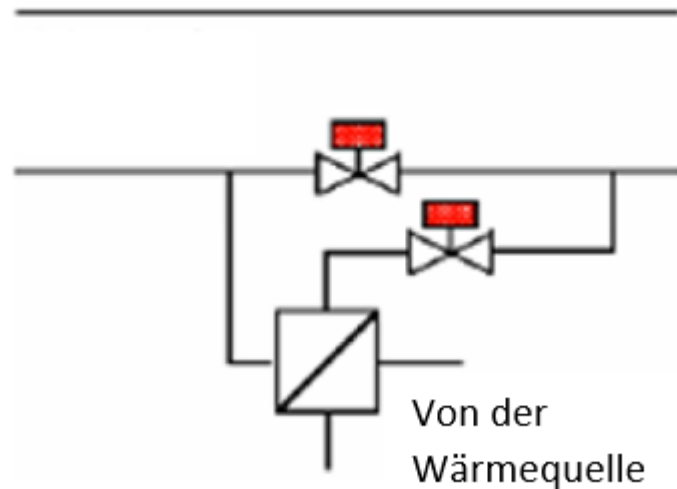
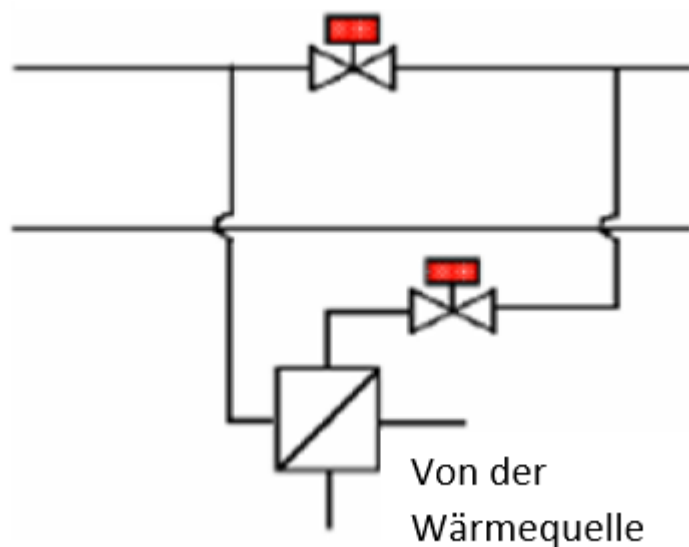


Abb. 23: dezentrales Einspeiseprinzip in den Rücklauf; Darstellung Solar District Heating [13]

- Betriebstemperaturen der Solaranlage im Vergleich zu anderen Einspeisearten am niedrigsten
- Hohe Solarerträge sind zu erwarten
- Keine Pumpenergie erforderlich
- Konstanter Massenstrom in Kollektoren
- Netzbetreiber müssen einen Durchflusswiderstand installieren, um die Einspeisung durch Solaranlagen zu kontrollieren
- Hohe Rücklauftemperaturen sind ungünstig

Einspeiseprinzipien - dezentral

solare Erwärmung des Vorlaufs >
Einspeisung in den Vorlauf



- Hohe Betriebstemperaturen für die Kollektoren sind erforderlich
- Geringer solarthermischer Wirkungsgrad und Ertrag durch hohes Temperaturniveau

Abb. 24: dezentrales Einspeiseprinzip solare Erwärmung des Vorlaufs, Einspeisung in den Vorlauf; Darstellung Solar District Heating [13]

Einspeiseprinzipien - zentral

- Die Wärmeübertragung erfolgt mit Wärmetauschern in der Heizzentrale
- Klare Unterscheidung zwischen Sonnenzyklus und FW-Systemen
- Kombination von anderen Technologien zur Wärmeerzeugung mit solarthermischen Anlagen möglich

