

Systemoptimierung der Kombination von Solarkollektoren mit Wärmepumpenanlagen

Dynamische Simulationen mit Polysun 4

Andreas Witzig (andreas.witzig@velasolaris.com)¹⁾

Jörg Marti (joerg.marti@velasolaris.com)¹⁾

Timon Brüllmann (timon.bruellmann@velasolaris.com)¹⁾

Arthur Huber (arthur.huber@huberenergie.ch)²⁾

¹⁾ Vela Solaris AG, Herrenberg 35, CH-8640 Rapperswil-Jona, Schweiz

²⁾ Huber Energietechnik AG, Jupiterstr. 26, CH-8032 Zürich, Schweiz

1. Einleitung

Der Einsatz von Simulationswerkzeugen hat sich einerseits für die Auslegung von Solarsystemen andererseits auch für die Wärmepumpendimensionierung inzwischen etabliert. Während detaillierte dynamische Berechnungsverfahren für die einzelnen Systeme bereits ausgereift sind, werden physikbasierte, voll gekoppelte Simulationen bisher nur im akademischen Bereich oder in kommerziellen Grossprojekten eingesetzt. Mit der Integration der Wärmepumpen-Komponente in Polysun 4 wird die Vielfalt der Analysemöglichkeiten mit dem effizienten numerischen Verfahren kombiniert. Damit wird die vergleichende Jahressimulation für die Kombination Solar & Wärmepumpen einem grossen Anwenderkreis zugänglich gemacht.

Das modulare Hydraulikkonzept sowie die Ausrichtung auf real erhältliche Komponenten erlauben den Einsatz von Polysun 4 in der frühen Planungsphase, als Planungswerkzeug für die Auslegung von Heizsystemen, sowie für die Optimierung von Systemkomponenten und Regelstrategien. Die Wärmepumpen werden dabei mit Einbezug von Erdsonden detailgetreu abgebildet und stehen dem Benutzer in Komponentenkatalogen zur Verfügung.

2. Numerische Modelle

Ein verbreiteter Ansatz zur numerischen Behandlung komplexer Systeme ist das Aufstellen und implizite Lösen eines Gleichungssystems. Die entsprechenden Simulationsansätze sind ausgereift und werden bereits erfolgreich in der Solartechnik [TRNSYS] und Gebäudesimulation [IDA-ICE] eingesetzt. Polysun verfolgt alternativ dazu ein direktes Lösungsverfahren, das sich bei den in der Solarthermie vorkommenden physikalischen Gleichungen als sehr effizient erwiesen hat. Wie in [SM07] im Detail beschrieben, ist es in Polysun gelungen, ein effizientes und trotzdem genügend allgemeines Verfahren zu implementieren, welches die modulare Systemdefinition erlaubt und trotzdem in der numerischen Performanz die Vergleichsprogramme bei

weitem übertrifft. In Polysun werden dazu in einem ersten Schritt die zusammenhängenden Komponenten analysiert. Im Gegensatz zu vergleichbaren Simulationsprogrammen wird in Polysun 4 nicht jede Systemvorlage mit einer eigenen Berechnungsformel abgebildet (welche zum Beispiel die Solarenergie an den Speicher aus der Kollektoreinstrahlung, den Leitungs-, der Speicher- und Aussentemperatur in einem Schritt berechnet). In Polysun 4 wird jede Komponente als eigenständiges Objekt abgebildet, welche nur ihre unmittelbaren Nachbarn kennt und zu diesen über entsprechende Schnittstellen Wärmeträgerflüssigkeit oder Energie austauschen kann. Dabei kommt den Steuerungen ein grosses Gewicht zu. Diese können auf die Eigenschaften (Temperatur, Durchsatz, etc.) aller Komponenten der Anlage zugreifen und mit diesen Eingangsgrössen beliebige Aktoren wie Pumpen, Zusatzheizungen oder Ventile steuern [SM07].

In Zusammenarbeit mit den Entwicklern der Software EWS [AH97] wird Polysun zurzeit in ein modernes Wärmepumpenmodell erweitert. Dabei werden numerische Algorithmen verwendet, welche sowohl die Physik angemessen abbilden (Detaillierte Abbildung der Kennlinienschar), sich aber aus den verfügbaren Komponentendaten (Parameter aus Datenblättern, Normen, örtliche Bodenbeschaffung) ermitteln lassen.

3. Simulations-Setup verschiedener Systemkonzepte

In der Praxis geschieht die Wahl des Energieträgers für Neu- und Umbauten in einer frühen Planungsphase. Die Auslegung der möglichen Heizsysteme sowie der Vergleich der verschiedenen Alternativen sind dabei von grosser Wichtigkeit. Man erkennt dabei verschiedene Einflussfaktoren

- Standort: Wetterdaten für Aussentemperatur, Feuchtigkeit, Solare Einstrahlung, Wind
- Verbrauchsmenge und -profil des Warmwasser
- Gebäudehülle, interne Wärmequellen, Solare Einstrahlung durch Fenster

Die detaillierte Jahressimulation weist Jahresertrag, CO₂-Einsparung und Systemnutzungsgrad zweifelsfrei nach. Das Zeitschrittverfahren von Polysun 4 erlaubt mit seiner feinen Auflösung aber auch den Blick aufs Detail, wie zum Beispiel die Temperaturverhältnisse im Schichtenspeicher. Insbesondere werden auch Steuerungskonzepte in ihrer vollen Zeitabhängigkeit realistisch abgebildet, was gerade in der Kombination von Solarkollektor und Wärmepumpe sehr wichtig ist (Betrieb der Wärmepumpe in der Niedertarif Zeitspanne). Somit erlaubt Polysun die Optimierung von Reglerkonzepten in Bezug auf die ökonomische Wirtschaftlichkeit, Systemeffizienz und Hygiene (Legionellenproblematik).

3.1. Vergleich von Solar- und Wärmepumpen-Heizsysteme

Mit dem erweiterten Polysun können Solarsysteme direkt mit Wärmepumpen-Heizsystemen verglichen werden. Für einen Vergleich der CO₂ Bilanzen muss dabei der lokale Strommix und die daraus abgeleiteten Emissionsfaktoren berücksichtigt werden. Für den Vergleich der Kosten besteht zudem eine Unsicherheit bezüglich des zukünftigen Strompreises.

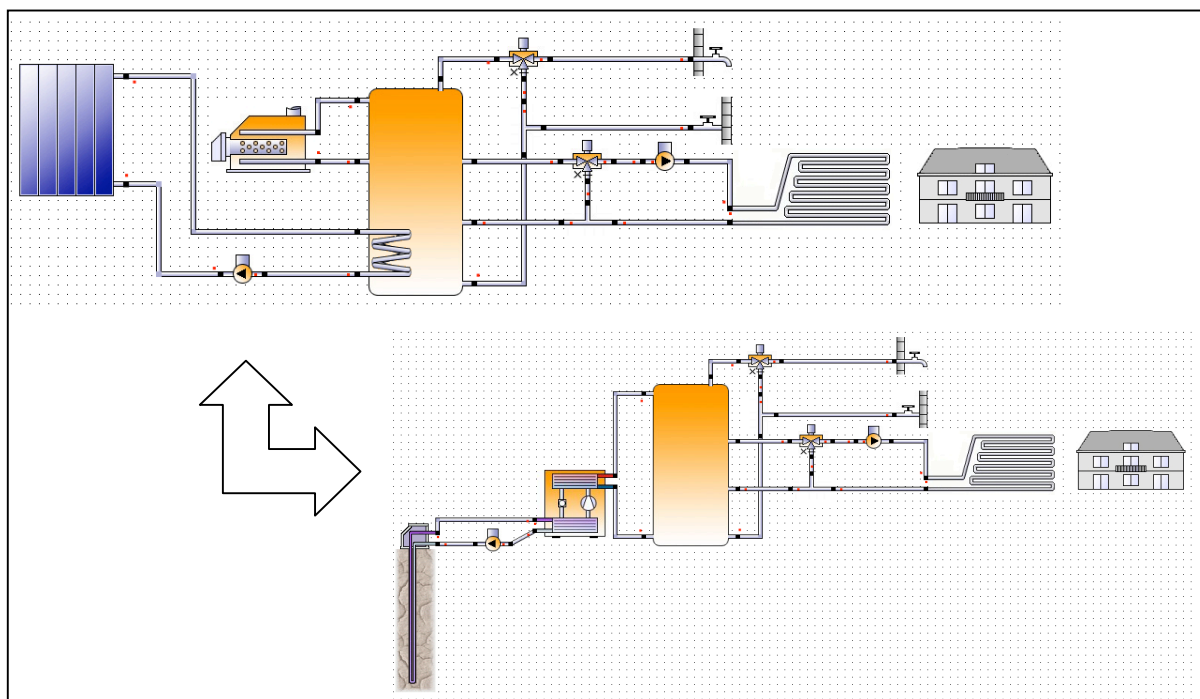


Abbildung 1: Vergleich von Solarsystem mit fossiler Zusatzheizung mit einem System mit Luftwärmepumpe

3.2. Kombination von Solar und Wärmepumpen

Für die Kombination von Solarkollektoren und Wärmepumpen sind kürzlich mehrere neue Systemkombinationen auf den Markt gekommen.

Ersatz der fossilen Zusatzheizung durch eine Luftwärmepumpe

Die einfachste Kombination besteht darin, dass als Zusatzheizung eine Luftwärmepumpe anstelle einer Öl- oder Gasheizung eingesetzt wird (siehe Abbildung 2).

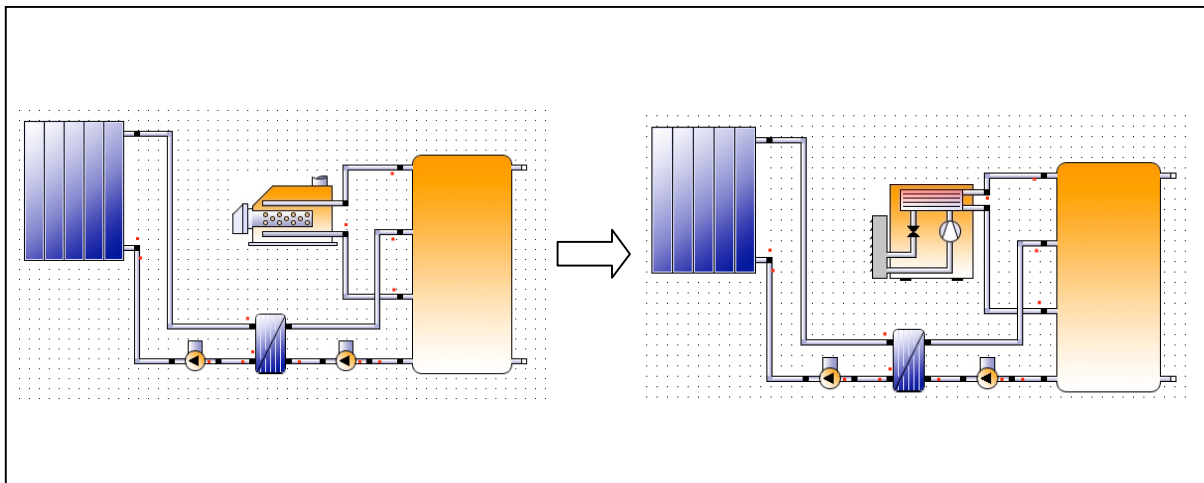


Abbildung 2: Einsatz einer Luftwärmepumpe als Ersatz für die fossile Zusatzheizung

Sonnenkollektoren direkt an Wärmepumpe angeschlossen

Die Solarenergie kann jedoch noch viel effizienter genutzt werden, wenn die Sonnenkollektoren direkt mit einer Wärmepumpe kombiniert werden, um damit das Temperaturniveau der Wärmequellenseite (Verdampfer) einer Wärmepumpe anzuheben und somit die Leistungszahl zu verbessern (mögliche Anordnung in Abbildung 3). Die Solarenergie wird in diesen Systemen gerade bei geringer Einstrahlung als Wärmequelle für die Wärmepumpe genutzt und kann auch dann verwertet werden, wenn die Vorlauftemperaturen aus dem Kollektor unter der Speichertemperatur liegt. Oft kann damit dann auf eine Erdsonde verzichtet und bei gleichbleibender Effizienz der Systemaufwand reduziert werden [HS06].

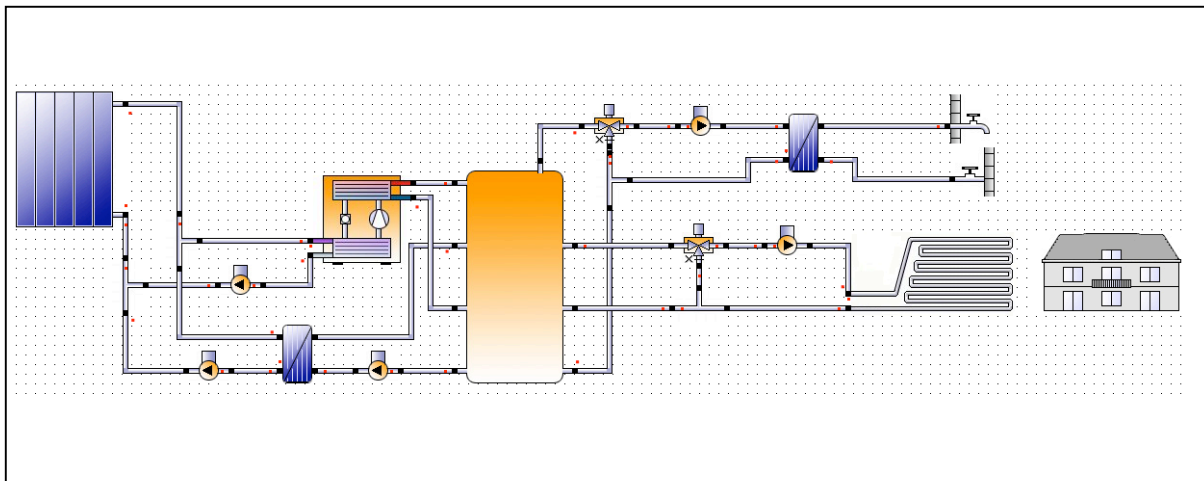


Abbildung 3: Betrieb der Solarkollektoren bei niedrigen Temperaturen

Solare Vorwärmung für Erdwärmesondenfelder

Ein weiteres mögliches Systemkonzept besteht darin, dass die Solarenergie aus den Kollektoren in die Erdwärmesondenfelder geführt und so gespeichert wird (siehe Abbildung 4) [AH99]. Eine entsprechende Erweiterung von Polysun 4 ist geplant, befindet sich jedoch noch in Entwicklung.

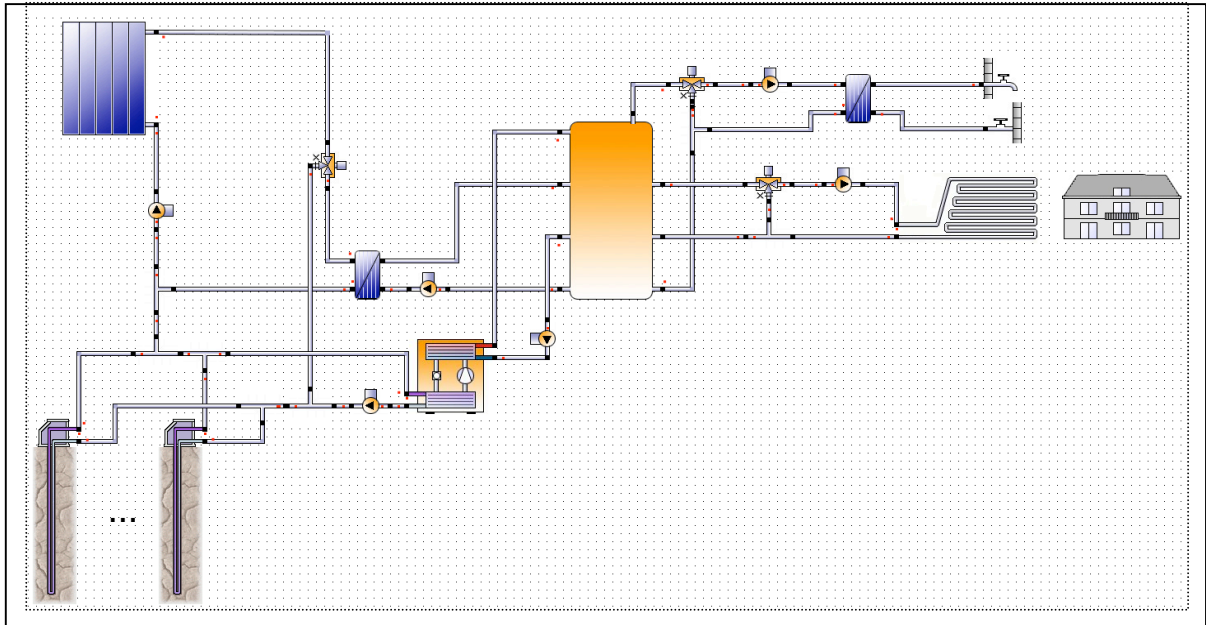


Abbildung 4: Aufladen von Edrsondenfelder durch Solarenergie

Die Komponentenauswahl (z.B. nicht abgedeckte Kollektoren) sowie die Steuerungskonzepte (z.B. Vorrang der Speicherbeladung) bieten eine grosse Vielfalt an Systemen, unter welchen je nach Standort und Gegebenheiten wie Verbrauchieranforderungen eine optimale Lösung gefunden werden muss.

Weitere Systemkonfigurationen wie zum Beispiel der Einsatz von Erdwärmesonden als Wärmequelle und Rückkühlung sind, gerade im gewerblichen Bereich, denkbar und mit dem erweiterten Polysun 4 abbildbar.

4. Schlussfolgerung

Die Freiheit im Anlagedesign erlaubt die Gegenüberstellung der verschiedenen Lösungskonzepte, was vor allem bei der Kombination von verschiedenen Energielieferanten wie im vorliegenden Beispiel Wärmepumpen & Solar eine wichtige Rolle spielt.

Weitere wichtige Voraussetzungen, welche in Polysun bereits realisiert sind:

- Im Programm bereits eingebundene Wetterdaten, welche für die Berechnung der Heizlast sowie für die Auslegung z.B. von Luft-Wasser Wärmepumpen wichtig sind (Aussentemperatur, Luftfeuchtigkeit). Falls ein Standort noch nicht hinterlegt ist, interpoliert Polysun aus Koordinaten Höhenangabe eines neuen Standorts die Wetterdaten (Meteonorm 6 der Firma Meteotest ist in Polysun integriert).

- Variabler Zeitschritt: Eine Jahressimulation kann mit ca. 1 Minute Rechenzeit mit hoher Genauigkeit realisiert werden.
- Reglerverhalten: Eine wichtige Komponente in der Systemoptimierung sind Steuerungen und Regelungen. Diese werden in Polysun ebenfalls realitätsnahe abgebildet.
- Gebäudesimulation: Polysun 4 beinhaltet eine integrierte Gebäudesimulation zur Bestimmung der dynamischen Gebäudelast (basierend auf Helios, welches an der EMPA entwickelt wurde).
- Breite bereits bestehende Komponentenauswahl: Der heutige Funktionsumfang in Polysun umfasst bereits alle wichtigen Komponenten einer Heizungsanlage (Speicher, Kessel, Pumpen, Wärmetauscher, Mischventile, Regelungen, Gebäude).
- Resultatauswahl und Visualisierung: In einer ansprechenden graphischen Benutzeroberfläche wird bereits heute eine vielfältige Palette von Resultaten zur Visualisierung angeboten.

Polysun 4 bietet ein modulares Konzept zum Aufbau von Heizungsanlagen, welches die Computergestützte Untersuchung verschiedener Anlagentypen erlaubt.

5. Referenzen

[TRNSYS] S. A. Klein, B. Beckmann, J. Duffie: TRNSYS, A Transient System Simulation Program, Program Manual. Solar Laboratory, Madison, Wisconsin.

[IDA-ICE] M. Vuolle, P. Sahlin: IDA Indoor Climate and Energy Application. EQUA Simulation Technology, <http://www.equa.se>.

[SM07] S. A. Mathez. Polysun 4: Simulation von Systemen mit komplexer Hydraulik. Proceedings der Otti-Konferenz, Mai 2007.

[HS06] Integrierte Kopplung von Solarthermie und Wärmepumpe zur Wärmezeugung: Neues Konzept zur Wärmezeugung für Niedrigenergiehäuser, Henning Schmidt, HLH Bd. 57, Heft 2, Februar 2006, S. 22 – 29.

[AH97] Berechnungsmodul für Erdwärmesonden. Arthur Huber und Othmar Schuler. Forschungsprojekt des Schweizerischen Bundesamtes für Energiewirtschaft (Schlussbericht). September 1997. Siehe auch <http://www.hetag.ch> → Referenzen → Forschungsprojekte: Erdwärmesonden

[AH99] Erweiterung des Programms EWS für Erdwärmesondenfelder. Arthur Huber und Daniel Pahud. Forschungsprojekt des Schweizerischen Bundesamtes für Energiewirtschaft (Schlussbericht). Dezember 1999.