

# SIGES

Internationale Konferenz zur Simulation  
gebäudetechnischer Energiesysteme  
8. & 9. September 2016 · Winterthur



© 2016 Vela Solaris und Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften,  
Winterthur

Die Rechte an den Einzelbeiträgen liegen beim jeweiligen Verfasser, Rechte am  
Gesamtwerk liegen bei Vela Solaris und der ZHAW.

Nachdruck oder Vervielfältigung, auch teilweise oder in umgestalteter Form, ist nur  
mit Zustimmung durch Vela Solaris/ZHAW bzw. durch den Verfasser des Einzel-  
beitrages gestattet.

# Konferenzbuch 2016

1. Internationale Konferenz zur  
Simulation gebäudetechnischer  
Energiesysteme (SIGES)

Winterthur, Schweiz

Eine gemeinsame Veranstaltung der Firma Vela Solaris und des Institute  
of Computational Physics (ICP) der Zürcher Hochschule für Angewandte  
Wissenschaften (ZHAW)



vela solaris

# Inhaltsverzeichnis

<b>Über uns</b>	<b>6</b>
<b>Konferenzübersicht</b>	<b>7</b>
<b>Programm</b>	<b>8</b>
<b>Beiträge - Simulationsmodelle im Detail</b>	
Building simulations in Polysun <i>Artem Sotnikov, Andreas Witzig</i>	11
Thermohydraulische Simulation - Der Schlüssel zur Kostensenkung bei Solaranlagen <i>Ralph Eismann</i>	16
Software in a loop - Polysun und Matlab zur Optimierung solarthermischer Systeme <i>J. Koke, M. Kuhr, U. Clement</i>	21
<b>Beiträge - Hybride Konzepte</b>	
Mit dem System 2SOL Gebäude emissionsfrei mit Strom, Wärme und Kälte versorgen <i>Simon Büttgenbach</i>	27
Regelstrategien für die Optimierung des Eigenverbrauchs in Gebäuden <i>David Zogg</i>	33
eTank – thermische Energie auf Vorrat puffern <i>Taco Holthuizen</i>	38
Erdreich als Speicher – grosse Anergienetze <i>Florian Ruesch, Jakob Scherer, Matthias Kolb</i>	43
<b>Beiträge - Solares Heizen und Kühlen</b>	
Vergleich von Heizungs- und Kühlkonzepten mit Photovoltaik <i>Paul Gantenbein, Lukas Omlin, Daniel Notter</i>	50
Eis-Energiespeicher <i>Adnan Ribic</i>	52
Nahwärmenetze im ländlichen Raum <i>Christoph Gebele</i>	57

## **Articles - Application of the Simulation Software Polysun in Teaching**

Polysun Simulation Software in Teaching and Research at Various Academic Institutions in Switzerland <i>Andreas Witzig, Lars Kunath</i>	63
Application of Polysun at DTU Denmark <i>Elsa Andersen</i>	70
Application of Polysun in French speaking part of Switzerland <i>Jacques Bony</i>	75
Significance of Polysun as a simulation tool for assignments and projects <i>Hossein Mirzaii</i>	78
Application of Polysun in Teaching Courses in Sweden and in the PhD Program SHINE <i>Chris Bales, Klaus Lorenz</i>	90

## **Articles - Polysun outside of Europe**

Renewable Energy Training and Certificate Program in China <i>Andreas Wolf, Zhu Jiankun, Markus Prandini, Andreas Witzig</i>	96
Best Practice Teaching Methods in a Teach-the-Teacher Program in China <i>Markus Prandini</i>	101
Solar Energy System Design using Advanced Learning Aids: An EU Tempus Project <i>Rami Ghannam, Mohamed Khayet</i>	102
Solar Energy and Polysun Simulation Software Certificate Course in Kuwait <i>Abdul Al-Yasseen</i>	107

## **Posterbeiträge - Kurzfassungen der Beiträge** **108**

# Über uns

## **Vela Solaris**

Die Vela Solaris AG entwickelt und vertreibt weltweit die Planungssoftware Polysun, welche von Ingenieuren und Installateuren für den Entwurf und die Optimierung dezentraler Energiesysteme eingesetzt wird. Dabei deckt Polysun die Bereiche Solarwärme, Photovoltaik und Wärmepumpen/Geothermie ab. Massgeschneiderte Softwareversionen für Grosskunden sowie eine Onlinelösung runden das Produktspektrum ab.

[www.velasolaris.com](http://www.velasolaris.com)

## **ZHAW/ ICP**

Am Institute of Computational Physics (ICP) an der Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften (ZHAW) wendet ein Team von Physikern, Mathematikern und Ingenieuren Methoden und Ergebnisse aus der Grundlagenforschung auf Problemstellungen der Industrie an.

Seit über 20 Jahren entwickelt das ICP Multiphysik-Computermodelle auf Basis von Finite- Elemente-Methoden, mit denen beispielsweise Personenströme an Grossanlässen wie der Street Parade simuliert oder die Performance von ultradünnen Solarzellen und organischen LED's untersucht werden.

Darüber hinaus betreibt das ICP ein Labor zur Entwicklung und Charakterisierung von opto-elektronischen Bauelementen (OLAB) sowie zur Entwicklung von optischen Messverfahren.

Gemeinsam mit seinen Partnern aus Wissenschaft und Industrie erarbeitet das ICP Lösungen für konkrete Probleme, beispielsweise wie Beschichtungen berührungslos gemessen oder Alterungsprozesse von Brennstoffzellen gebremst werden können.

[www.zhaw.ch/icp](http://www.zhaw.ch/icp)

# Konferenzübersicht

Die 1. internationale Konferenz zur Simulation gebäudetechnischer Energiesysteme (SIGES) setzt sich vertieft mit dem Einsatz von computergestützten Planungswerkzeugen im Bereich erneuerbare Energie und Effizienzoptimierung auseinander. Die Konferenz findet am 8. & 9. September in Winterthur, Schweiz, statt.

Ganzheitliche Energiekonzepte umfassen in der Regel mehrere Energieerzeuger und eine geeignete Energiespeicherung. Die Konferenz diskutiert Ansätze, wie diese hybriden Energiesysteme bezüglich Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit optimiert werden. Die Ansprüche von Seiten der Bauherren und vom regulatorischen Umfeld steigen und können oft nur anhand von dynamischen Simulationen erfüllt werden.

## Konferenzinhalte Übersicht

- Simulationsmodelle: Neue Entwicklungen im Bereich der Planungstools
- Hybride Konzepte mit integrierten Speicherlösungen
- Posterausstellung und Kurzpräsentationen
- Einsatz von Simulationssoftware in Unterricht, Aus- und Weiterbildung
- Polysun Praxis-Workshops

## Inhalt erster Tag

Am ersten Tag bietet sich den Teilnehmerinnen und Teilnehmern die Gelegenheit, mit den Entwicklern von ganzheitlichen Energiekonzepten und Entscheidungsträgern aus der Industrie zu diskutieren und in Austausch zu treten. Themenschwerpunkte sind Simulationsmodelle, hybride Konzepte und Kühlanwendungen. Sie erhalten hier einen Einblick in die Planung und Realisierung solcher Konzepte und sind eingeladen, sich aktiv an spannenden Diskussionen zu beteiligen.

## Inhalt zweiter Tag

Am zweiten Tag geben Experten aus unterschiedlichen Ländern Einblick in die Anwendung von Polysun-Simulationen in der Lehre. Diverse Polysun-Workshops ermöglichen zusätzlich einen vertieften Einblick in wichtige Merkmale bei der Planung von Energiesystemen mit einer Simulationssoftware.

# Programm

## Donnerstag 8. September 2016, Hörsaal TL 201

---

ab	
09.30	<b>Anmeldung, Kaffee &amp; Gipfeli</b>
	<b>Thema Vormittag: Simulationsmodelle im Detail</b> Moderation: Andreas Witzig (Institute of Computational Physics ICP, ZHAW)
10.30	<b>Gebäudesimulation in Polysun</b> Artem Sotnikov (Doktorand, Universität Innsbruck/Vela Solaris)
10.50	<b>Thermohydraulische Simulation - Der Schlüssel zur Kostensenkung bei Solaranlagen</b> Ralph Eismann (Institut für Energietechnik, ETH Zürich)
11.10	<b>Software in a loop - Polysun und Matlab</b> Johannes Koke (Institut für duale Studiengänge, Hochschule Osnabrück)
11.30	<b>Prämierter Posterbeitrag: Einflüsse auf die Wirtschaftlichkeit energie-technischer Anlagen</b> Moritz Meier (Student, Energie- und Umwelttechnik, FHNW)
11.50	<b>Vorstellung Posterbeiträge</b> Poster im Foyer (13 x 3 min.)
12.30	<b>Mittagessen</b> Stehlunch im Foyer
	<b>Thema Nachmittag I: Hybride Konzepte</b> Moderation: Lars Kunath (Vela Solaris)
14.00	<b>2SOL - Gebäude emissionsfrei mit Strom, Wärme und Kälte versorgen</b> Simon Büttgenbach (2SOL)
14.20	<b>Regelstrategien für die Optimierung des Eigenverbrauchs von Gebäuden</b> David Zogg (Institut für Automation, FHNW)
14.40	<b>eTank - thermische Energie auf Vorrat puffern</b> Taco Holthuizen (eZeit Ingenieure GmbH)
15.00	<b>Erdreich als Speicher - grosse Anergienetze</b> Florian Ruesch (Institut für Solartechnik, SPF)
15.20	<b>Pause mit Kaffee und Gebäck, Posterbesichtigung</b>
	<b>Thema Nachmittag II: Solares Heizen und Kühlen</b> Moderation: Andreas Witzig (Institute of Computational Physics ICP, ZHAW)
16.00	<b>Vergleich von Heizungs- und Kühlkonzepten mit Photovoltaik</b> Lukas Omlin (Institut für Solartechnik, SPF)
16.20	<b>Eisspeicherkonzept</b> Adnan Ribic (Viessmann Eis- und Energiespeicher GmbH)
16.40	<b>Nahwärmenetze im ländlichen Raum</b> Christoph Gebele (solarcomplex AG)
17.00	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b> Andreas Witzig (Institute of Computational Physics ICP, ZHAW)
ab	<b>Konferenzdinner</b>
19.00	Bistro Fotomuseum Winterthur

---

## Freitag 9. September 2016, Hörsaal TL 201

---

### Session I: Application of the Simulation Software Polysun in Teaching

Chair: Andreas Wolf (Vela Solaris)

---

08.30 **Polysun Simulation Software in Teaching and Research at Various Academic Institutions in Switzerland**

Andreas Witzig (Institute of Computational Physics ICP, ZHAW)

---

08.50 **Application of Polysun at DTU Denmark**

Elsa Andersen (Dep. of Civil Engineering, Technical University of Denmark)

---

09.10 **Application of Polysun in the French Speaking Part of Switzerland**

Jacques Bony (HEIG Yverdon)

---

09.30 **Significance of Polysun as a simulation tool for assignments and projects**

Hossein Mirzaei (Kingston University London)

---

09.50 **Application of Polysun in Teaching Courses in Sweden and in the PhD Program SHINE**

Chris Bales/Klaus Lorenz (Dalarna University, SERC)

---

10.10 **Coffee Break**

---

### Session II: Polysun outside of Europe

Chair: Andreas Witzig (Institute of Computational Physics ICP, ZHAW)

---

10.40 **Renewable Energy Training and Certificate Program in China**

Zhu Jiankun (Chinese National Engineering Research Centre for Renewable Energy NERCRE), Andreas Wolf (Vela Solaris)

---

11.00 **Best Practice Teaching Methods in a Teach-the-Teacher Program in China**

Markus Prandini (Regional Competence Center Asia-Pacific, ZHAW)

---

11.20 **Solar Energy Systems Design Using Advanced Learning Aids in Egypt**

Rami Ghannam (SOLEDA Management Board)

---

11.40 **Solar Energy and Polysun Simulation Software Certificate Course in Kuwait**

Abdul Al-Yasseen (Solar Energy for Private Training Institute)

---

12.00 **Summary and Conclusion**

Andreas Wolf (Vela Solaris)

---

12.20 **Lunch**

Buffet lunch, Foyer

---

### Polysun Praxis-Workshops (Vela Solaris)

08.30 - 12.00 Polysun Constructor (Luc Meier, Stefan Wagner) - *Zimmer TL 412*

08.30 - 12.00 Einführung Polysun (Carol Haderer, Lars Kunath) - *Zimmer TL 418*

08.30 - 12.00 Prozesswärme (Artem Sotnikov, Fiona Föllner) - *Zimmer TL 421*

13.30 - 16.00 Auswertungen: Multisimulation, Loggen und Parametrisieren  
Erstellen neuer Systemkonzepte (Andreas Witzig, Carol Haderer) -  
*Zimmer TL 412 (beide Workshops)*

13.30 - 16.00 Erdsonden, Erdspeicher, Eisspeicher (Lars Kunath, Stephan Weber) -  
*Zimmer TL 418*

# Beiträge

## Simulationsmodelle im Detail



Internationale Konferenz zur Simulation  
gebäudetechnischer Energiesysteme  
8. & 9. September 2016 · Winterthur

# Building simulations in Polysun

Artem Sotnikov, Andreas Witzig

Vela Solaris AG

Stadthausstrasse 125, CH-8400 Winterthur

Tel.: +41 55 220 71 05

E-Mail: [artem.sotnikov@velasolaris.com](mailto:artem.sotnikov@velasolaris.com)

Internet: [velasolaris.com](http://velasolaris.com)

## Introduction

Polysun simulation software is a tool for design and sizing of energy production and distribution systems. In order to design a system correctly, boundary conditions shall be precisely defined. An important boundary condition is the building heat demand. The purpose of this work is to present different possibilities how building heat demand can be defined in Polysun and to explain the difference between building models which are available in Polysun.

There is one important consideration which shall be taken into account while discussing building models in Polysun, the main aim of all models is to specify required demand in order to design, size and optimize energy generating/distribution system and not to optimize the building itself.

A number of building models were implemented in Polysun. They differ by complexity and required inputs. A model choice depends on the case and available input data. Some typical simulation cases are: retrofitting/optimizing of the energy system for the existing building and design of the energy system for a new building. The simulation software Polysun is often used in conjunction with building simulation tools, which also influences the use cases.

## Models

One can distinguish two levels of model complexity in Polysun: “comprehensive” and “simple” ones. The main difference between this level of complexity is that in the “comprehensive” (physical) model Polysun based on some physical parameters of the building calculates heating/cooling demand which shall be covered by the system. In the “simple” model building demand is defined by the user. In figure 1 it is shown how models can be switched in the building window. If “Energy demand known?” is set to “No” then the physical model is chosen.

---

## Notizen

## Physical Model

The physical model is the most complex building model. It takes into consideration many building characteristics: size, UA-value (heat loss – building enclosure area produkt), solar transmittance of windows, building orientation, ventilation and infiltration losses, gains from equipment, lighting and people, window shadings, heat recovery of ventilation and thermal mass of the building. These data allow to build heat balance of the building each timestep to find instantaneous demand as a difference between total losses and total gains.

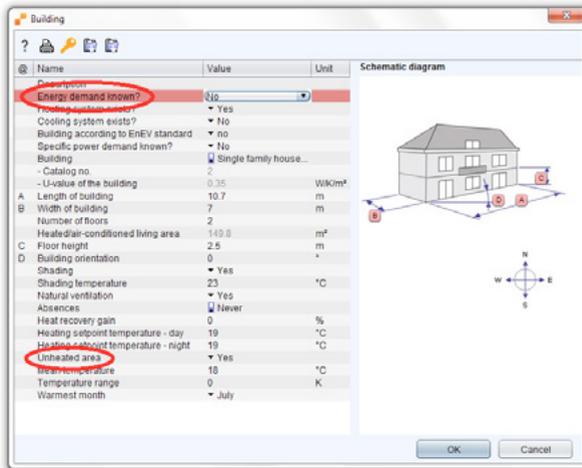


Figure 1 Choice of model (comprehensive or simple) and unheated area in Polysun GUI.

In the building heating/cooling balance losses from heat generating/distributing equipment can be counted. For each thermal component (e.g. storage tank) a place of installation can be chosen. The user can choose between ambient environment, heated area (building itself) and unheated area (a part of the building without set point temperature requirements, e.g. garage or storage room). If the unheated area (see figure 1) is chosen, the user can define which part of heat losses goes to the building (for more information see (Sotnikov, Witzig und Streicher 2015)).

## User-defined demand

Often in practice building demand is known before designing or optimizing energy supply system. It can be estimated based on standards and norms, own experience

---

## Notizen

or measured data. There are three building models in Polysun which can be set with demand values, namely quasi-dynamic, degree-hours and based on hourly energy demand inputs (see figure 2). The models differ by required inputs and demand distribution through the year.

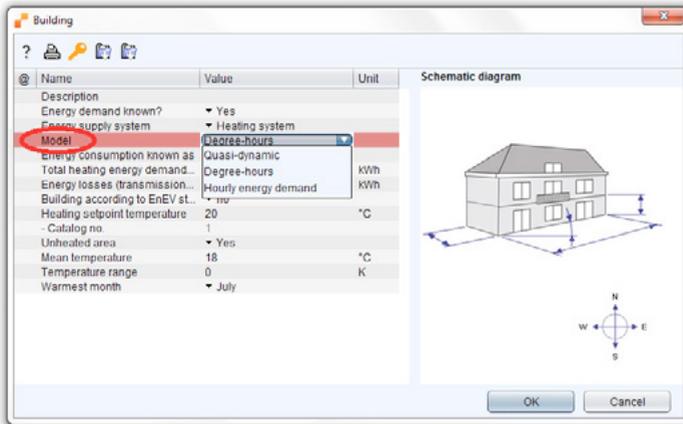


Figure 2 Choice of simple model in Polysun GUI.

Quasi-dynamic and degree-hour models have four different options how building demand can be set: annual values, based on fuel consumption, maximum power demand and monthly values (see figure 3). Moreover some of these input types have sub-types depending on the model choice. The degree-hour model enables also cooling demand calculation. The main difference between quasi-dynamic and degree-hour models is that the quasi-dynamic model counts some dynamical effect (such as instantaneous solar gains) while distributing annual or monthly values to hourly values. In the same time the degree-hour model obtains hourly value based on the so called “balance” temperature of the building (for more information see (Duffie und Beckman 2006)).

The model which is based on hourly inputs assumes that building was already simulated in great details and hourly data is available. In this case “.csv” file with hourly data can be imported in Polysun (see figure 4).

---

## Notizen

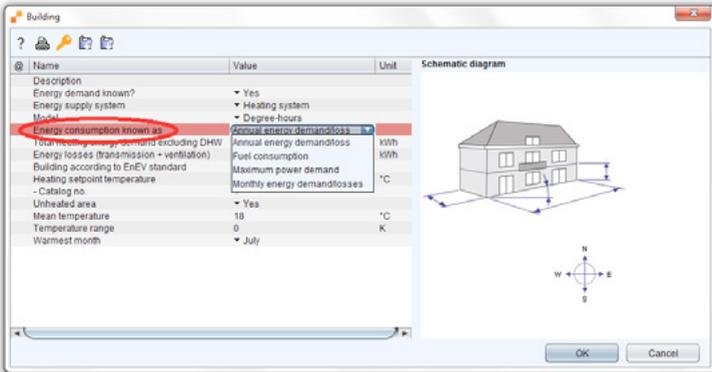


Figure 3 Choice of demand definition for degree-hour model in Polysun GUI.

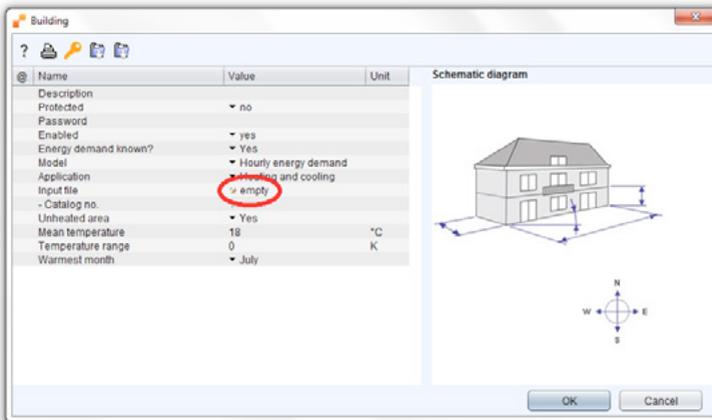


Figure 4 Choice of model (comprehensive or simple) and unheated area in Polysun GUI.

## Conclusion and suggestions

Building simulation is a complex topic which requires good understanding of aims of simulation as well as boundary conditions available before system modelling. In many cases, optimization of decentralized energy systems cannot be done without a precise model of the building because the physics of the building and the heating

system is strongly coupled. In Polysun several building models are available. The model choice depends on the available data and required level of detailization.

In the future, building simulation will become more important since energy optimization is often done for cooling simulation. The building cooling demand can be handled in the same way as the heat demand and many systems provide a combination of heating in winter and cooling in summer.

If limited data is available for the building, mainly some standard values based on norms, it is recommended to use the physical model. If some standard case or an existing building is simulated, often annual or monthly values of demand or reference values from which demand can be defined (e.g. fuel consumption of the existing boiler). In this case either the degree-hour model or quasi-dynamic model shall be used. If the building was already modeled in a building simulation tool, then hourly values of the demand can be imported in Polysun and the user can save time and ensure consistency in simulations by using the hourly input model.

## Acknowledgement

A part of work (development and implementation of degree-hour and hourly inputs models) was supported by Seventh Framework Programme of the European Union, support for training and career development of researchers (Marie Curie), Solar Heat Integration Network (SHINE) project (Jordan, et al. 2014). The work was performed in scope of SHINE work package one (Bales, et al. 2014).

## Bibliography

- Bales, Chris, et al. "Seven Phd Studies on Solar District Heat." *EuroSun 2014*. Aix-les-Bains (France), 2014.
- Duffie, John A., and William A. Beckman. *Solar Engineering of Thermal Processes, third ed.* New York: John Wiley and Sons, 2006.
- Jordan, Ulrike, et al. "SOLNET - Phd-Scholarships and Courses on Solar Heating." *EuroSun 2014*. Aix-les-Bains (France), 2014.
- Sotnikov, Artem, Andreas Witzig, and Wolfgang Streicher. "Vergleich von dezentralen solar Kombisystemen und zentralen Solaranlagen in einem Mikronetz mit Polysun." *OTTI 25. Symposium Thermische Solarenergie*. Bad Staffelstein, Germany, 2015.
- Herzog Annika, Kümin Simon. „Gekoppelte Simulation von dezentralen Energiesystemen und Gebäudeenergiebedarf“, Bachelor Thesis ZHAW, Winterthur, 2016
- Pflugradt Noah. „Modellierung von Wasser- und Energieverbräuchen in Haushalten“, PhD Thesis at the Technical University Chemnitz, Germany, 2016

---

## Notizen

# Thermohydraulische Simulation - Der Schlüssel zur Kostensenkung bei Solaranlagen

Ralph Eismann  
ETH Zürich, Labor für Kernenergiesysteme  
Sonneggstrasse 3, 8092 Zürich  
Tel.: 044 633 93 49  
E-Mail: [eismann@lke.mavt.ethz.ch](mailto:eismann@lke.mavt.ethz.ch)  
Internet: <http://www.lke.mavt.ethz.ch/>

## Einleitung

Die thermische Solarenergie bietet effiziente Lösungen für zahlreiche wärmetechnische Anwendungen. Ihr Potenzial kann jedoch nur ausgeschöpft werden, wenn es gelingt, die Kosten signifikant zu senken. In einem durch das Bundesamt für Energie BFE geförderten Projekt wird gegenwärtig das einfach zu bedienende thermohydraulische Rechenprogramm THD entwickelt. Dieses umfasst die folgenden Funktionen:

- Rohrnetz- und Pumpendimensionierung
- Dimensionierung des Ausdehnungsgefässes
- Nachweis der Entlüftbarkeit
- Nachweis der Stagnationssicherheit

Die Anwendung des Programms ermöglicht nicht nur die kostenoptimale Gestaltung des Kreislaufs sondern vermeidet zudem durch Planungsfehler verursachte Betriebsstörungen und Schadenfälle.

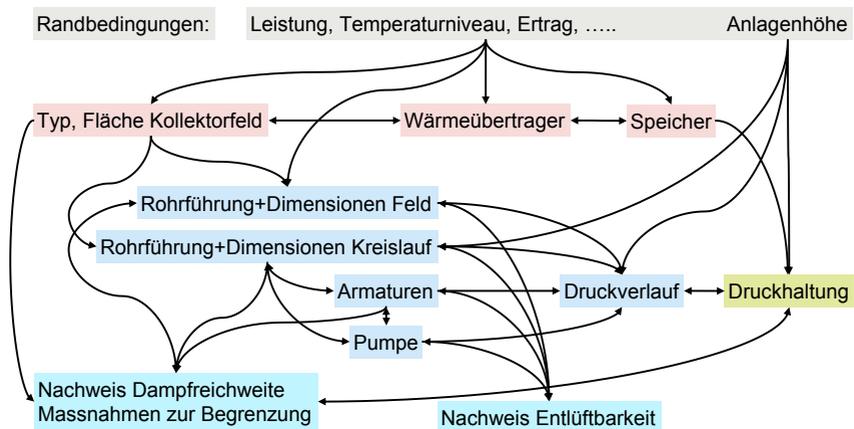
Gemeinsam mit den Projektpartnern ZHAW und Vela Solaris wird ausserdem eine Schnittstelle entwickelt, über welche Anlagendaten und Randbedingungen importiert werden können, die mit Polysun generiert wurden. Alle Anlagenkomponenten sind in Katalogen hinterlegt. Dadurch ist der Eingabeaufwand minimal.

---

## Notizen

## Methode der Thermohydraulischen Modellierung

Die Erhaltungssätze der Energie, des Impulses und der Masse bilden die theoretische Grundlage der thermohydraulischen Dimensionierung. Für die praktische Bewältigung von Dimensionierungsaufgaben sind diese Erhaltungssätze als eindimensionale partielle Differentialgleichungen formuliert. Diese bilden zusammen mit zahlreichen Konstitutivgleichungen, beispielsweise für die Druckverluste und die Wärmeübertragung, ein Gleichungssystem. Die Gleichungen dieses Systems sind gekoppelt, weil dieselben Zustandsgrößen, beispielsweise die Drücke und die Temperaturen, gleichzeitig in mehreren Gleichungen auftreten. Entsprechend sind auch die einzelnen Dimensionierungsaufgaben voneinander abhängig, wie in Abbildung 1 schematisch dargestellt ist. Die Theorie, die von grundsätzlich gekoppelten, eindimensionalen Gleichungen ausgeht, heisst Thermohydraulik.



**Abbildung 1** Wirkungszusammenhänge bei der Dimensionierung von Solaranlagen.

Die Vorteile dieses Ansatzes sind vielfältig. Einerseits können die Anlagenkosten durch zielgenaue Dimensionierung minimiert werden. Andererseits können Betriebsstörungen einer Solaranlage, beispielsweise durch freie Gase, ungenügenden Durchfluss oder zu grosse Dampfreichweite durch entsprechende Nachweise vermieden werden.

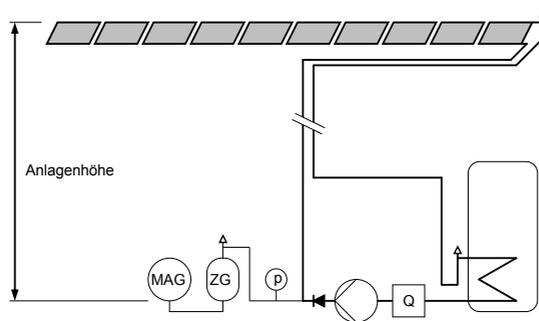
---

### Notizen

Damit die thermohydraulische Dimensionierung vollständig rechnerbasiert und damit effizient durchgeführt werden kann, müssen sämtliche Komponenten des Kreislaufes durch mathematische Modelle abgebildet werden. Ausserdem müssen diese Modelle stetige Funktionen ihrer Zustandsgrößen sein, damit die numerischen Verfahren zur Lösung der Gleichungssysteme konvergieren. Dies gilt insbesondere für die Modellierung von Druckverlusten.

## Thermohydraulische Simulation einer Solaranlage

Basierend auf der energetischen Dimensionierung mit Polysun wird die detaillierte thermohydraulische Dimensionierung der Anlage nach Abbildung 1 durchgeführt.



**Abbildung 1** Solaranlage mit Flachkollektoren und Speicher mit Glattrohrwärmeübertrager.

Die Solaranlage besteht aus einem Kollektorfeld mit 10 Flachkollektoren die über integrierte Verteil- und Sammelleitungen parallel geschaltet sind. Diese haben einen Innendurchmesser von 16 mm und eine Länge von 2 m. Zur Kompensation der Wärmedehnungen sind deren Enden durch Metallbälge von 60 mm Länge und 16 mm Nennweite verbunden. Der Absorber besitzt ein Mäanderrohr. Bei gleichem Druckverlust kann das Mäanderrohr durch ein gerades Rohr mit 20 m der Länge dargestellt werden. Ein Glattrohrwärmeübertrager mit einem Wendeldurchmesser von 0.9 m, einem Rohrrinnendurchmesser von 27.2 mm und einer Rohrlänge von 36 m dient zur Wärmeabgabe an den Speicher. Zur besseren Nachvollziehbarkeit liegen der Referenzpunkt der Druckhaltung, das Manometer und der Anschluss des Ausdehnungsgefäßes auf derselben Höhe. Die Resultate aus der energetischen Dimensionierung werden als Randbedingungen für die thermohydraulischen

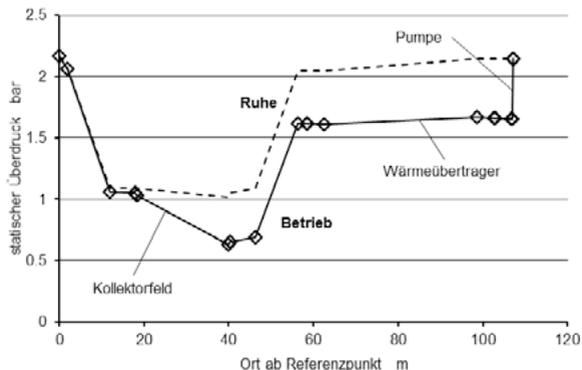
---

### Notizen

Berechnungen eingesetzt. Mit der Einführung der Schnittstelle zwischen Polysun und THD wird auch dieser Schritt automatisiert.

### Dimensionierung der Pumpe, der Rohre und des Ausdehnungsgefäßes

Der Druckverlauf im Kreislauf wird für den Betriebszustand und für den Ruhezustand bei stehender Pumpe ermittelt. Gleichzeitig wird das Ausdehnungsgefäß nach einem neuen, iterativen Verfahren dimensioniert. Dabei werden erstmals die Unsicherheiten bei der Einstellung des Vor- und Fülldrucks berücksichtigt. Das Resultat dieser Rechnung ist in Abbildung 2 dargestellt.



**Abbildung 2** Druckverlauf im Kreislauf im Ruhezustand und im Betrieb.

Mit dieser Rechnung werden folgende Drücke festgelegt bzw. geprüft:

- Erforderlicher Druck im Ausdehnungsgefäß im Ruhezustand.
- Erforderlicher Druck im Ausdehnungsgefäß im Betrieb.
- Zulässige Drücke der Kreislaufkomponenten.
- Erforderlicher Zulaufdruck der Pumpe.

Der zulässige Bereich des Systemdruckes wird als Funktion der mittleren Kreislauftemperatur in einem anlagenspezifischen Diagramm dargestellt. Damit ist es ohne Aufwand möglich, den Füllzustand der Anlage im laufenden Betrieb zu prüfen.

---

#### Notizen

### **Nachweis der Entlüftbarkeit**

Auf der Grundlage von Experimenten mit Wasser und Wasser-Glykollgemischen wurde eine Korrelation für die Selbstentlüftungsgeschwindigkeit hergeleitet. Das Kriterium der Selbstentlüftung wird bei der Rohrnetzberechnung geprüft. Dadurch kann bereits in der Planungsphase entschieden werden, an welchen Stellen ein Luftabscheider sinnvoll ist und ob Selbstentlüftung durch Reduzieren des Rohrquerschnittes erreicht werden kann.

### **Nachweis der Stagnationssicherheit**

Stagnation ist ein komplexes Phänomen, bei dem Zweiphasenströmungen mit Phasenwechsel auftreten. Durch eine entsprechende Simulationsrechnung werden die Dampfreichweite und das Dampfvolumen ermittelt.

### **Schlussfolgerungen und Ausblick**

Die Methode der thermohydraulischen Simulation mit Hilfe von THD ermöglicht die effiziente und kostenoptimale Dimensionierung des Solarkreises. Durch die Nachweise der Entlüftbarkeit und der Stagnationssicherheit werden auslegungsbedingte Betriebsstörungen und Schadenfälle vermieden.

Die Planungssoftware THD soll ab Frühjahr 2017 verfügbar sein. Die Berechnungsmethoden werden in einem Fachbuch ausführlich hergeleitet und an Beispielen diskutiert. Die Publikation ist im Herbst 2016 geplant. Das Buch und die Planungssoftware basieren auf der Dissertation (Eismann 2014) sowie auf den anschliessend durchgeführten Forschungsarbeiten. Der vorliegende Beitrag basiert auf einem Vortrag, der am 26. Symposium Thermische Solarenergie gehalten wurde (Eismann 2016).

Der Autor dankt dem Schweizerischen Bundesamt für Energie BFE für die Finanzierung dieser Projekte.

### **Literatur**

- Eismann R. (2014) Thermohydraulik von Solaranlagen. Dissertation, ETH-Zürich, Departement für Maschinenbau und Verfahrenstechnik, Institut für Energietechnik,
- Eismann R. Neue Methode zur thermohydraulischen Dimensionierung von Solaranlagen. In: 26. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, 2016. Ostbayerisches Technologie Transfer Institut OTTI,

---

### **Notizen**

# Software in a loop - Polysun und Matlab zur Optimierung solarthermischer Systeme - Zusammenfassung -

J. Koke, M. Kuhr; U. Clement\*)  
Hochschule Osnabrück, Campus Lingen  
Kaiserstr. 10c  
49809 Lingen (Ems)  
Tel.: 0591-800 98-730  
Email: j.koke@hs-osnabrueck.de  
\*) Bosch Thermotechnik GmbH

## Einleitung

Die Kostenreduzierung solarthermischer Systeme bleibt eine der großen Herausforderungen, um die Solarthermie wirtschaftlich attraktiv zu machen. Es wurde eine vollständige Simulationsumgebung geschaffen, mit der bereits in der Entwicklungsphase automatisierte Optimierungen in Bezug auf Ertrag und Wirtschaftlichkeit von Kollektoren und Systemen zur Brauchwassererwärmung und Heizungsunterstützung möglich sind /1/. Dabei können konstruktive wie auch systemische Parameter variiert und optimiert werden.

## Methodik

Im Zentrum der Entwicklung steht ein Kollektortool auf Matlab®-Basis, das mit einem numerischen Optimierer sowie einem Jahressimulationstool, hier Polysun® Inside, gekoppelt wird. Der Kollektor wird als ein thermisches Netzwerk modelliert, in dem alle wesentlichen Komponenten, Randbedingungen und Wechselwirkungen berücksichtigt werden /2/. Dadurch können Kollektorkennlinien und -kosten in Abhängigkeit einer Vielzahl von Konstruktionsparametern in sekundenschelle berechnet werden. Das Modell wurde mit realen Kollektorkennlinien validiert.

Die Übergabe der ermittelten Kennlinienparameter an Polysun® Inside ermöglicht direkt im Anschluss die Berechnung des zu erwartenden solaren Jahresertrages sowie der spezifischen solaren Gestehungskosten. Als Austauschformat werden XML-Dateien verwendet, welche als ASCII-Textdatei kodiert und menschenlesbar sind. Schließlich kann dieses Simulationssystem über einen Optimierer gesteuert werden, sodass automatisch optimale Parameterkonfigurationen für die Kollektorkonstruktion sowie für das Gesamtsystem unter der Maßgabe z.B. minimaler solarer Gestehungskosten ermittelt werden können. Dabei werden bis zu 140 Kollektorparameter inklusive Material- und Bauteilkosten sowie die einschlägigen Systemparameter wie Kollektorfläche und Speichervolumen berücksichtigt.

Der gesamte Simulationsablauf wird durch eine Matlab®-Routine gesteuert. Bei einer typischen Simulation mit Optimierung werden zunächst Standardwerte und Randbedingungen für die Matlab®-Kollektorsimulation und Polysun®-Systemsimulation vorgegeben. Anschließend werden diese an die Programmsteuerung in Matlab® übergeben und zyklisch optimiert:

- Berechnung von Kollektorparametern im **Knotenmodell**
- **Wandlung** von für Polysun® Inside relevanten Daten in XML
- **Systemsimulation** in Polysun® Inside
- **Wandlung** der Daten aus Systemsimulation in XML
- **Kostenmodul** berechnet Kosten mit Daten aus dem Knotenmodell und der Systemsimulation
- **Optimierer** übergibt modifizierte Parameter an die **Steuerung**

Diese Punkte wiederholten sich bis gewünschte Kriterien erfüllt sind. Ein typischer Optimierungsablauf ist in Abb.1 dargestellt.

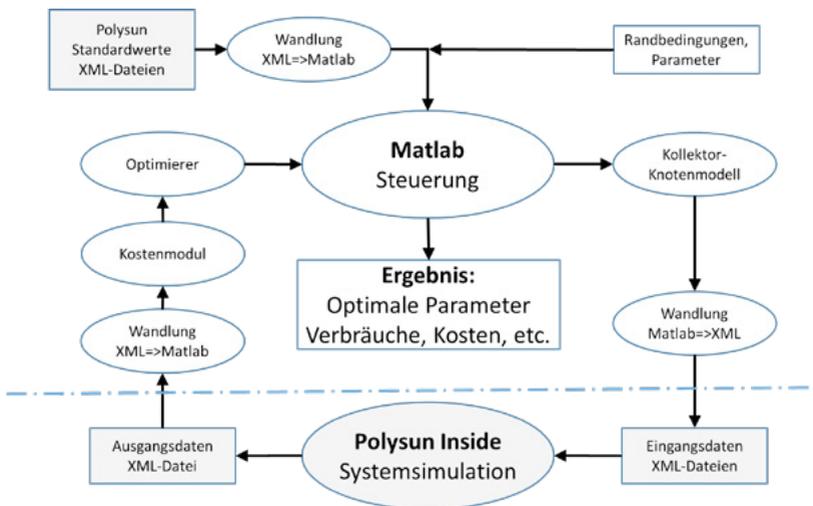


Abb.1: Kopplung von Matlab und Polysun für Optimierungsrechnungen. Datenübergabe mittels XML-Dateien

## Variantenstudie zur Ermittlung neuer Kollektoren

Für ein System, bestehend aus einem Pufferspeicher mit Frischwasserstation, wurde eine Variantenstudie mit über 1000 Kollektorvariationen bezogen auf den Jahresertrag durchgeführt. Der Wärmeverbrauch des Gebäudes wurde an Anforderungen der Energieeinsparverordnung EnEV2016 /3/ angepasst. Das Zapfprofil orientiert sich an dem Referenzprofil der VDI 6002 /4/. Der jährliche Mehr-/Minderertrag und die Kollektorkosten wurden mit einem Referenzkollektor verglichen (Abb. 2). Aus der Grafik lassen sich aus Sicht eines Kollektorherstellers nun Optimierungspotenziale ableiten:

- eine primäre Verbesserung der Kollektorleistung um ca. 9% und gleichzeitiger leichter Kostensenkung um 1% (Variante A). Hier wird der Kundennutzen besonders berücksichtigt, indem die Amortisationszeit durch den höheren Systemertrag reduziert wird
- eine reine Kostensenkung um 4%, ohne den Systemertrag zu reduzieren (Variante B).

Der Vergleich der resultierenden Kollektorkennlinien zeigt, dass der leistungstechnisch optimierte Kollektor A über den gesamten Temperaturbereich verbessert wurde. Der kostentechnisch optimierte Kollektor B schneidet hingegen die Kennlinie des Referenzkollektors, d.h. bei kleinen Temperaturdifferenzen ist der Wirkungsgrad von Kollektor B geringer (Abb. 3).

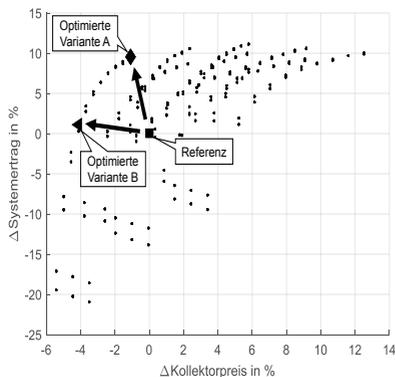


Abb.2: Variantenstudie mit 1000 Kollektorvariation für ein festgelegtes System

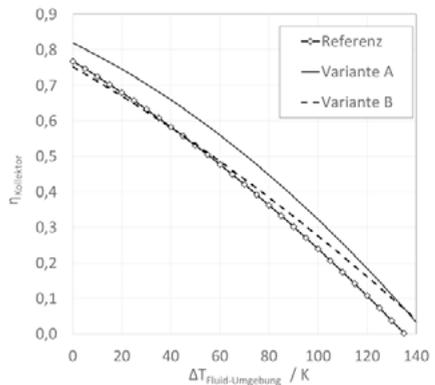


Abb.3: Kollektorkennlinien des Referenzkollektors und der optimierten Varianten A und B

## Systemoptimierung

Für den Referenzkollektor sowie die beiden optimierten Varianten kann schließlich noch das kostenoptimale System durch systematische Variation von Kollektoranzahl und Speichervolumen ermittelt werden (Abb. 4). Größere Systeme führen zu etwas höheren Gestehungskosten, liefern allerdings einen größeren Jahresertrag. Es können relative Optima (verschiedene Kollektoranzahlen oder -typen.), aber auch ein absolutes Optimum ermittelt werden.

Die Systemstudie wurde sowohl für den Referenzkollektor, als auch für die beiden optimierten Kollektortypen A und B durchgeführt. Das optimale System mit den minimalen solaren Wärme gestehungskosten ergibt sich für ein Solarsystem mit zwei Kollektoren von Typ A. Der kostenoptimierte Kollektor Typ führt hingegen zu leicht höheren spezifischen solaren Gestehungskosten. Diese Tendenz lässt sich erst mit einer kompletten Systemsimulation erkennen.

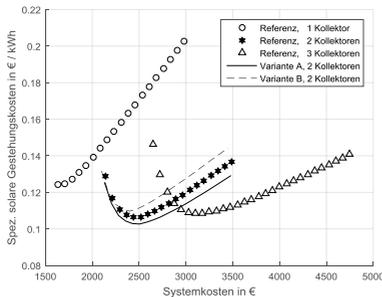


Abb. 4: Systemstudie; Variation von Kollektoranzahl, Speichervolumen und Kollektortyp

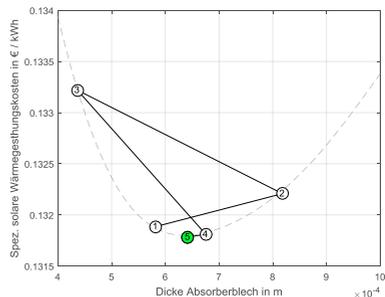


Abb. 5: Darstellung der Optimierungsschritte am Beispiel der optimalen Auslegung eines Absorberbleches: Spezifische solare Gestehungskosten als Funktion der Bechdicke

## Optimierung einzelner Konstruktionsparameter

Ein Beispiel für eine automatische Optimierung ist in Abb. 5 dargestellt. Hier wird die wirtschaftlich optimale Dicke eines Absorberbleches gesucht. Dazu werden die ertragspezifischen Kollektorkosten als Zielgröße minimiert. In der Grafik ist erkennbar, wie der Optimierer von einem beliebigen Startwert aus ein Kostenminimum findet. Das Minimum wird bereits nach 5 Iterationen gefunden. Die gestrichelte Linie im Hintergrund stellt zur Orientierung den tatsächlichen Zusammenhang dar.

Dem Konstrukteur kann also mit Hilfe der Simulation eine eindeutige Antwort auf die häufig gestellte Frage nach der optimalen Größe gegeben werden.

## Zusammenfassung und Ausblick

Es wurde eine vollständige Simulationsumgebung geschaffen, mit der bereits in der Entwicklungsphase automatisierte Optimierungen in Bezug auf die Wirtschaftlichkeit und Ertrag des Gesamtsystems durchgeführt werden können.

Das vollständige Potenzial des Simulationssystems erschließt sich durch die Einbindung eines automatischen Optimierers, der Konstruktions- und Systemparameter für beliebige Anwendungsfälle wie z.B. Prozesswärme oder Thermosiphonsysteme optimieren kann. Anstatt der solaren Gestehungskosten kann die Optimierung auch für andere Größen wie z.B. Amortisationszeit durchgeführt werden.

Selbstverständlich ist die Betrachtung in dem vorgestellten Modell rein thermodynamisch. Sonstige konstruktive Einflüsse z.B. der Statik und mechanischen Robustheit bleiben hier noch unberücksichtigt und bedürfen einer separaten Analyse.

## Literatur

/1/ J. Koke, M. Kuhr, M. Althoff; U. Clement, M. Köhler, H. Boedeker; Ganzheitliche Kostenoptimierung solarthermischer Systeme für Hersteller und Entwickler mittels Simulation; Tagungsband 26. Symposium Thermische Solarenergie, 2016

/2/ John A. Duffie, William A. Beckman; Solar Engineering of Thermal Processes; Wiley, 1991

/3/ Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV), Stand: 24.10.2015

/4/ VDI 6002 Blatt , Solare Trinkwassererwärmung - Allgemeine Grundlagen - Systemtechnik und Anwendung im Wohnungsbau; 2014

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

In Zusammenarbeit mit  **BOSCH**

Förderkennzeichen: 0325552A und 0325552B

---

## Notizen

# Beiträge

## Hybride Konzepte



Internationale Konferenz zur Simulation  
gebäudetechnischer Energiesysteme  
8. & 9. September 2016 · Winterthur

# Mit dem System 2SOL Gebäude emissionsfrei mit Strom, Wärme und Kälte versorgen

Simon Büttgenbach  
Allianz 2SOL  
Brandstrasse 33; 8952 Schlieren  
Tel: +41 44 275 25 11  
E-Mail: [simon.buettgenbach@2SOL.ch](mailto:simon.buettgenbach@2SOL.ch)  
Internet: <http://www.2SOL.ch>

## Das System 2SOL

2SOL versorgt als wirtschaftliches und zuverlässiges Gesamtsystem Gebäude emissionsfrei und nachhaltig mit Wärme, Kälte und Strom. Es ist nicht nur für Neubauten geeignet, sondern auch für Sanierungen ökonomisch attraktiv.

Das System 2SOL verwendet erneuerbare, lokal verfügbare Energiequellen wie die Sonne und nutzt das Erdreich als saisonalen Speicher.

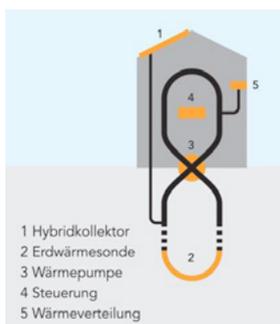


Abbildung 1: Die 2SOL-Systemkomponenten

Der Ausdruck 2SOL leitet sich vom Grundgedanken des Systems ab: Im Sommer wird die auf dem Dach geerntete überschüssige Sonnenenergie im Erdreich gespeichert, um sie dann bei Bedarf, insbesondere im Winter, nutzen zu können. Dabei wird das Erdreich langfristig nicht abgekühlt, sondern saisonal regeneriert, die dem Boden in den Sommermonaten wieder zugeführt wird. Die französische Kurzfassung dieses Ansatzes lautet "énergie solaire avec stockage au sol", kurz: 2SOL.

2SOL unterstützt die Energiestrategie 2050 des Bundesrats und zeichnet sich durch hohe Bedienungsfreundlichkeit, Qualität und Einfachheit des Systems mit aufeinander

abgestimmten Komponenten aus 2SOL betrachtet das Gebäude ganzheitlich und ermöglicht somit ein optimiertes Gesamtsystem inkl. Berücksichtigung der Gebäudehülle

## Die Allianz 2SOL

Das System 2SOL wurde von innovativen Unternehmen aus der Gebäudetechnik, Industrie und Bauwirtschaft entwickelt. Gemeinsam treiben sie als Allianz 2SOL die nachhaltige Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen des Schweizer Gebäudeparks voran. Die Allianz unterstützt als Ansprechpartnerin Bauherren, Architekten, Planer, Installateure und andere Interessierte bei der Koordination und Realisierung von 2SOL-Projekten. Sie fördert als eine für alle zugängliche, offene Plattform den Wissenstransfer zwischen Herstellern von 2SOL-Komponenten und Fachleuten aus den Bereichen Bauplanung und Bauausführung und bietet bestmögliche Qualitätsicherung durch Monitoring und intensive Projektbetreuung.

Neben einer Vereinsmitgliedschaft bietet die Allianz Architekten, Planern und Installateuren auch die Kooperationsmöglichkeit 2SOLexpert an.



## Dynamische Simulation für die Auslegung des Systems 2SOL

Der dynamischen Systemsimulation kommt im System 2SOL zentrale Bedeutung zu. Nach einer ersten statischen Grobdimensionierung der Systemkomponenten wird in der Projektentwicklung über Systemsimulationen mit den Programmen **Polysun** oder auch **EWS** das technische und wirtschaftliche Optimum angenähert. Der finanzielle Mehraufwand der solaren Regeneration des Erdreichs gegenüber konventionell unregenerierten Erdwärmesonden wird über eine erhöhte Systemeffizienz und die Einsparung von Sondenmetern teil- oder komplett kompensiert

Insbesondere geht es darum, anhand der verfügbaren und nutzbaren Dachfläche den möglichen Regenerationsgrad und somit das Temperaturniveau der Erdwärmesonden zu bestimmen und dynamisch mit einer Simulation dieser über die gesamte Anlagenlebensdauer höhe Quelltemperaturen für die Wärmepumpe sicherzustellen. Die technische Kommission der Allianz 2SOL hat in Zusammenarbeit mit dem Softwarehersteller *Velasolaris* ein Template für das Simulationsprogramm Polysun entwickelt. Neuste Erkenntnisse und Erweiterungen fließen in künftige Versionen des Templates ein. Informationen dazu sind bei der Geschäftsstelle der Allianz 2SOL erhältlich.

## Referenzprojekte:

### 1: Buchzelg - Erstes 2SOL-Mehrfamilienhaus

Dieser Ersatzneubau in Zürich-Witikon wurde von Allianzmitgliedern komplett als System 2SOL realisiert. An der Buchzelgstrasse 58 konnten bereits im Frühling 2014 22 grosszügige Mietwohnungen mit 3,5 bis 5,5 Zimmern sowie ein Tonstudio bezogen werden. Das Projekt gilt als erstes 2SOL-Mehrfamilienhaus weltweit und erreicht durch kluge Planung eine Nachverdichtung um rund das Doppelte.

### 2: Oberfeld - Wohnüberbauung Ostermundigen

Auf dem Oberfeld in Ostermundigen bei Bern entstand eine Grossüberbauung mit über 100 Wohneinheiten. Soziale Gedanken und Nachhaltigkeit sind der Wohnbaugenossenschaft Oberfeld als Bauherrin ein grosses Anliegen. Das fortschrittliche Energiekonzept dieses Projekts hat Signalwirkung für das Energiecontracting mit dem System 2SOL. Die Holzbau-Siedlung Oberfeld hat gezeigt, dass eine energieeffiziente Bauweise, hoher Wohnkomfort und niedrige Baukosten durchaus vereinbar sind. Davon profitiert nebst den Bewohnern, der Bauherrschaft und den beteiligten Unternehmen insbesondere auch die Umwelt.

Zur Nutzung der Sonnenenergie wurden über 1200 m<sup>2</sup> Hybridkollektoren eingesetzt, die auf der Vorderseite Strom und auf der Rückseite Wärmeenergie gewinnen. Die Anlage produziert mehr Strom als über das ganze Jahr hinweg für Heizung und Warmwasser in der Überbauung Oberfeld verwendet wird. Den Bewohnerinnen und Bewohnern steht der ökologische Mehrwert dieses Überschussstroms von etwa 65000 kWh/a in Form von Ökostrom zur Verfügung.

Im Rahmen eines P&D-Projekts des BFE mit der Meyer Burger AG ist das Objekt mit einem umfangreichen Monitoringsystem ausgestattet, mit welchem sämtliche relevanten Energieströme überwacht werden. Die Erkenntnisse werden zur stetigen Betriebsoptimierung verwendet. Weitere Informationen dazu:

<http://www.bfe.admin.ch/forschungsolarwaerme/> (unter Pilot- und Demonstrationsobjekte)

<http://www.wohnenimoberfeld.ch>

### 3: P&D Projekt - Sentmatt Obfelden

Im Pilot- und Demonstrationsprojekt Sentmatt Obfelden wird eine emissionsfreie Wärmeversorgung von Gebäuden mit neuen Technologien realisiert. Die Kombination einer Niederhub-Wärmepumpe mit einer tiefen Membran-Erdwärmesonde und Flächenheizungen ermöglicht ein effizientes Heizen im Winter und Kühlen im Sommer bei tiefstem Exergieverbrauch.

Neben dem Nachweis der exergetischen und wirtschaftlichen Vorteile des 2SOL Energiesystemes, sollen auch die Vorteile des dezentralen 2SOL Ansatzes, d.h. 1 Niederhub-Wärmepumpe pro Membran-Erdwärmesonde, aufgezeigt werden. Dieser Ansatz ermöglicht eine optimalen Abstimmung zwischen Quelle, Transformation und Senke sowie erhebliche Vorteile in der Bauphase, durch weniger horizontale Leitungen sowie Aktoren. Um dies aufzuzeigen werden in dieser Siedlung zwei dezentrale Systeme (20 Wohnungen) und ein zentrales System (99 Wohnungen) installiert.

Das ausgewählte Neubauprojekt in Obfelden ZH besteht aus 3 Gebäuden und insgesamt 118 Wohnungen mit dem Ziel eines emissionsfreien Wohnens. Die totale Energiebezugsfläche beträgt 12'900 m<sup>2</sup>. Der energetische Ausbaustandard entspricht den Mindestanforderungen MuKEN. Der Wärmebedarf (inkl. Warmwasser) beträgt 648 MWh/a. Die Bauherrschaft verzichtet auf weitere Zertifizierungen wie z.B. Minergie.

Weitere Informationen dazu: [www.sentmatt.ch](http://www.sentmatt.ch)

#### **4: MFH-Doppelhaus - Sanierung in Feldmeilen**

Die beiden gemeinsam, verbunden und massiv errichteten **Mehrfamilienhäuser** aus dem Jahre 1975 in Feldmeilen befinden sich baulich in gutem und gewartetem, bzw. gepflegtem Zustand. Die 17 Wohneinheiten wurden vor der Sanierung mit einer rein elektrischen Heizung und Warmwasserbereitung versorgt. Somit besteht keine hydraulische Wärmeverteilung im Gebäude. Für die Sanierung wird die neue Wärmeverteilung daher in der neuen Dämmebene an der Aussenfassade geführt und so die neuen Radiatoren in den Wohnungen erschlossen. Die Gebäude sind vermietet. Die Zufriedenheit der Mieter ist hoch und diese Mieter sollen im Zuge der Sanierungsarbeiten so wenig wie möglich eingeschränkt werden und in den Wohnungen verbleiben können.

Die **Sanierungszyklen** der einzelnen Bauteile und technischen Anlagen sind nicht synchron, sodass eine Total- bzw. Kernsanierung nicht erwünscht und sinnvoll gewesen wäre. So sind beispielsweise die Fenster erst zwischen 10 und 20 Jahre und das Dach erst 18 Jahre alt. Die Bauherrschaft priorisiert eine emissionsarme oder idealerweise gar eine emissionsfreie Sanierung bei Erhaltung der Bausubstanz, insb. der noch nicht abgeschriebenen sanierten Bauteile aus jüngerer Vergangenheit. Somit steht nicht die absolute Minimierung des Energiebedarfs, sondern die Nachhaltigkeit des Gesamtsystems im Vordergrund.

Die Bauherrschaft beauftragte ein 2SOL-Mitglied mit der **Konzeptprüfung** des 2SOL-Systems. Über dynamische Simulationen mehrerer Varianten und Machbarkeitsuntersuchungen wurde eine optimierte Dimensionierung des

Gesamtsystems festgelegt und die Wirtschaftlichkeit gegenüber einem konventionellen und somit unregenerierten Erdwärmesondensystem nachgewiesen.

Die Investitionskosten für die Regeneration mit einer Hybridkollektoranlage werden durch Fördergelder, Ertrag aus PV-Stromproduktion, sowie Eigenverbrauch, Systemeffizienzsteigerung durch höhere Erdreichtemperaturen und Einsparung an Sondenmetern kompensiert.

Für das 2SOL-Gesamtsystem wurden **Fördergelder** vom Bund (Photovoltaik - Einmalvergütung), dem Kanton Zürich (Solarthermie) und von der Gemeinde in Meilen (Wärmepumpensystem mit Solarenergie – Ökologiefond) bewilligt.

Die **bauliche Sanierung** umfasst die Dämmung der Fassade mit 20 cm Mineralwolle, die Dämmung der Kellerdecken, den Austausch der Eingangstüren und die Dachsanierung. Letztere wird vorgezogen durchgeführt, um nicht vor Ablauf der Lebensdauer der Hybridkollektoranlage diese für eine Dachsanierung rückbauen zu müssen.

Die langfristige **Wirtschaftlichkeit** des Mietobjekts ist über Mieterhöhungen gegeben, welche allerdings im groben Rahmen der Nebenkostenersparnis der Mieter liegen. Bisher lagen die Mietnebenkosten aufgrund der direkten Stromnutzung und des hohen Energieverlusts des Gebäudes auf sehr hohem Niveau.

Die **Systemauslegung** umfasst eine 2-stufige Wärmepumpe, drei Erdwärmesonden mit je 360 m Tiefe und eine Hybridkollektoranlage mit 160 m<sup>2</sup> Kollektorfläche zur Regeneration.

Über **Eigenverbrauchsoptimierung** des PV-Stroms, welche durch eine intelligente Regelung, vergrößerte Speichervolumina und die direkte Schaltung der Wärmepumpe mit einem speziellen Netto-Stromüberschusszähler realisiert wird, verbessern sich die Gebäude-Energiebilanz und die Wirtschaftlichkeit zusätzlich. Sperrzeiten für die Wärmepumpe konnten nach Gesprächen mit dem Energieversorger aufgrund des Innovationsgehalts des Systems vermieden werden.

Über den Einsatz von **Frischwassertechnik** werden die Systemtemperaturen auch für die Warmwasserbereitung sehr niedrig gehalten.

Die Systemeffizienz wird über ein umfangreiches **Monitoring** überwacht. Das Wärmepumpensystem inkl. der Wärmeverteilung, die Warmwasserbereitung, die Photovoltaik und auch der thermische Teil der Hybridkollektoranlage werden über zahlreiche Sensoren überwacht. Die Messdaten werden in Zusammenarbeit mit der Allianz 2SOL überwacht, ausgewertet und für die Betriebsoptimierung genutzt.

#### **4: Projekt Feldmeilen: Potentiale und Fazit -**

Der Mehrfamilienhauskomplex in Meilen, in hervorragender Lage mit teils freier Seesicht, hat grosses Potential um über eine gründliche bauliche und energietechnische Sanierung mit dem 2SOL-System weitere Jahrzehnte ein gutes Heim für die Mieter zu bieten, sowie eine stabile Wertanlage der Bauherren zu bleiben. Die Gebäude ähneln einem in Mitteleuropa sehr häufig anzutreffenden Gebäudetypus, welcher für die Sanierung des gesamten Gebäudeparks in Hinblick auf die von vielen Ländern angestrebten Emissionsreduktionen, eine grosse Herausforderung darstellt. Die Gebäude zeigen somit das Potential exemplarisch auf, dass es zu vertretbaren Kosten mit derzeit verfügbaren Technologien möglich ist, neben dem Ansatz reiner Energieeffizienzmassnahmen auch mit Fokus auf die Emissionsfreiheit und geringem Stromverbrauch im Winter, eine ganzheitliche Sanierung durchzuführen, welche mit hohem Mehrwert und Komfort für die Bewohner sogar noch die Ästhetik, Architektur und die Sanierungszyklen des Gebäudes berücksichtigt und den Wert der Immobilie somit deutlich steigert. Darüber hinaus kann gezeigt werden, dass eine nachhaltige Nutzung der Erdwärme durch solare Regeneration in Zürcher Wohngebieten möglich und wirtschaftlich realisierbar ist. Dies ist mittelfristig die einzige Möglichkeit, um in dicht bebauten Gebieten Erdwärme wirklich erneuerbar zu nutzen, wie schon in zwei Studien der Stadt Zürich aufgezeigt wurde. (vgl. Studien "Erdsondenpotential der Stadt Zürich" und "RegenOpt")

# Regelstrategien für die Optimierung des Eigenverbrauchs in Gebäuden

David Zogg

Zogg Energy Control

Klosterzelgstrasse 2, 5210 Windisch

Tel.: +41 79 707 02 59

E-Mail: david.zogg@fhnw.ch

Internet: <http://www.zogg-energy-control.ch/>

## Einleitung

Seit die neue Energieverordnung im April 2014 in Kraft getreten ist, hat jeder Photovoltaik-Betreiber das Recht auf Eigenverbrauch. Der natürliche Eigenverbrauch von Gebäuden ohne Massnahmen ist allerdings relativ gering (unter 30%). Im Rahmen des laufenden Projektes "Regelstrategien für die Optimierung des Eigenverbrauchs in Gebäuden" des Bundesamtes für Energie konnte in Simulationen gezeigt werden, dass durch regelungstechnische Massnahmen eine Verdoppelung des natürlichen Eigenverbrauchs möglich ist. Deshalb wurde in einem weiteren Projekt der Eigenverbrauchsmanager entwickelt, welcher bereits in ersten Gebäuden in Betrieb ist.

## Motivation

Die meisten Eigentümer einer kleinen Photovoltaikanlage auf dem eigenen Hausdach möchten den Strom ihrer Anlage selbst nutzen. Durch lokales Lastmanagement können die Geräte im Gebäude mit Sonnenenergie betrieben werden. Verschiedene Ansätze zu lokalem Lastmanagement wurden bereits in früheren Projekten [3] [4] untersucht. Dort hat sich klar gezeigt, dass sich grössere Verbraucher wie Wärmepumpen, Brauchwarmwassererwärmer und Elektromobile (bzw. Plug-In-Hybride) lohnen. Bei kleineren Haushaltgeräten wie Waschmaschinen, Geschirrspüler, Tiefkühltruhen usw. lohnt sich der Aufwand hingegen nicht und es sind Komforteinbussen zu erwarten. Deshalb wird in diesem Projekt auf grössere Verbraucher fokussiert (**Abbildung 1**).

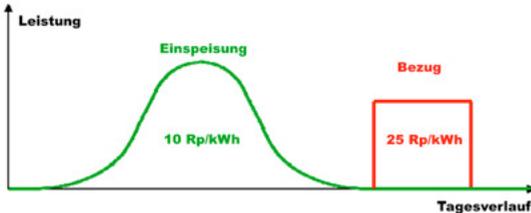


**Abbildung 1:** Gebäude mit Eigenverbrauchsmanager und betrachtete Komponenten wie Photovoltaikanlage, Wärmepumpe, Brauchwarmwassererwärmer, Elektromobil (Plug-In-Hybrid) und Haushaltgeräte.

Notizen

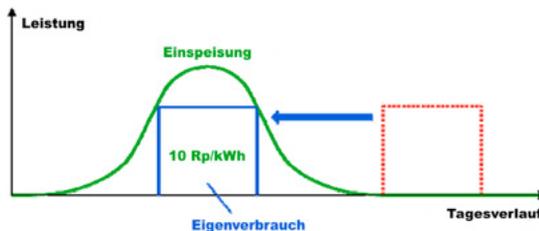
## Eigenverbrauch lohnt sich

Ohne Eigenverbrauchsmanager sind Bezug und Einspeisung beliebig zeitlich verschoben (**Abbildung 2**). Für die Einspeisung ist gesetzlich nur der Energiepreis (Beispiel 10 Rp/kWh) garantiert. Beim Bezug muss hingegen der Energiepreis plus die Netznutzung und Abgaben (Beispiel 25 Rp/kWh) bezahlt werden. Damit verliert der Betreiber bei verschobenem Betrieb 15 Rp/kWh.



**Abbildung 2:** Situation ohne Eigenverbrauchsmanager. Einspeisung und Bezug sind verschoben. Einspeisung zum Energietarif (Beispiel 10 Rp/kWh). Bezug zum gesamten Tarif inkl. Energie, Netz und Abgaben (Beispiel 25 Rp/kWh, Stromtarife variieren je nach Standort).

Mit dem Eigenverbrauchsmanager wird der Verbrauch zeitlich auf die lokale Produktion abgestimmt (**Abbildung 3**). Durch die zeitliche Abstimmung speist der Betreiber weniger Strom ins Netz. Der Eigenverbrauch wird deshalb mit dem Energiepreis bewertet (Beispiel 10 Rp/kWh). Somit kann der Betreiber seine Geräte zum tiefen Energiepreis betreiben. Im Beispiel spart er 15 Rp/kWh durch Eigenverbrauch. Den Überschuss kann er wie bisher zu 10 Rp/kWh verkaufen. Zudem wird durch die Gleichzeitigkeit von Produktion und Verbrauch das Stromnetz entlastet.



**Abbildung 3:** Situation mit Eigenverbrauchsmanager. Einspeisung und Verbrauch decken sich zeitlich. Der Preis des Eigenverbrauchs entspricht dem Tarif des Energiepreises (Beispiel 10 Rp/kWh). Resultierende Einsparung 11 Rp/kWh.

Die Preise oben sind absichtlich gerundet, da die Tarifstrukturen je nach Standort und Elektrizitätswerk stark variieren. Die Situation muss mit dem Tarifblatt des Elektrizitätswerkes vor Ort betrachtet werden. Selbstverständlich spielt es auch eine Rolle, ob zusätzliche Vergütungen wie Herkunftsnachweise (HKN) oder kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) möglich sind. Bei KEV lohnt sich der Eigenverbrauch nicht, da dort z.T. über dem Netzbezugspreis eingespeist werden kann. Deshalb ist der Eigenverbrauchsmanager vor allem für Kleinanlagen mit Einmalvergütung (EIV) interessant.

---

## Notizen

## Kennzahlen für Eigenverbrauch und Autarkie

Als **Eigenverbrauch** ist derjenige Anteil der lokal produzierten Energie zu verstehen, welcher gleichzeitig selbst verbraucht wird. Er wird in kWh (Kilowattstunden) angegeben.

Die **Eigenverbrauchsquote**  $R_{eig}$  ist das Verhältnis zwischen Eigenverbrauch und Eigenstromproduktion. Sie wird in % (Prozent) angegeben:

$$R_{eig} = \frac{E_{eig}}{E_{prod}} = \frac{E_{ges} - E_{netz}}{E_{prod}}$$

$E_{eig}$  Eigenverbrauch (kWh)

$E_{ges}$  Gesamter Stromverbrauch (kWh)

$E_{netz}$  Netzbezug (kWh)

$E_{prod}$  Eigenstromproduktion (kWh)

Unter **natürlichem** Eigenverbrauch oder natürlicher Eigenverbrauchsquote versteht man die Werte, welche man ohne spezielle Optimierungsmassnahmen erreicht.

Unter **Autarkie** versteht man die Unabhängigkeit vom externen Stromnetz.

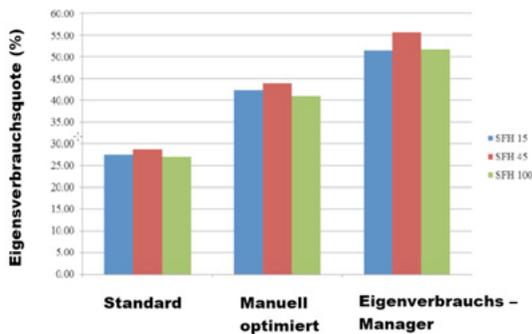
Der **Autarkiegrad**  $R_{aut}$  ist das Verhältnis zwischen Eigenverbrauch und gesamtem Stromverbrauch. Er wird in % (Prozent) angegeben:

$$R_{aut} = \frac{E_{eig}}{E_{ges}} = \frac{E_{ges} - E_{netz}}{E_{ges}}$$

## Resultate

Erste Simulationsergebnisse aus [2] zeigen eindrücklich, wie hoch die Steigerung des **Eigenverbrauchs** durch regelungstechnische Massnahmen ist (**Abbildung 4**). Die natürliche Eigenverbrauchsquote liegt für ein System mit Wärmepumpe und Brauchwarmwassererwärmung bei ca. 25..30% (Standard). Durch ein Zeitprogramm mit Verschiebung der Brauchwarmwasserladung auf die Mittagszeit und Verlagerung der Heizleistung auf den Tag durch gezielte Nachtabsenkung kann die Eigenverbrauchsquote immerhin auf ca. 40..45% gesteigert werden (manuell optimiert). Der Nachteil eines festen Zeitprogramms ist allerdings, dass die Verbraucher auch dann eingeschaltet werden, wenn keine Produktion vorhanden ist (die Sonne nicht scheint). Finanziell ist dies nachteilig, da dann zu Hochtarifzeiten am Tag teurer Strom bezogen werden muss. Deshalb ist es wichtig, dass die Verbraucher nur dann betrieben werden, wenn sie durch die effektive Produktion gedeckt sind. Genau dies ist im Eigenverbrauchsmanager realisiert. Damit wird eine Steigerung der Eigenverbrauchsquote auf 50..55% erzielt, was praktisch einer Verdoppelung gegenüber dem natürlichen Wert (Standard) entspricht. Zudem wird verhindert, dass Strom zu Hochtarifzeiten aus dem Netz bezogen werden muss.

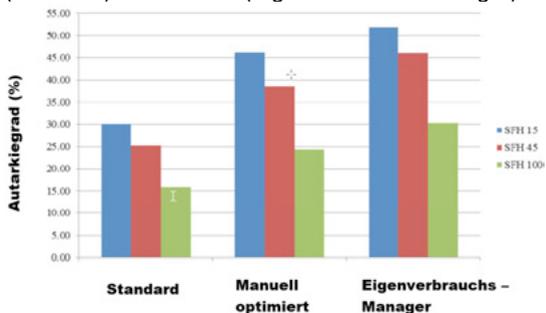
## Notizen



**Abbildung 4:**

Eigenverbrauchsquote ohne Massnahmen (Standard), mit manueller Optimierung über Zeitprogramme und mit Eigenverbrauchsmanager für ein System mit Wärmepumpe und Brauchwarmwassererwärmung. SFH15 = Einfamilienhaus mit jährlichem spezifischem Verbrauch von 15 kWh/m<sup>2</sup> (Minergie-P), SFH45 = 45 kWh/m<sup>2</sup> (Neubau nach MuKE), SFH100 = 100 kWh/m<sup>2</sup> (sanierter Altbau) gemäss [5]. Basierend auf Jahres-Simulationen mit Wetterdaten aus Zürich.

Obige Betrachtung berücksichtigt noch kein Elektromobil. Mit Elektromobil kann die Eigenverbrauchsquote noch wesentlich gesteigert werden, was vor allem im Sommer interessant ist, um den produzierten Überschuss sinnvoll zu nutzen. Der **Autarkiegrad** kann ebenfalls markant gesteigert werden (**Abbildung 5**). Er ist allerdings stark abhängig vom Gebäudetyp. Naturgemäss haben gut isolierte Gebäude (SFH15) einen wesentlich höheren Autarkiegrad als schlechter isolierte Gebäude (SFH100). Je nach Gebäudetyp liegt eine Steigerung von 15..30% (Standard) auf 30..50% (Eigenverbrauchsmanager) drin.



**Abbildung 5:** Autarkiegrad ohne Massnahmen (Standard), mit manueller Optimierung über Zeitprogramme und mit Eigenverbrauchsmanager für ein System mit Wärmepumpe und Brauchwarmwassererwärmung. Legende s. Abbildung 10.

## Amortisation

In **Tabelle 1** wird die Amortisationszeit des Eigenverbrauchsmanagers für verschiedene Anlagengrössen abgeschätzt. Nach wenigen Jahren sind demnach die Investitionen amortisiert und es wird dank Kostenoptimierung ein jährlicher Gewinn von ca. 500 CHF für mittelgrosse Anlagen (15 kWp) erwirtschaftet (bei heutigen Stromtarifen).

---

## Notizen

**Tabelle 1:** Amortisation des Eigenverbrauchsmanagers für verschiedene Anlagengrößen

	Variante klein	Variante mittel	Variante gross
Leistung PV-Anlage	<b>5 kWp</b>	<b>15 kWp</b>	<b>25 kWp</b>
Eigenverbrauchsmanager*	2'500 CHF	3'000 CHF	3'500 CHF
Energieproduktion PV	5'000 kWh/Jahr	15'000 kWh/Jahr	25'000 kWh/Jahr
Eigenverbrauchsquote** ohne → mit EM	35% → 70%	30% → 60%	25% → 50%
Eigenverbrauch ohne → mit EM	1750 → 3500 kWh/Jahr	4500 → 9000 kWh/Jahr	6250 → 12'500 kWh/Jahr
Tarifliche Einsparung durch Eigenverbrauch	15 Rp/kWh	15 Rp/kWh	15 Rp/kWh
Kosteneinsparung ohne → mit EM	263 → 525 CHF/Jahr	675 → 1350 CHF/Jahr	938 → 1875 CHF/Jahr
Kosteneinsparung durch Eigenverbrauchsmanager	263 CHF/Jahr	675 CHF/Jahr	938 CHF/Jahr
<b>Amortisationszeit***</b>	<b>9.5 Jahre</b>	<b>4.4 Jahre</b>	<b>3.7 Jahre</b>
Betriebsdauer	20 Jahre	20 Jahre	20 Jahre
Gewinn auf Betriebsdauer	2'750 CHF	10'500 CHF	15'250 CHF
<b>Gewinn pro Jahr</b>	<b>138 CHF/Jahr</b>	<b>525 CHF/Jahr</b>	<b>763 CHF/Jahr</b>

EM = Eigenverbrauchsmanager

\* grobe Kostenschätzung, variiert je nach Konfiguration, bei grösserer Anlage mehr Komponenten

\*\* aus Simulationen, bei grösseren Anlagen Reduktion der Eigenverbrauchsquote

\*\*\* ohne Zinsen

## Projektpartner im Rahmen des BFE-Projektes

Siemens Building Technologies AG, Zug

CTA Wärmepumpen AG, Münsingen

Ökozentrum, Langenbruck

Zogg Energy Control, Untersiggenthal (Spinoff der FHNW, gegründet 1.4.2015)

## Quellen

[1] Energieverordnung 730.01 (EnV) des Bundes, Stand 1. April 2014

[2] D. Zogg, BFE-Projekt OPTeG, Regelstrategien für die Optimierung des Eigenverbrauchs von Gebäuden, Konzept und Regelstrukturen, Jahresberichte 2013 und 2014 (Projekt laufend)

[3] M. Wiederkehr, S. Koch, Lokales Lastmanagement, FHNW IAST / ETH, [www.lokaleslastmanagement.ch](http://www.lokaleslastmanagement.ch)

[4] BFE-Projekt „Kraftwerk Haus im ländlichen Raum, Umsetzung von Strom-Lastmanagement im Gebäude mit Eigenerzeugung aus Photovoltaik“, Vertrags-/Projektnummer 154392/103330, Schlussbericht, 31. August 2012

[5] The Reference Framework for System Simulations of the IEA SHC Task 44 / HPP Annex 38., M. Haller, R. Dott, J. Ruschenburg, F. Ochs, J. Bony

## Notizen

# eTank – thermische Energie auf Vorrat puffern

## - Zusammenfassung -

Taco Holthuizen  
eZeit Ingenieure GmbH  
Tempelhofer Weg 69, 10829 Berlin  
Tel.: +49 30 50 56 56 36  
info@ezeit-ingenieure.eu  
www.ezeit-ingenieure.eu

## Das Quartier als Massenspeicher

### Energie- und Ressourceneffizienz ermöglicht sozialgerechte Mietpreise

*Wir haben kein Energieproblem, wir haben ein Speicher- und Regelungsproblem. Regenerative Energien stehen überall in Hülle und Fülle zur Verfügung. Auf einem Quadratmeter Grundstücksfläche z.B. im Raum Berlin könnten pro Jahr theoretisch über 1.000 kWh Sonnenwärme geerntet werden. Erdreich, Luft, Wasser, Abwasser, Prozesswärme sind weitere Energiequellen. Wenn wir nur ein Prozent dieser jährlich am Gebäude zur Verfügung stehenden Gratisenergie aus der Umwelt leihen würden, könnten wir unsere Gebäude bilanziell komplett mit regenerativen Gratisenergien versorgen. Das Problem: Gerade Solarenergie ist unständig und steht oft dann nicht zur Verfügung, wenn sie gebraucht wird. Der Fokus beim Einsatz von regenerativer Energie muss daher auf die Themen saisonale Pufferung, Energiemanagement und wirtschaftliche Erstellung einer hohen Anlageneffizienz gelegt werden. Wie können wir die Energie- und Ressourceneffizienz so erhöhen, dass alle davon profitieren: Die Eigentümer, die Mieter, die Energieproduzenten, die Wirtschaft und die Umwelt.*

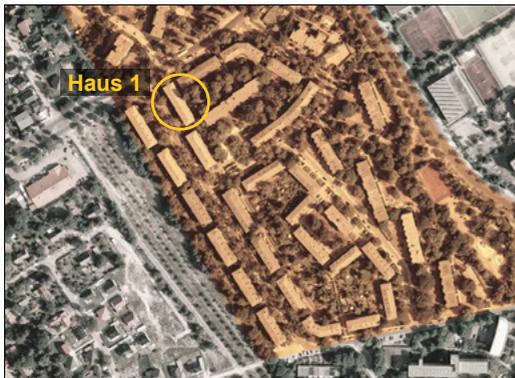


Bild 1: Sanierungsgebiet Lichterfelde Süd in Berlin, Haus 1  
© Geoportail Berlin/DOP20RGB

Seit dem Frühjahr 2013 saniert die Märkische Scholle eG in Berlin ihren ca. 840 WE umfassenden, aus den 30er und 60er Jahren stammenden Wohnungsbestand der Wohnanlage Lichterfelde Süd. Weitere 160 Wohnungen entstehen durch DG-Ausbau und Verdichtungsneubauten. Verschiedene Konzepte, die von geringinvestiven Maßnahmen über Vollsanierung bis Rück- und Neubau einzelner Gebäude reichen, werden in einem Zehnjahreszeitraum umgesetzt.

---

## Notizen

Mit der umfassenden Sanierung der Wohnanlage wird auch ein sozialer Wandel eingeleitet. