

Chancen durch Solarwärme und thermische Energiespeicher für das Energiesystem Schweiz 2050

Ziel des Projektes

Klärung der Fragen:

————→ **Welche Rolle** spielen Solarwärme und thermische Energiespeicher **im Energiesystem 2050?**

————→ **Welche Hemmnisse** stehen dieser künftigen Rolle heute im Weg?

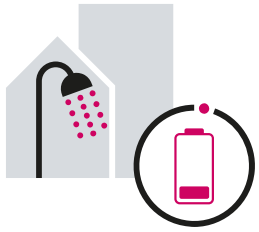
Leitfragen für das Vorgehen

1. Welche **Einsatzmöglichkeiten** gibt es für Solarwärme und thermische Energiespeicher?
2. Welche **Beiträge** leisten die Systeme über das Jahr gesehen?
3. Welche **Wärmegestehungskosten** bestehen in welchen Systemen?
4. Welche **Stärken und Schwächen** vereinen diese Systeme?
5. Welche Rolle spielen die Systeme im **Energiesystem 2050**?
6. Welche **Hemmnisse** zur künftigen Rolle bestehen heute?
7. Welche **Massnahmen** reduzieren diese Hemmnisse?

Leitfrage 1

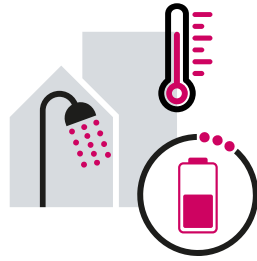
Welche **Einsatzmöglichkeiten** gibt es für Solarwärme und thermische Energiespeicher?

Wichtigste Einsatzmöglichkeiten von Solarthermie und Energiespeichern



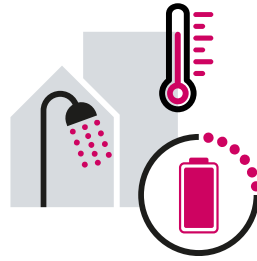
System 01
Warmwasser

Tagesspeicher



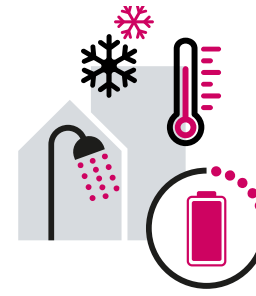
System 02
Warmwasser
Raumwärme

Wochenspeicher

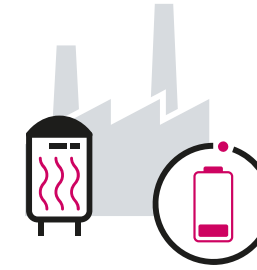


System 03
Warmwasser
Raumwärme

Saisonspeicher

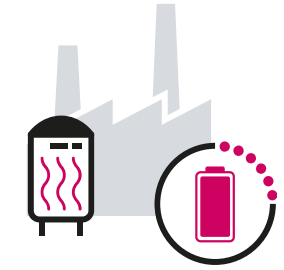


System 04
Warmwasser
Raumwärme
Kühlung
Saisonspeicher



System 05
Prozesswärme

Tagesspeicher



System 06
Prozesswärme

Saisonspeicher

Speicherart



täglich



wöchentlich



saisonal

Bedarf



Warmwasser



Raumwärme

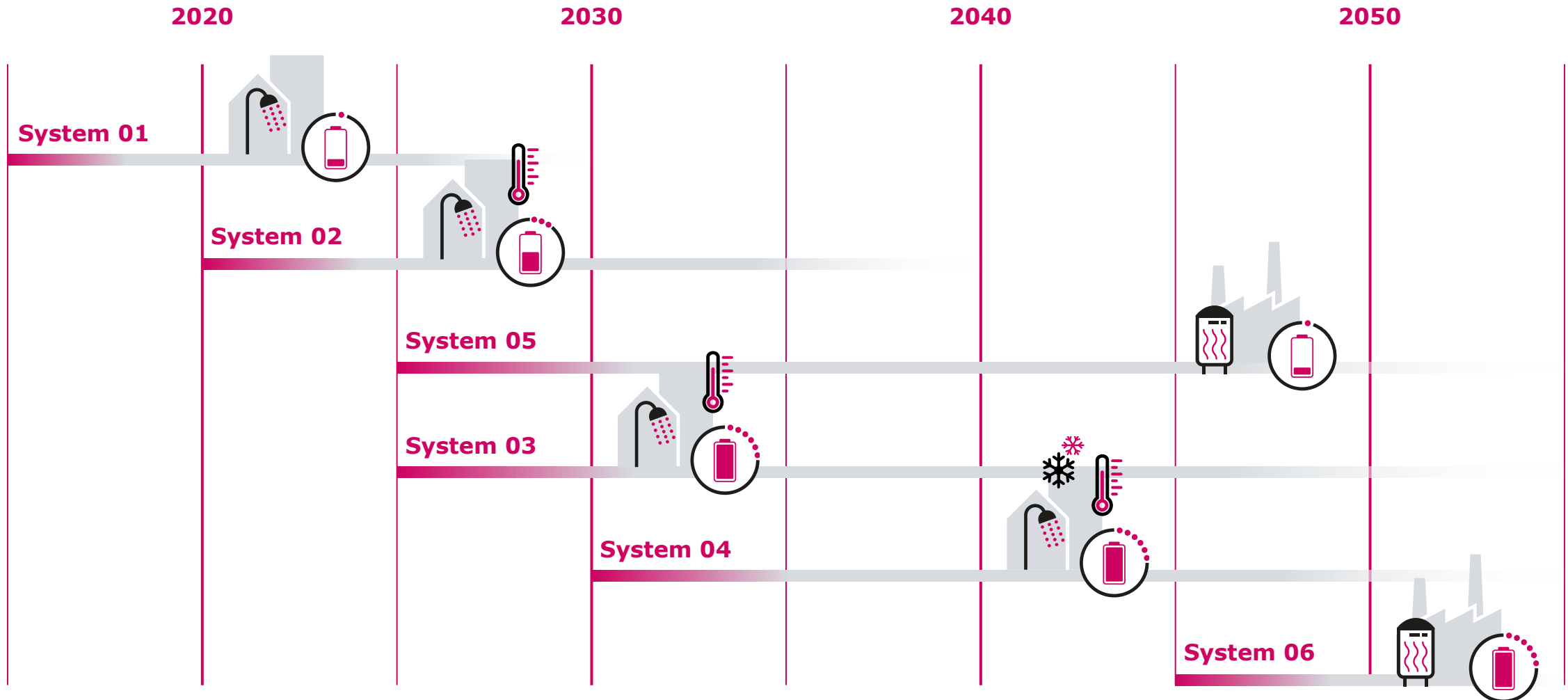


Kühlung



Prozesswärme

Wichtigste Einsatzmöglichkeiten von Solarthermie und Energiespeichern



Leitfrage 2

Welche **Beiträge** leisten die Systeme über das Jahr gesehen?

Dynamische Systemsimulationen (TRNSYS) für typische solarthermische Systeme und für folgende Bedarfssituationen in der Schweiz:

- **Warmwasserbereitung** (WW)
- **Heizwärme im Neubau:** Einfamilienhaus (EFH 45), Mehrfamilienhaus (MFH 30)
jährlicher Heizwärmebedarf pro Energiebezugsfläche: 45 bzw. 30 kWh/m²a
- **Heizwärme im Altbau:** Einfamilienhaus (EFH 100), Mehrfamilienhaus (MFH 90)
jährlicher Heizwärmebedarf pro Energiebezugsfläche: 100 bzw. 90 kWh/m²a
- **Wärmenetze:** Wärmeverbund für Wohnen & Gewerbe (Netz 60/30) und (Netz 80/50)
Vorlauf- und Rücklauftemperatur: 60/30 bzw. 80/50 °C
Aufteilung Heizbedarf zu WW: 10/90 bzw. 30/70

Methode

Die betrachteten Anlagentypen sind:

- solare Warmwasserbereitung (WW)
- solare Warmwasserbereitung mit Heizungsunterstützung (WW-Heiz)
- solar unterstützte Fernwärmenetze mit saisonalem Wärmespeicher (Netz)

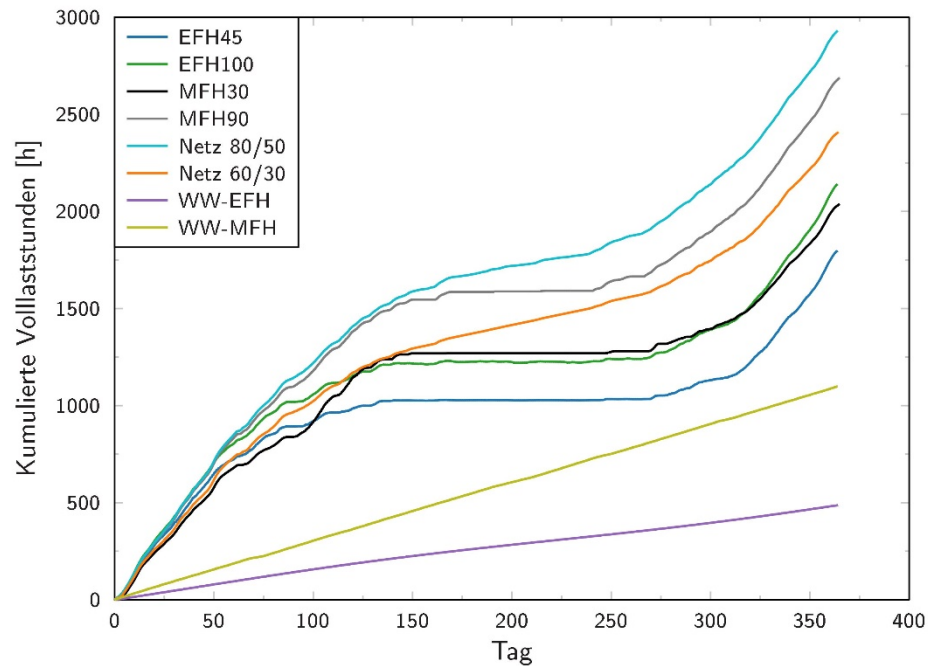
Ziel: für jeden Anlagentyp typische Kennzahlen für:

- solarer Wärmeertrag
- solarer Deckungsgrad
- Investitionskosten
- Wärmegestehungskosten

Anmerkung:

Der industrielle Wärmebedarf wurde in diesem Arbeitspaket nicht betrachtet.

Wärmebedarfsprofile

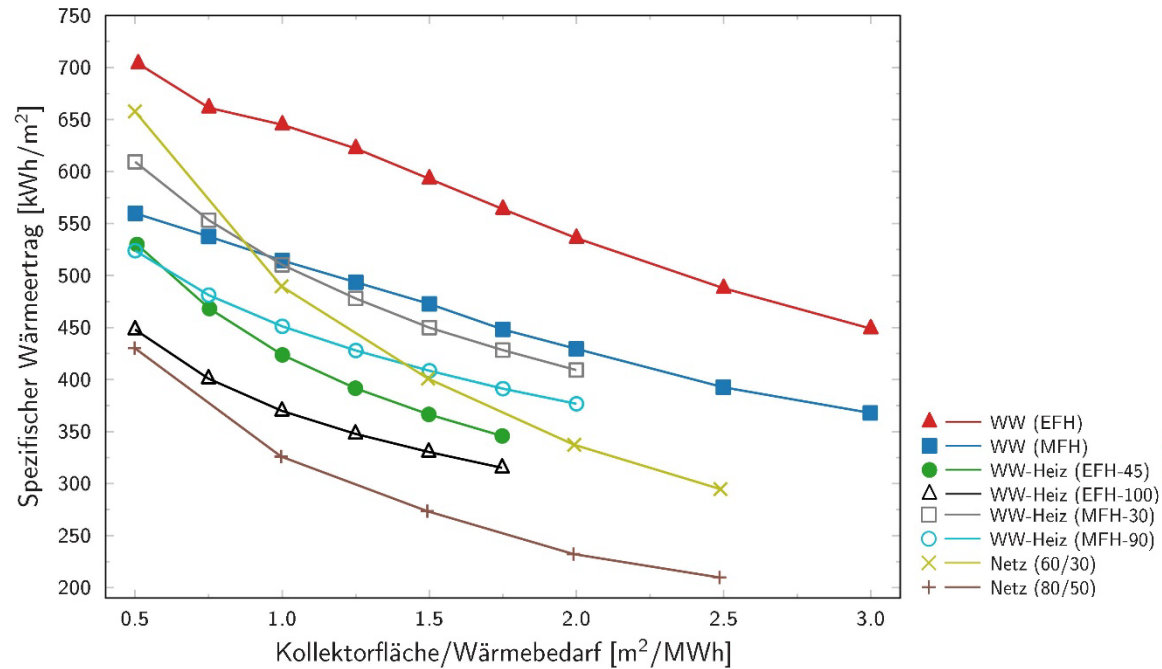


Kumulierte Volllaststunden des Wärmebedarfs über das Jahr

Resultate

- Kontinuierlicher Verlauf des Warmwasserbedarfs
- Plateau des Heizbedarfs im Sommer
- Wärmenetze haben auch im Sommer Wärmebedarf

Spezifischer Solarwärmeertrag



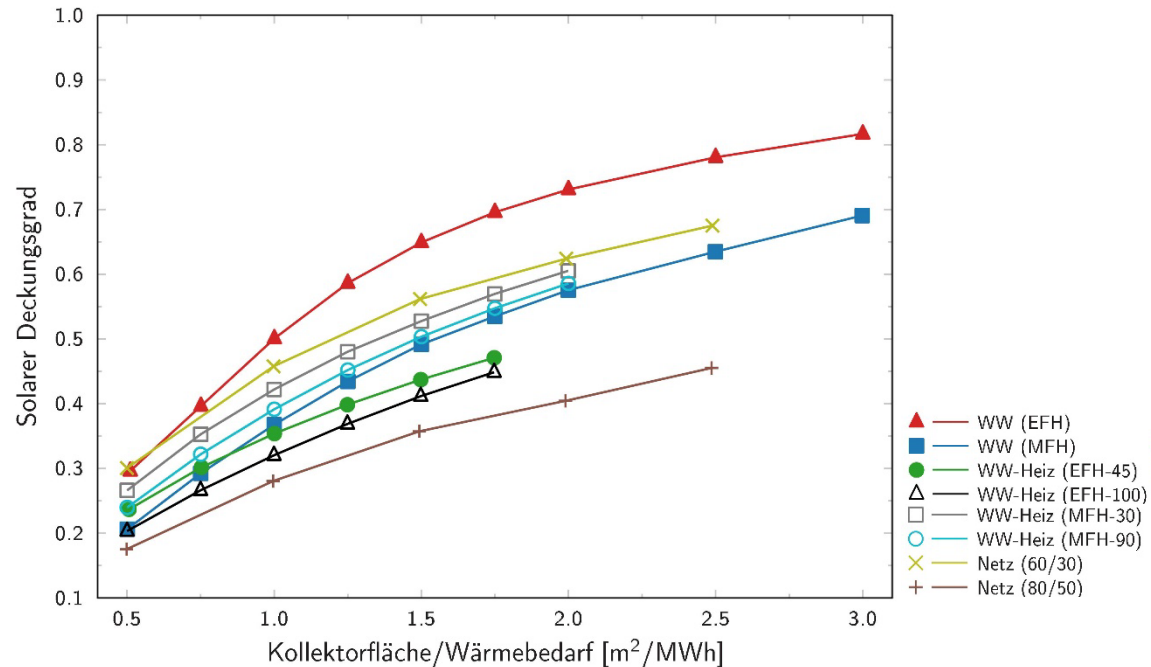
Spezifischer Wärmeertrag pro Kollektorfläche für
verschieden grosse dimensionierte Anlagen

Resultate

Der spezifische Wärmeertrag liegt zwischen
200 und 700 kWh/m²a

Er ist umso geringer, je grösser die
Kollektorfläche ist

Solarer Deckungsgrad



Anteil der Solarwärme am gesamten Wärmebedarf
(Solarer Deckungsgrad) für verschieden grosse
dimensionierte Anlagen

Resultate

Solarer Deckungsgrad erreicht bis zu 80%

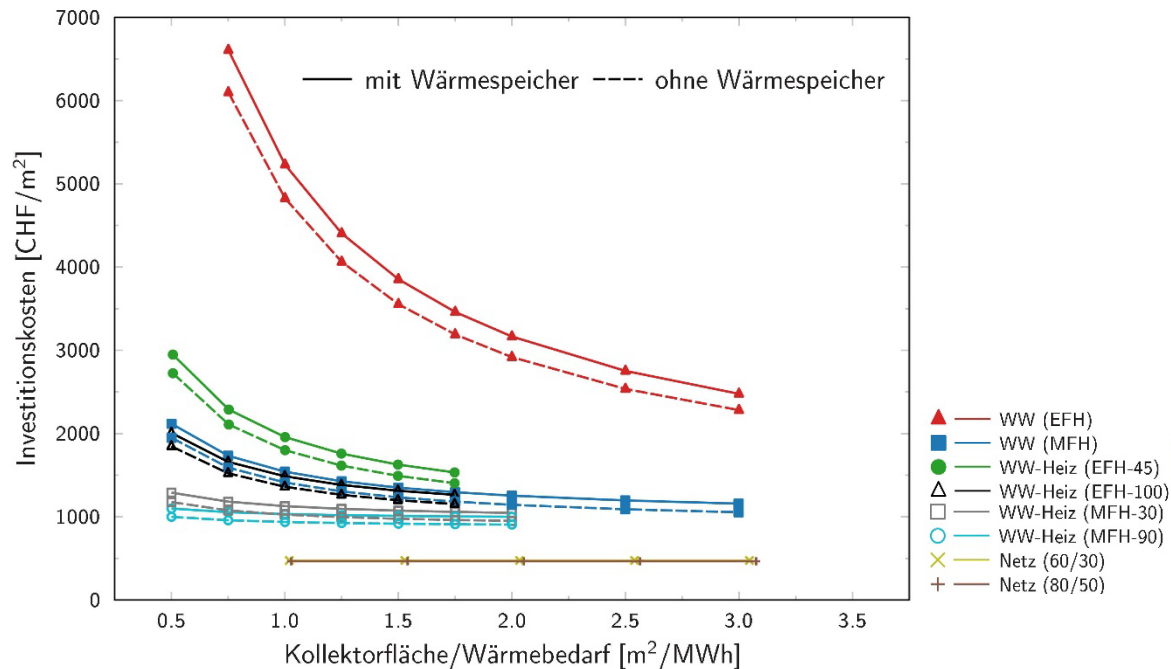
Er steigt mit grösserer Kollektorfläche

Warmwasserbereitung erreicht höheren
Deckungsgrad als Heizungsunterstützung

Leitfrage 3

Welche **Wärmegestehungskosten** bestehen in welchen Systemen?

Investitionskosten



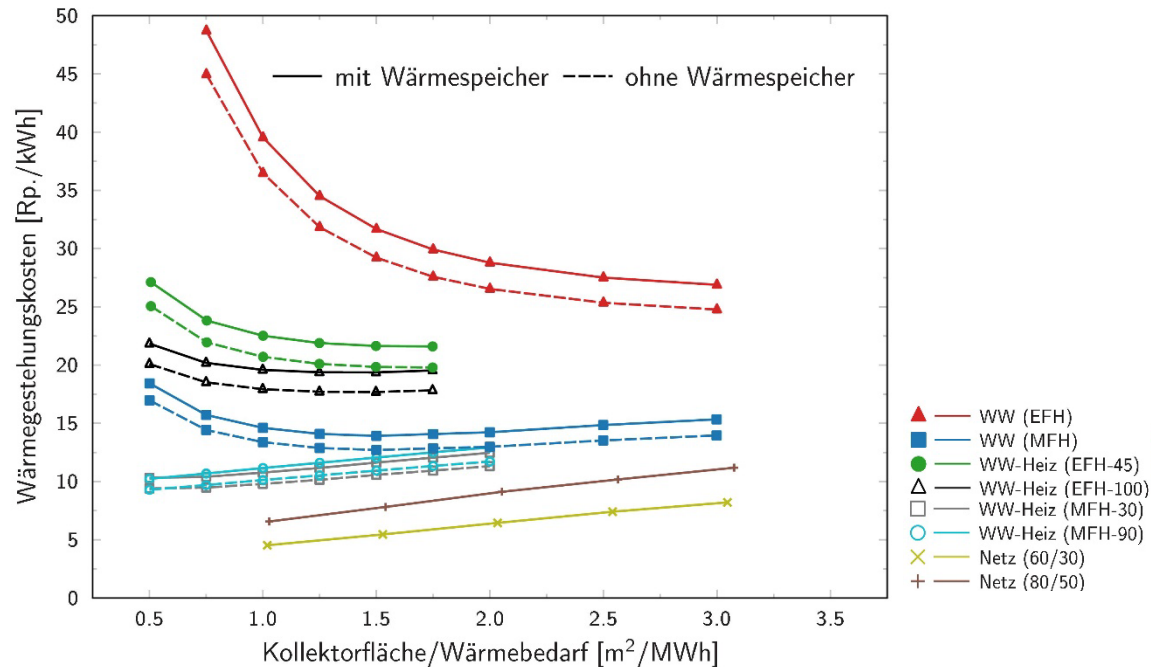
Spezifische Investitionskosten pro Kollektorfläche für verschieden grosse dimensionierte Anlagen, mit / ohne der Investition in den Wärmespeicher (bei der Fernwärmeunterstützung nur inklusive Speicher)

Resultate

spezifische Investitionskosten sind umso geringer, je grösser die absolute Fläche ist

- Kleine Systeme im Bereich von 2'000-4'000 Fr./m²
(zu kleine Anlagen sind nicht sinnvoll)
- Mittlere Systeme im Bereich von 1'000-2'000 Fr./m²
- Grosse Systeme (Wärmeverbünde) etwa 400 Fr/m²

Wärmegestehungskosten



Gestehungskosten der Solarwärme für verschieden gross dimensionierte Anlagen, mit / ohne Berücksichtigung des Wärmespeichers (bei der Fernwärmeunterstützung nur inklusive Speicher)

Resultate

(Zins 1%, Laufzeit 30 a)

- In Wärmeverbünden in Stadtteilen: 5 Rp./kWh
- Kombisysteme im MFH: 10 Rp./kWh
- Warmwasser im MFH: 15 Rp./kWh
- Kombisysteme im EFH: 20 Rp./kWh
- Warmwasser im EFH: 30 Rp./kWh

Leitfrage 4

Welche **Stärken und Schwächen** vereinen diese Systeme?

Stärken

- Für *Warmwasser* eine etablierte Technologie, mit hohem Wirkungsgrad und hohem spezifischer Ertrag
- Der Einsatz spart direkt Brennstoff und damit CO₂
- In Kombination mit einer Holzheizung wird der Einsatz der speicherbaren Ressource Holz im Sommer reduziert
- Für *Raumheizung* geringerer Gesamtwirkungsgrad, aber geeignete Wärmequelle für eine Wärmepumpe in Kombination mit Eisspeicher.

Schwächen

- Solarthermische Systeme benötigen meistens eine zusätzliche Heizung.
- Die öffentliche Meinung sieht Solarwärme als nicht zukunftsfähig an.
- Solarwärme ist eher teuer.
- Ein hoher Solaranteil macht ein großes Speichervolumen notwendig.
- Das Know-how verschwindet bei Installateuren.

Stärken

- Solarwirkungsgrad kann hoch sein.
- Wärmekosten von Freiflächenanlagen können sehr tief sein.
- Mit Biomassekesseln kann 100% erneuerbare Wärmeversorgung realisiert und ein Teillast-Betrieb des Kessels im Sommer vermieden werden.

Schwächen

- Freiflächenanlagen haben in der Schweiz regulatorische Nachteile.
- Grossflächige Dachinstallationen sind viel teurer als Freiflächenanlagen.
- Ein hoher Solaranteil erfordert saisonale Speicher in der Größenordnung von 1,5-2 Kubikmeter pro m² Kollektorfläche.

Stärken

- Wärmekosten von Freiflächenanlagen können tief und stabil sein.
- Die Systemintegration kann sehr einfach sein.
- Im Vergleich zu Wärmepumpen hoher Wirkungsgrad für Hochtemperaturlift.

Schwächen

- Solarwärme erfordert hohe Investitionen ausserhalb des Kerngeschäftes.
- Es gibt wenig Know-how und Erfahrung auf Anbieterseite.
- Contractoren solcher Anlagen haben Schwierigkeiten, ihre Risiken zu decken.
- Falls eine gute Wärmequelle verfügbar ist, sind Wärmepumpen die bessere Option.

Leitfrage 5

Welche Rolle spielen die Systeme
im **Energiesystem 2050?**

Vorgehen: Modellierung des Energiesystems Schweiz

1. Modellierung des Gesamt-Energiesystems Schweiz (Strom, Wärme, Mobilität)
2. Entwicklung von Szenarien, wie die Schweiz ihre Treibhausgasemissionen auf Netto-Null reduzieren kann.
3. Zur Kompensation anderer Sektoren muss das Energiesystem der Atmosphäre effektiv CO₂ entziehen (negative Emissionen durch CO₂-Speicherung)
4. Vorgehen bei der Modellierung
 - Variation des CO₂-Ziels von +20 Mt/a bis -8 Mt/a
 - Minimierung der Gesamtkosten (Investition, Betrieb) für ein bestimmtes CO₂-Ziel
 - Monte-Carlo Analyse durch Variation zahlreicher Einflussgrößen wie Bevölkerung, Klima, Technologiekosten, Verfügbarkeit von Technologien, usw.
 - Auswertung der Ergebnisse hinsichtlich der Solarthermie als einer Komponente im zukünftigen Energiesystem.

Gesamtenergiesystem, Einbettung der Solarthermie

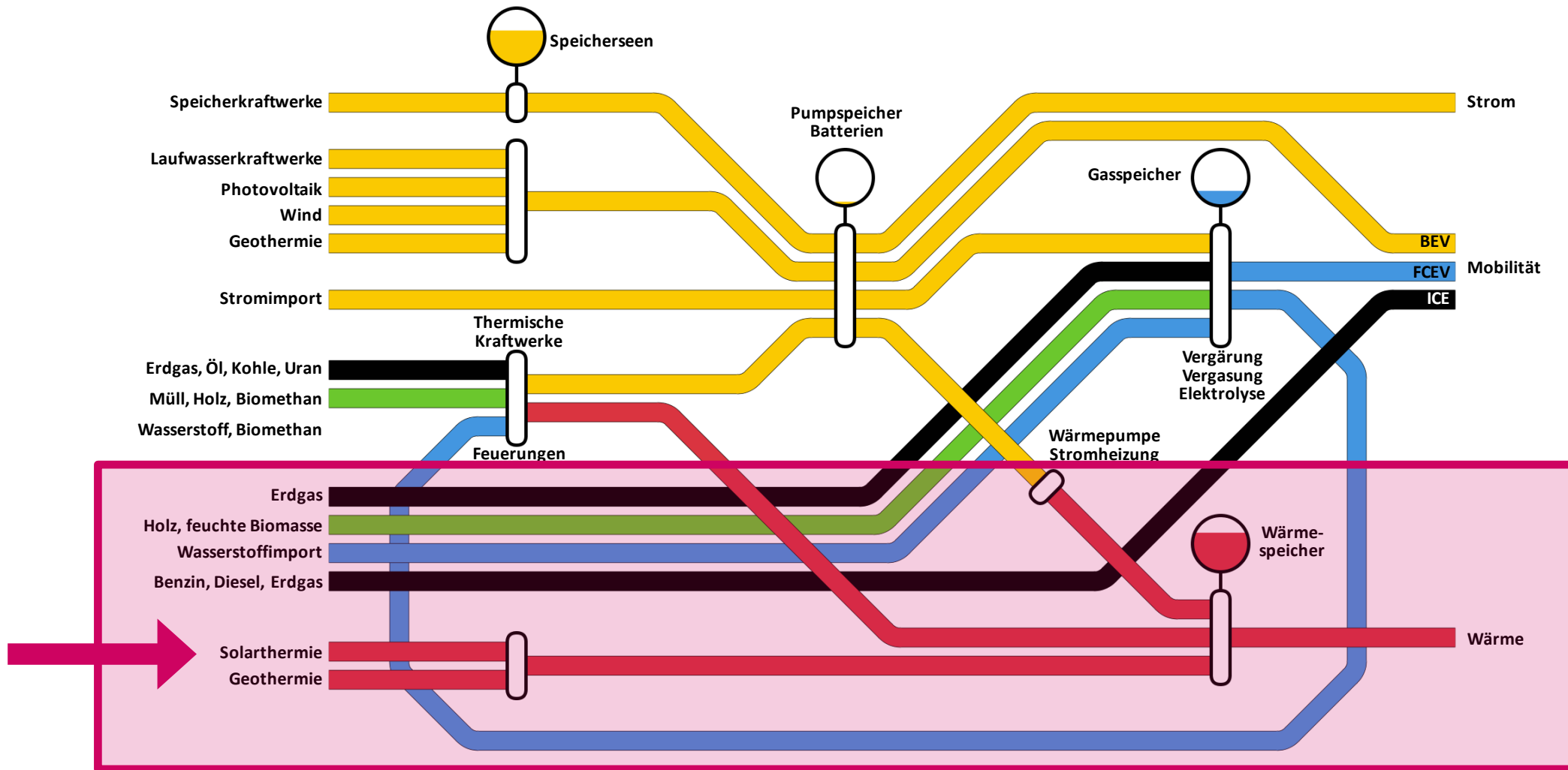


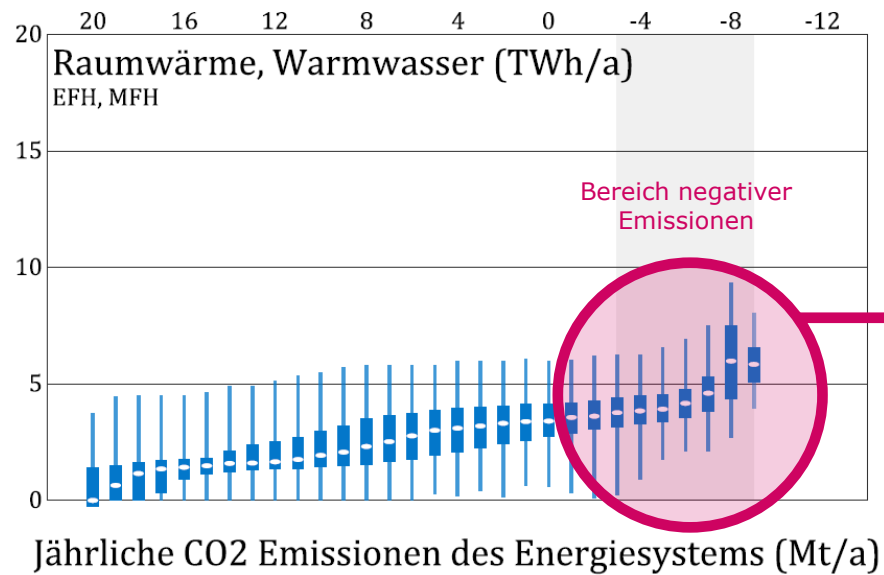
Abbildung der Solarwärme im Modell

Das Modell sieht folgende Möglichkeiten für die Solarwärme vor:

- Ein- und Mehrfamilienhäuser, kombiniert mit einem zusätzlichen System (Heizöl, Gas, Wärmepumpen, Holz)
- Wärmenetze, kombiniert mit einem zusätzlichen System (WKK mit Gas oder Holz, Wärmepumpe mit Grund/See/Flusswasser, KVA)
- Industrielle Prozesswärme (inkl. CO₂-Abscheidung) kombiniert mit einem zusätzlichen System (WKK mit Gas oder Holz)
- Alle Systeme können mit Speichern kombiniert werden (Kurzzeitspeicher, Saisonale Speicher, Eisspeicher)

Jährliche Erzeugung von Solarwärme

Ein- und Mehrfamilienhäuser



Erklärung

Stabiler Beitrag zur Einsparung begrenzter Ressourcen wie Holz

Erkenntnisse für Ein- und Mehrfamilienhäuser

Solarwärme wird eingesetzt, um eine anderweitig begrenzte Ressource einzusparen

- **Holz** wird für industrielle Prozesswärme und für die Vergasung benötigt, um Wasserstoff und negative CO₂ Emissionen zu erzeugen
- **Heizöl und Erdgas** sind aufgrund des Netto-Null-Ziels begrenzt.
- **Wärme im Erdreich** wird auch als begrenzt angenommen.

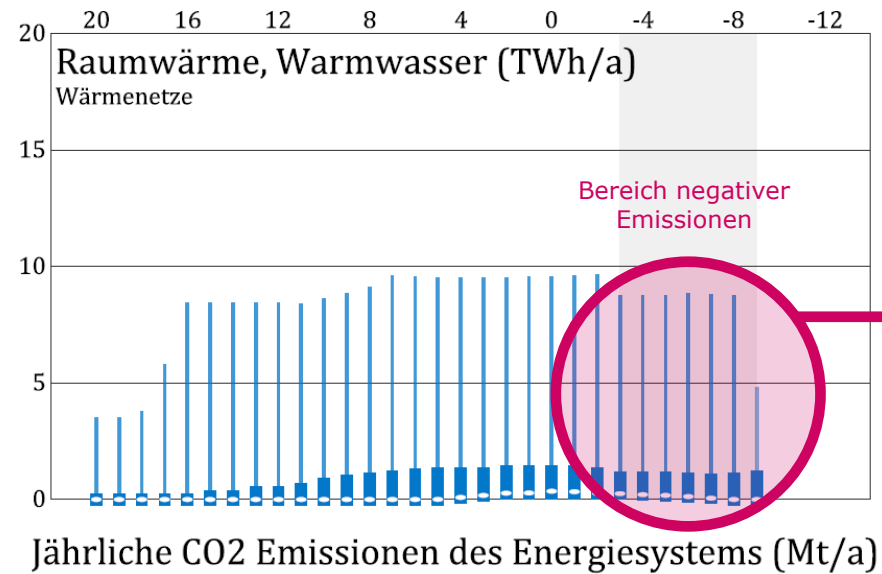
Die Einsparung erfolgt direkt, über die Regeneration des Erdreichs oder über Solar-Eis-Systeme. Dabei steht Solarwärme in klarer Konkurrenz zu Luft-Wasser Wärmepumpen.

Total Ein- und Mehrfamilienhäuser

Insgesamt ergeben sich 3-5 TWh/a an Solarwärme in einem Netto-Null Szenario. Die spezifische installierte Absorberfläche ist 0.3-0.5 m²/MWh.

Jährliche Erzeugung von Solarwärme

Wärmenetze



Erklärung

Stark abhängig von der Verfügbarkeit von Geothermie und Anergiequellen

Erkenntnisse für Wärmenetze

Solarwärme ist nicht Teil der kostenoptimalen Lösung, wenn ...

... Flüsse oder Seen genügend Wärme bereitstellen und

... Tiefengeothermie auf Nutztemperatur-Niveau verfügbar ist.

Der Kostennachteil ist gering, die tatsächliche Entscheidung für/gegen Solarwärme wird daher von anderen Faktoren abhängen:

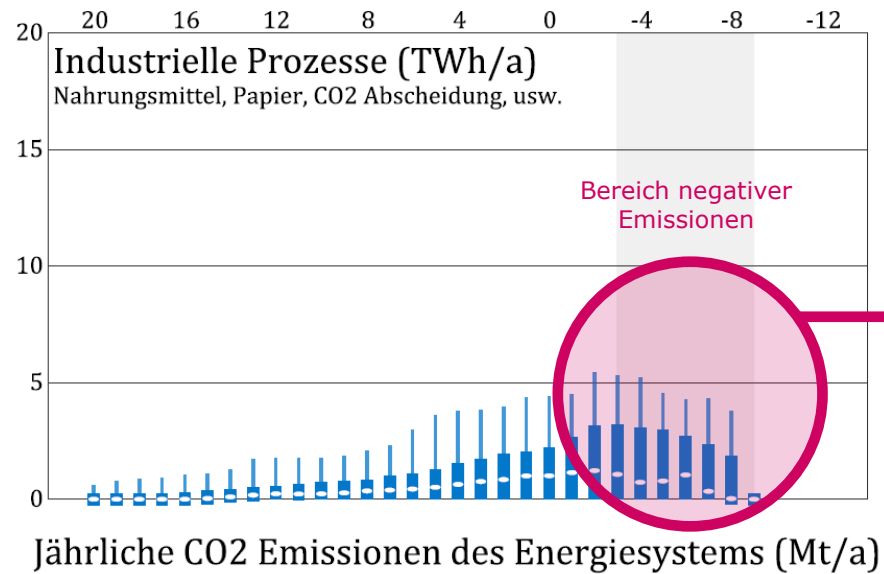
- Räumlicher Zugang zu Flüssen oder Seen
- Technologische Entwicklung der Tiefengeothermie

Total Wärmenetze

Insgesamt ergeben sich 0-7 TWh/a an Solarwärme in einem Netto-Null Szenario.
Solarwärme ist immer mit einem saisonalen Wärmespeicher kombiniert.

Jährliche Erzeugung von Solarwärme

Industrie



Erklärung

Stark abhängig von der Verfügbarkeit von Geothermie

Solarwärme ist nicht Teil der kostenoptimalen Lösung, wenn ...

... Tiefengeothermie auf Nutztemperatur-Niveau verfügbar ist.

Zu beachten ist dabei die heute geringe Technologiereife der Tiefengeothermie.

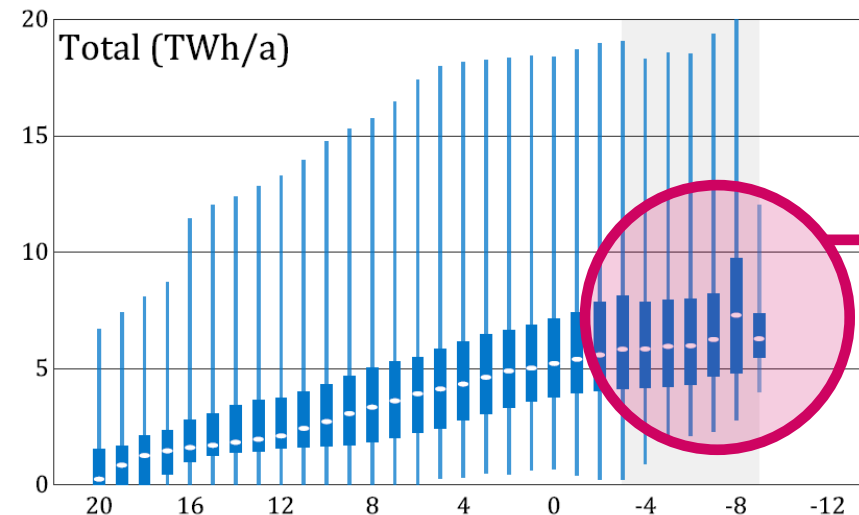
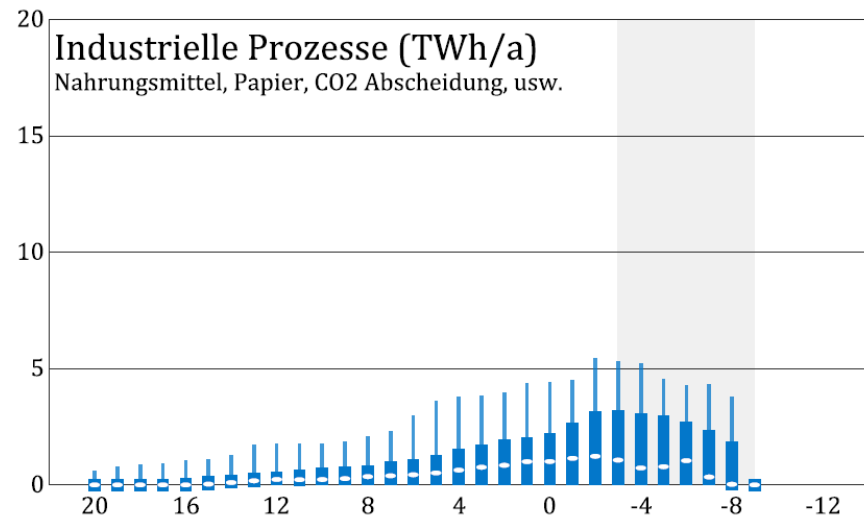
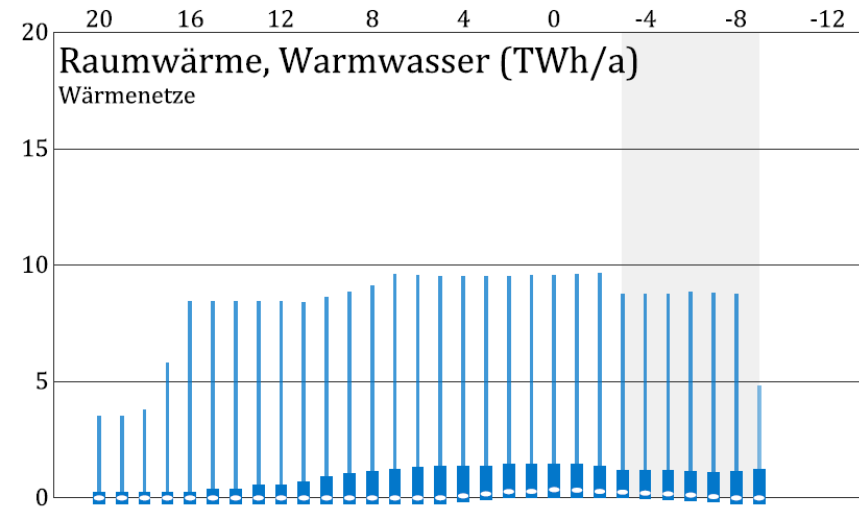
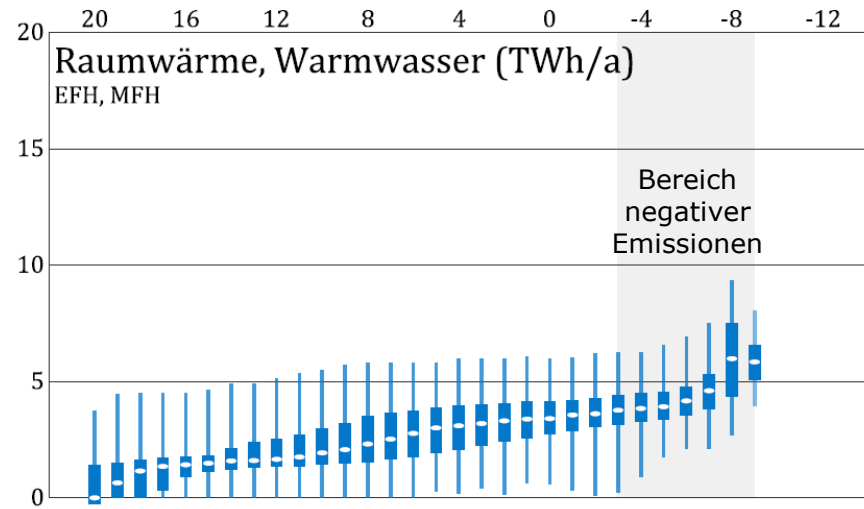
Total Industrie

Insgesamt ergeben sich 0-4 TWh/a an Solarwärme in einem Netto-Null Szenario.

Die spezifische installierte Absorberfläche ist 0.4 bis 0.8 m²/MWh.

Der Analyse wird die fragwürdige Annahme zugrunde gelegt, dass nur ein Drittel der Prozess-wärme im Temperaturbereich von <150°C liegt. Diese Annahme ist fragwürdig und wird im SWEET DeCarbCH Projekt näher untersucht.

Jährliche Erzeugung von Solarwärme



Total
5- 10 TWh/a

Jährliche CO2 Emissionen des Energiesystems (Mt/a)

Jährliche CO2 Emissionen des Energiesystems (Mt/a)

Bedeutung der Solarwärme für das Netto-Null Ziel

- ➔ Solarwärme ist generell Teil eines **kosten-optimalen Systems**, sie liefert 5-10 TWh/a für Wohnbauten, Wärmenetze und Industrieprozesse
- ➔ Ohne Solarwärme wären die jährlichen Systemkosten **200-400 Millionen Fr.** höher

Bedeutung der Solarwärme für das Netto-Null Ziel

- ➔ Solarwärme ist stets mit einer anderen Technologie **kombiniert**. Sie kommt zum Einsatz, wenn letztere eine **begrenzte Ressource benötigt** (Holz, Öl/Gas, Umgebungswärme)

- ➔ Sind diese Ressourcen nicht begrenzt, kommt die Solarwärme **nicht zum Einsatz**

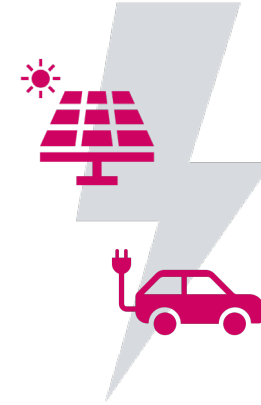
Bedeutung der Solarwärme für das Netto-Null Ziel

- ➔ Solarwärme steht in direkter Konkurrenz zur **Tiefengeothermie** (allerdings bei einer deutlich höheren Technologiereife) und zu **Luft-Wasser-Wärmepumpen** (die jedoch nicht die alleinige Lösung sein können).
-

Allgemeine Erkenntnisse aus der Szenarioanalyse



In einem Netto-Null Szenario werden wir **auf Öl und Gas verzichten müssen**, ca. 70% unseres heutigen Primärenergieverbrauchs

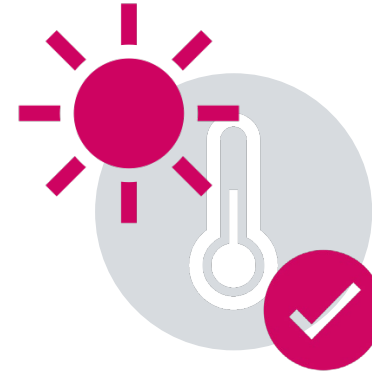


Photovoltaik und die Elektrifizierung von Mobilität und Wärme sind der entscheidende Schritt hin zu Netto-Null

Allgemeine Erkenntnisse aus der Szenarioanalyse



Wir können jedoch die Zukunft nicht vorhersagen
und unsere Modelle geben
uns nur Anhaltspunkte



Daher sollten wir jede verfügbare Energiequelle erschliessen und solare Wärme kann dabei ihren Beitrag liefern

Leitfrage 6

Welche **Hemmnisse**
bestehen heute?

Drei Analysen

- Solarwärme generell
- Solarwärme in Wärmeverbünden
- Solarwärme zur Regeneration von Erdwärmesonden

Verschiedene Methoden

- Literaturrecherchen
- Interviews mit Akteuren aus der Branche und Experten aus der Forschung
- Workshop im Rahmen der Fachkommission Swissolar

Rechtliche und regulatorische Hemmnisse

Allgemeine Hemmnisse

- Raumplanungsgesetz: freistehende Anlagen ausserhalb von Bauzonen nicht gestattet

Regeneration von Erdwärmesonden

- Unklare Vorgaben

Wirtschaftliche und gesellschaftliche Hemmnisse

Allgemeine Hemmnisse

- Hohe Kosten
- Mangel an Fachkräften
- Investitionskosten als Basis für Kaufentscheide

Solarwärme in Wärmeverbunden

- Energieträgerkosten für Holz und Altholz heute im Vergleich heute noch sehr tief

Regeneration von Erdwärmesonden

- Fehlendes Fachwissen
- Unsicherheit zum Thema Regeneration
- (Ungerechte) Verteilung des Nutzens

Technische Hemmnisse

Allgemeine Hemmnisse

- Komplexität der Technologie
- Grosser Platzbedarf für Speicherung
- Unpassendes Produktionsprofil
- Zusatztechnologie
- Flächenkonkurrenz Photovoltaik

Solarwärme in Wärmeverbunden

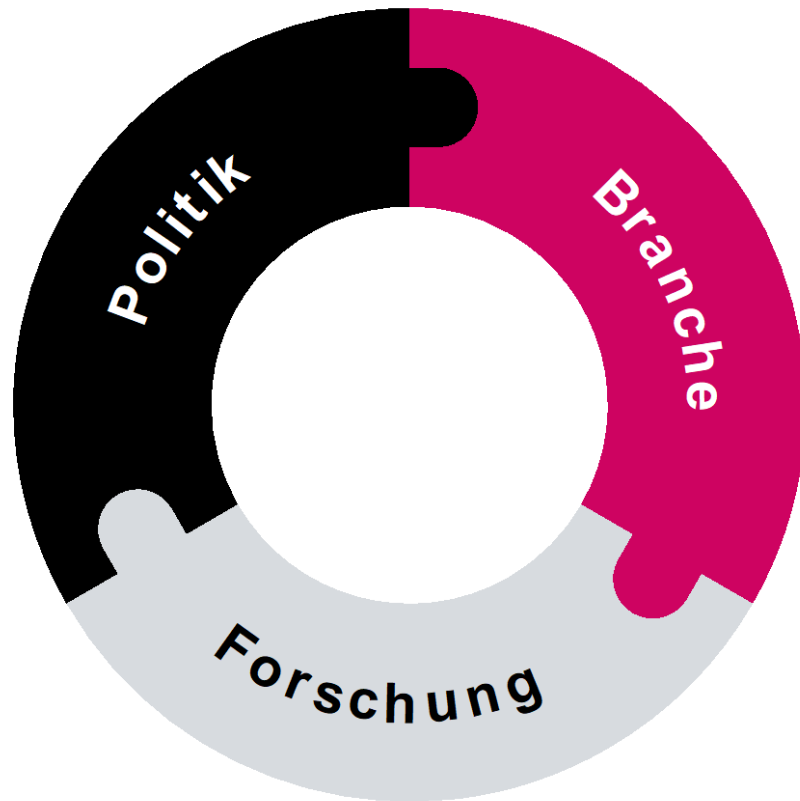
- Fehlende Verfügbarkeit geeigneter Dachflächen
- Fehlendes Knowhow von Seiten der Installateure
- Genügend andere Energiequellen vorhanden (bspw. KVA, Altholz)

Regeneration von Erdwärmesonden

- Hohe Temperaturen der Solarwärme
- Tiefe Wärmeaufnahmefähigkeit des Erdreichs
- Tiefer Wirkungsgrad
- Kleine Produktpalette
- Erschwerung der Kühlung

Leitfrage 7

Welche **Massnahmen** reduzieren diese Hemmnisse?



Massnahmen

Welche Massnahmen sind notwendig, damit die Solarwärme und die thermischen Energiespeicher ihre Rolle im Energiesystem 2050 wahrnehmen können?

Massnahmen der Branche

- Kombi-Systeme Solarwärme und Wärmepumpen stärker bewerben
- Kombi-Systeme von Solarwärme mit Holz oder Biogas standardisieren und stärker bewerben
- Systeme zur Nutzung von Solarwärme in der Prozesswärme in der Branche verankern und stärker bewerben
- Systeme zur Nutzung von Solarwärme in Wärmeverbunden in der Branche verankern und stärker bewerben
- Fachkräfte ausbilden
- Solarwärmeanwendungen auf die Digitalisierung vorbereiten

Massnahmen in Forschung und Entwicklung

- Solarwärme und Wärmespeicher in Energiesystemmodellen differenzierter abbilden
- Bedarf für die Regeneration von Erdsonden stärker erforschen
- PVT Module technisch weiterentwickeln
- Kollektoren optimieren: Gebäudeintegration, Kostensenkung für grossflächige Anlagen, Temperaturbegrenzung im Stillstand
- Wärmespeicher weiterentwickeln: Verbesserung des Schichtverhaltens, Reduktion Platzbedarf und Kostensenkung grosse Speicher, neue Speicherkonzepte, Speicher $>100^{\circ}\text{C}$
- Eisspeicher optimieren
- Systemlösungen für die Prozesswärme entwickeln
- Speichernutzung in Wärmenetzen erforschen
- Grossanlagen für Wärmeverbunde demonstrieren

Massnahmen politische Rahmenbedingungen

- Starke übergeordnete Instrumente für erneuerbare Energien einführen
- Pflicht für erneuerbare Energieproduktion auf Neubauten offener gestalten
- Vorgaben zum Umfang mit der Regeneration erarbeiten
- Sonnenenergie ausserhalb von Bauzonen erlauben
- Nationale Nutzungsstrategie speicherbare Energien erarbeiten
- Nationales Förderprogramm «grosse solarthermische Anlagen» einführen
- Holz und Solarwärme gezielt kombiniert fördern

Impressum

Autor/in:

Matthias Berger, Helene Sperle, Samuel Kummer (HSLU); Andreas Häberle, Dani Carbonell Sanchez (OST); Gianfranco Guidati, Adriana Marcucci (ETH Zürich); Sabine Perch-Nielsen, Milena Krieger (EBP); David Stickelberger, Nathalie Spiller (Swissolar)

BFE-Projektbegleitung:

Andreas Eckmanns, Elimar Frank, Stephan Mathez

BFE-Vertragsnummer:

SI/501962-01

Lucerne University of
Applied Sciences and Arts

**HOCHSCHULE
LUZERN**

ETH zürich

SCCER SoE


SWISS COMPETENCE CENTER for ENERGY RESEARCH
SUPPLY of ELECTRICITY

OST
Ostschweizer
Fachhochschule

SPF INSTITUT FÜR
SOLARTECHNIK

EBP

SWISSOLAR

 Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung und Cleantech

Schlussbericht vom 30.06.2021

SolTherm2050

Chancen durch Solarwärme und thermische Energiespeicher
für das Energiesystem Schweiz 2050



Quelle: © Magali Girardin / SIG