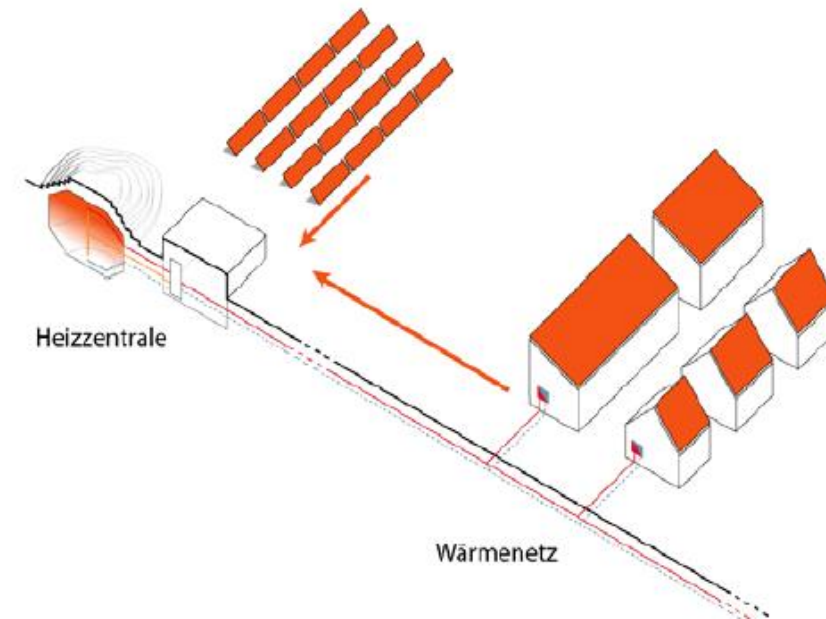


Abb. 25: zentrale Einspeisung; solites [6]

- Technisch kann Solarwärme mit jeder anderen Energieversorgungssystem kombiniert werden
→ **Die wirtschaftliche und ökologische Machbarkeit hängt von vielen Faktoren ab und muss für jeden Einzelfall abgeschätzt werden!**

Wechselwirkungen bei zwei Beispielen – Ziel immer Einsparung von Primärenergie

- **Erhöhung Temperatur des Rückflusses**
 - Erhöhung der Rücklaufemperatur / Abdeckung der Trinkwarmwasserbereitung im Sommer
 - Jedoch: Hohe Rücklaufemperaturen von Netzbetreibern nicht immer gewünscht
- **In Kombination mit einem Blockheizkraftwerk (BHKW)**
 - Solarthermische Anlagen könnten die Vollbenutzungstunden von BHKWs für die Stromerzeugung senken



Eckpunkte zu Investitions- und Betriebskosten [13]

Kosten für:

- Grundstücke zur Aufstellung der Solarkollektoren
- Kollektoren
- Montage der Kollektoren einschließlich Verrohrung
- Gefrierschutzmittel
- Übertragungsrohrleitung (Kollektorfeld zum Wärmetauscher)
- Wärmetauscher (einschließlich Pumpen, Ausdehnungsgefäße, Steuerung usw.)
- Anschluss an bestehende Fernwärme-Systeme
- Ggf. Speicher
- Steuerungssystem
- Planung & Optimierung
- Sonstiges (z. B. Gebäude, Bodengestaltung, Zaun, Rückschnitt Pflanzen, usw.)



Eckpunkte zu Investitionskosten & Wirtschaftlichkeit

- Wie groß soll die Anlage werden? Welchen Wärmebedarf gilt es zu decken?
- Wie groß sollte ein ggf. notwendiger Speicher sein? Welche Speicherzeiträume sollen abgedeckt werden (Kurzzeit- oder saisonaler Speicher? Wird ggf. eine weitere Wärmequelle z.B. Wärmepumpe benötigt, um das benötigte Temperaturniveau zu erreichen?
- Welche Fläche wird für die Anlage, insbesondere für das Kollektorfeld benötigt? Wie sind die rechtlichen Bedingungen auf einem ausreichend großen Grundstück?
- Welches Temperaturniveau ist notwendig? Welche Art der Kollektoren für die solarthermische Anlage wird benötigt? Wie sind die bestehenden Strukturen der Wärmeerzeugung?
- Wie sieht das zukünftige Szenario der Solareinspeisung aus? Welcher Rohrleitungsaufwand ergibt sich daraus?
- Wie hoch soll der solarthermische Wärmedeckungsgrad / die Jahresdauer geschätzt werden? Welche Art der Einspeisung: Vorlauf-/Rücklaufeinspeisung oder beides soll realisiert werden?
- Wie hoch sind die Energieeinsparungen durch andere integrierte/vorhandene Wärmequellen (z.B. (Bio)Gas / Biomasse usw)?
- Wie viel Förderung ist möglich?
- Wie hoch sind die Finanzierungskosten (Laufzeit, Zinssatz)?
- Wie entwickeln sich die Energiekosten in den nächsten Jahren?

ANHANG I: Mögliche Szenarien: Anforderungen an FW-Versorger / Solarkraftwerksbetreiber



LowTEMP2.0

- Solar-FW ist eine volatile Art der Energieerzeugung
- Prüfe am Einspeisepunkt, ob die vorgesehene thermische Last in das FW-Netz eingespeist werden kann
- **Szenario:** Ladezustand "Sommer" - geringste thermische Belastung, aber höchstmögliche solare Wärmeversorgung
- **Die folgenden Grundsätze sind zu beachten:**
 - **Solarthermische Last im Tagesverlauf kleiner als die thermische Netzlast Sommer**
Wärmeaufnahme jederzeit möglich, da der Fluss ins Netz gering bleibt
 - **Solarthermische Last im Tagesverlauf kleiner oder gleich der thermischen Netzlast Sommer**
Wärmeaufnahme vorübergehend nicht möglich → Pufferspeicher könnte sinnvoll sein
 - **Solarthermische Last im Tagesverlauf größer als thermische Netzlast Sommer**
Pufferspeicher erforderlich, der zeitlich verzögerte Einspeisung der solaren Wärmelast ermöglicht (ggf. auf Anforderung)
- Die Anlagengröße ist abhängig von der maximal transportierbaren Wärme.

ANHANG II: Solare Fernwärme (SFW) Online-Rechner – BEISPIEL



LowTEMP2.0

SDH ONLINE-RECHNER **SDH** solar district heating

Willkommen beim Online-Rechner für solare Nah- und Fernwärmeanlagen

Der hier zugängliche Online-Rechner für solare Nah- und Fernwärmeanlagen (SDH - solar district heating) steht interessierten Marktakteuren als nutzerfreundliches Rechenprogramm zur Verfügung. Er ermöglicht eine einfache erste Dimensionierung sowie Ertrags- und Wirtschaftlichkeitsberechnungen für solare Fernwärmeanlagen.

Das Rechenprogramm wurde auf der Basis umfangreicher und detaillierter TRNSYS-Systemsimulationen und unter Berücksichtigung zahlreicher Einflussfaktoren entwickelt. Die Berechnung ist für die im Auswahlmenü aufgelisteten Systemvarianten von Wärmenetzen mit zentraler oder dezentraler solarer Wärmeeinspeisung möglich.

>> Mehr Informationen zum Online-Rechner
>> Mehr Informationen zur solaren Nah- und Fernwärme
>> Mehr Informationen zur saisonalen Speicherung von Wärme

Der Online-Rechner ist entstanden in Zusammenarbeit von

gefördert durch:

solites **AGFW**

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

und mit Unterstützung durch ausgewählte Unternehmen der Solarthermie-Industrie.

Abb. 26: Auszüge Solar District Hearing - Rechner; solites [6]



SFW Online-Rechner

SDH ONLINE-RECHNER Zur Variantenauswahl

1 Schritt 1 Eingabe **2 Schritt 2** Erträge **3 Schritt 3** Wirtschaftlichkeit & Ökologie **4 Schritt 4** Ergebnis

Zentrale Einspeisung mit erdvergrabenem Behälter-Wärmespeicher | Eingabe

Standort	Frankfurt	?
Kollektortyp	Vakuum-Röhren Kollektor CPC	?
Kollektor-Aperturfläche in m ²	1200	?
Kollektorausrichtung in Grad	10	?
Kollektorneigung in Grad	44	?
Spezifisches Speichervolumen in m ³ /m ² _{Kollektorfläche}	0,3	?
Gesamtwärmebedarf in MWh/a	5200	?
Betriebstemperaturen im Wärmenetz in °C	VL(80), RL(50)	?

The diagram illustrates the energy flow: a sun icon represents solar radiation hitting a solar collector (represented by a house with a red roof and solar panels). An arrow points to a storage tank (a red cylindrical tank with a white top), which then has an arrow pointing to a cluster of buildings, representing the distribution of heat to the district.

Abb. 27: Auszüge Solar District Hearing - Rechner; solites [6]

SFW Online-Rechner

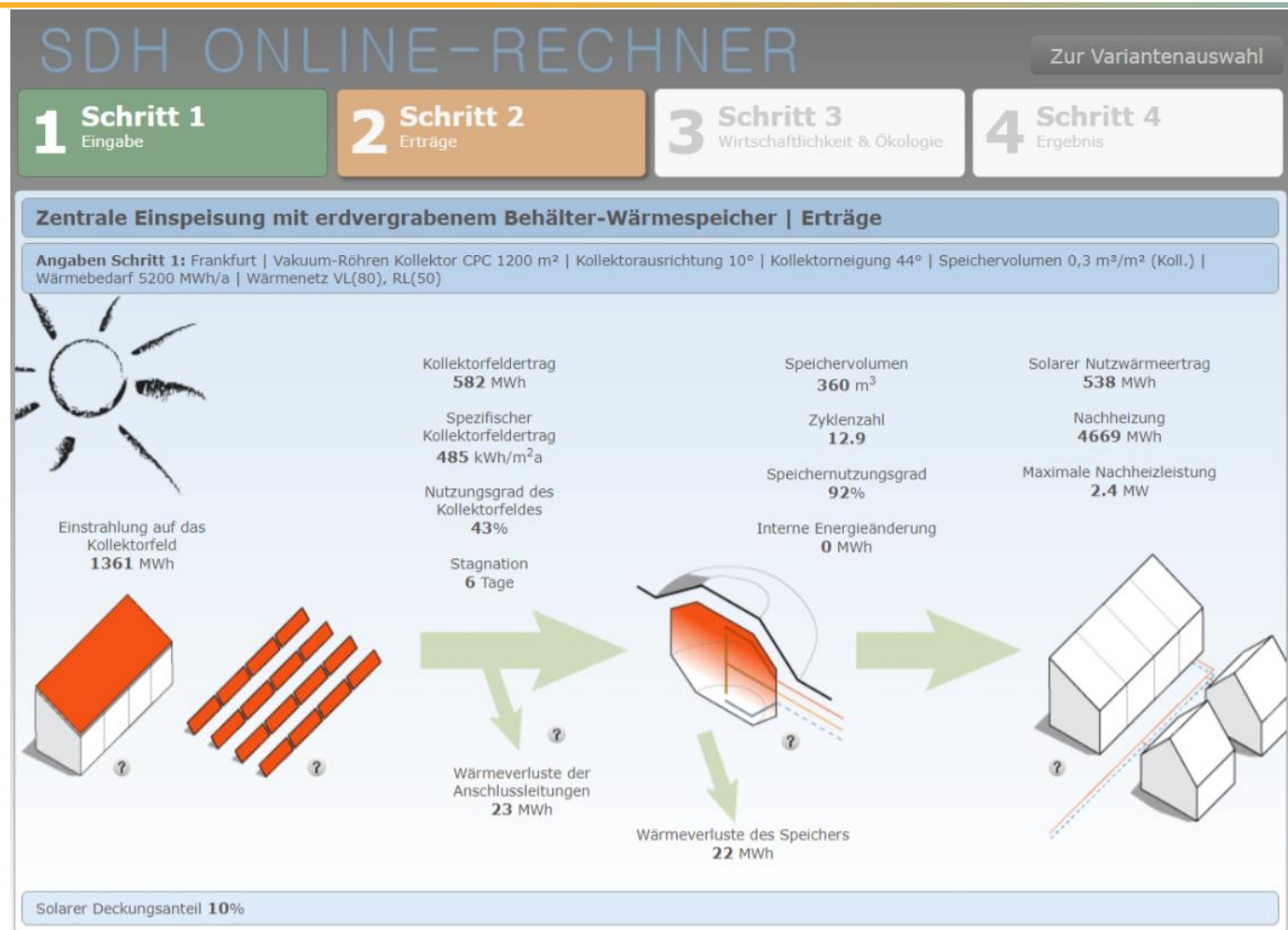


Abb. 28: Auszüge Solar District Hearing - Rechner; solites [6]

SFW Online-Rechner

SDH ONLINE-RECHNER

[Zur Variantenauswahl](#)

1 Schritt 1
Eingabe

2 Schritt 2
Erträge

3 Schritt 3
Wirtschaftlichkeit & Ökologie

4 Schritt 4
Ergebnis

Zentrale Einspeisung mit erdvergrabenem Behälter-Wärmespeicher | Wirtschaftlichkeit & Ökologie
Die Wirtschaftlichkeitsberechnung erfolgt vereinfacht nach VDI 2067 unter Berücksichtigung der Hauptkomponenten.

Wirtschaftlichkeit	Ökologie
Spezifische Kollektorfeldkosten in €/m ² <input style="width: 80%;" type="text" value="392"/>	Energieträger der Zusatz-Wärmeerzeugung <input style="width: 80%;" type="text" value="Biomasse"/>
Förderquote Kollektorfeldkosten in % <input style="width: 80%;" type="text" value="40"/>	Nutzungsgrad der Zusatz-Wärmeerzeugung in Prozent <input style="width: 80%;" type="text" value="90"/>
Spezifische Speicherbaukosten in €/m ³ <input style="width: 80%;" type="text" value="372"/>	Energieträger der Referenz-Wärmeerzeugung <input style="width: 80%;" type="text" value="Gas"/>
Förderquote Wärmespeicherkosten in % <input style="width: 80%;" type="text" value="40"/>	Nutzungsgrad der Referenz-Wärmeerzeugung in % <input style="width: 80%;" type="text" value="90"/>
Zinssatz in % <input style="width: 80%;" type="text" value="4"/>	
Brennstoffkosten in €/MWh <input style="width: 80%;" type="text" value="50"/>	
Kosten für Betriebsstrom in €/MWh <input style="width: 80%;" type="text" value="50"/>	

Abb. 29: Auszüge Solar District Heating - Rechner; solites [6]

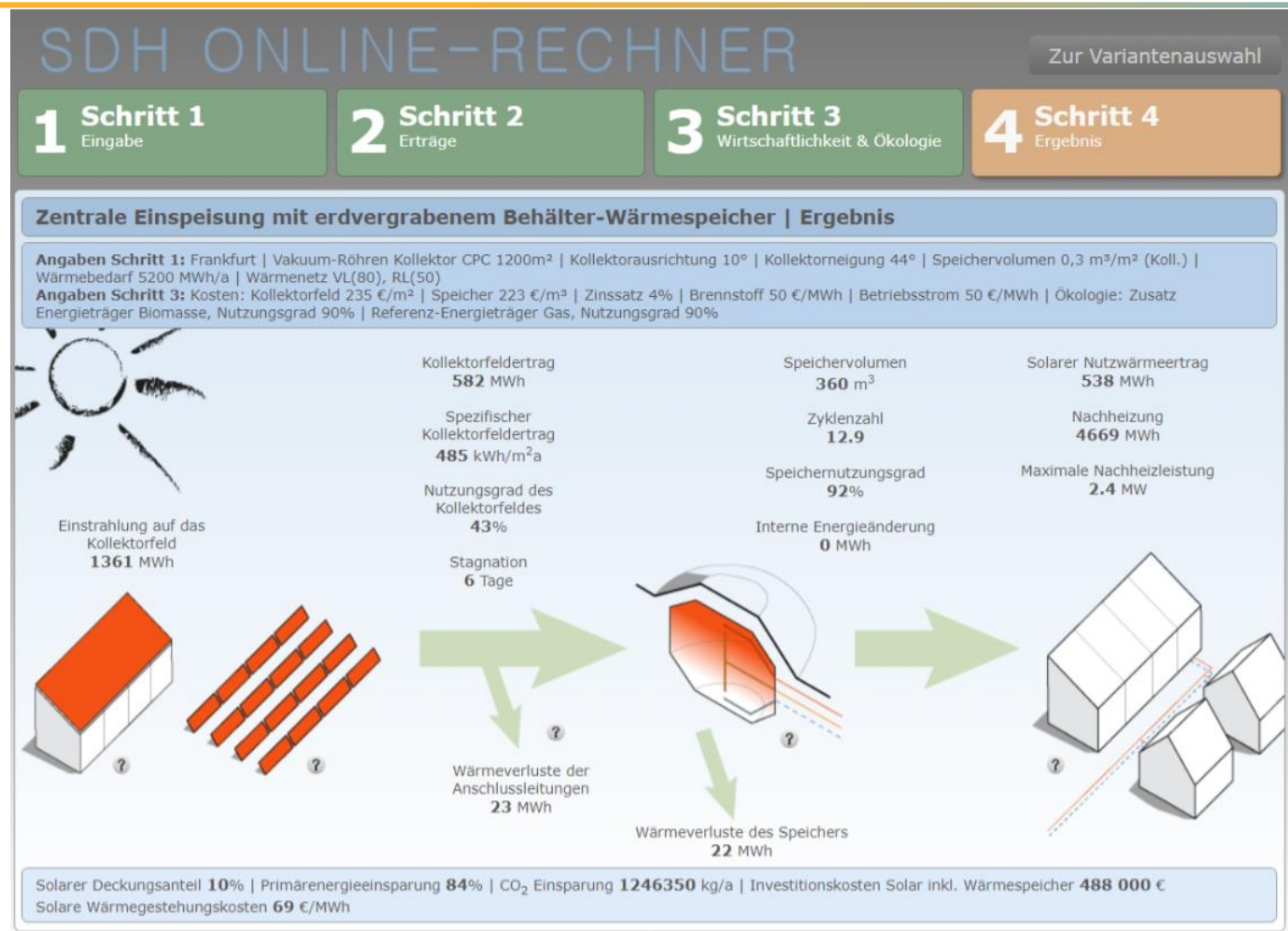


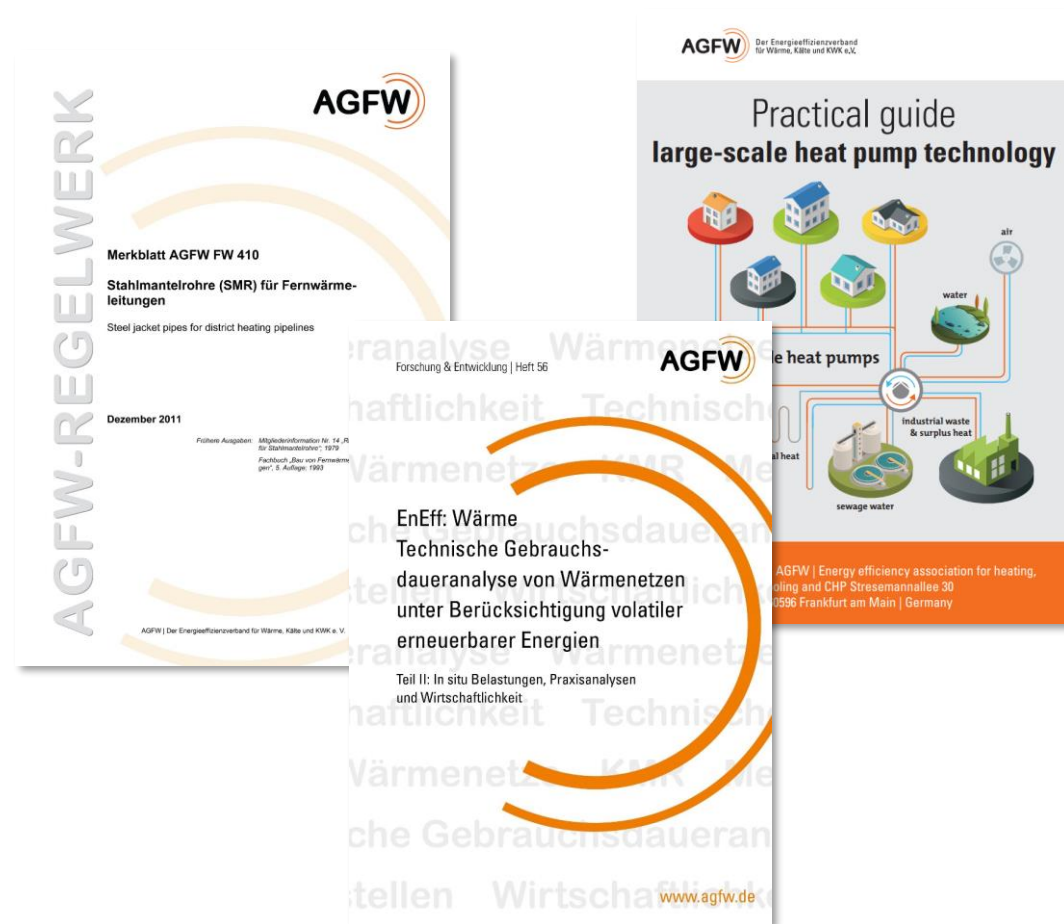
Abb. 30: Auszüge Solar District Heating - Rechner; solites [6]

Nachweis für Inhalte

Die fachlichen Inhalte sowie Abbildungen dieses Lehrmoduls basieren zu großen Teilen auf den Arbeitsblättern und Fachbüchern der **AGFW-Projektgesellschaft für Rationalisierung, Information und Standardisierung mbH.**

Diese AGFW-Fachliteratur ist unter www.agfw.de erhältlich

Außerdem führt die AGFW Tagungen, Seminare, Inhouse-Schulungen und Workshops zu energietechnischem, -wirtschaftlichem und -rechtlichem Fachwissen durch. Informieren Sie sich unter www.agfw.de





LowTEMP2.0

Kontakt

AGFW-Projekt GmbH

Projektgesellschaft für Rationalisierung,
Information & Standardisierung

Georg Bosak
Abteilung für Stadtentwicklung

Stresemannallee 30
60596 Frankfurt am Main
Deutschland

E-Mail: info@agfw.de
Tel: +49 69 6304 - 247
www.agfw.de

Übersetzung und Anpassung:

Brandenburgische Technische Universität
Cottbus-Senftenberg

Prof. Dr.-Ing. Matthias Koziol
Cornelia Siebke
Delasi de Souza

Konrad-Wachsmann-Allee 4
03046 Cottbus
Deutschland

E-Mail: siebke@b-tu.de
Telefon: +49 355 69 27 37
www.stadttechnik.de
www.lowtemp.eu



Quellennachweis

- [1] Arbeitsgemeinschaft QM Fernwärme (2017): planning manual District heating
- [2] Gholami & Røstvik (2020). Economic analysis of BIPV systems as a building envelope material for building skins in Europe. Energy. 117931. 10.1016/j.energy.2020.117931. https://www.researchgate.net/figure/The-theoretical-potential-map-of-solar-irradiance-in-Europe-44_fig2_341648073 [zuletzt geprüft am 01.11.21]
- [3] Ritter XL Solar. <https://www.ritter-xl-solar.de/anwendungen/solare-fernwaerme/> [zuletzt geprüft am 01.11.21]
- [4] LowTEMP Project. Copyright Stefan Simonides
- [5] Darstellung AGFW-project GmbH auf Grundlage: Sunpower. <https://www.sunpower-solar.com> & baunetz_wissen. <https://www.baunetzwissen.de/glossar/h/heat-pipe-prinzip-674868>. [zuletzt geprüft am 18.12.20]
- [6] Solites. <https://www.solites.de/>. [zuletzt geprüft am 10.06.21]
- [7] Ritter-XL-Solar. <https://www.ritter-xl-solar.de/>. [zuletzt geprüft am 10.06.21]
- [8] Viessmann Werke. www.viessmann.com/. [zuletzt geprüft am 10.06.21]
- [9] Solarwärme (2014). Translated & adjusted by AGFW Project-GmbH
- [10] Frank Tebbe: <http://www.paradigma-tebbe-gmbh.de/solar.htm> [zuletzt geprüft am 10.12.21]
- [11] Volker Quaschnig: <https://www.volker-quaschnig.de/articles/fundamentals4/index.php> [zuletzt geprüft am 20.09.21]
- [12] Frank, E., Mauthner, F., & Fischer, S. (2015). Overheating prevention and stagnation handling in solar process heat applications. *International Energy Agency-Solar Heating and Cooling Task*, 49.
- [13] Solar District Heating (SDH) (2012). Solar district heating guidelines – Collection of fact sheets WP3-D3.1 & D.3.2. Page 2-5 Fact sheet 6.2)
- [14] ganzjährige Solarabdeckung Quelle: Mathilde Kolbe 2018. Integration solarthermischer Großanlagen in Nah- und Fernwärme. <https://silo.tips/download/integration-solarthermischer-groanlagen-in-nah-und-fernwrme> [zuletzt geprüft am 01.11.21]
- [15] IKZ 2020. <https://www.ikz.de/detail/news/detail/saisonale-waermespeicher/> [zuletzt geprüft am 10.06.21]
- [16] Solar District heating Rechner von Solites. <https://sdh-online.solites.de/> [zuletzt geprüft am 10.12.21]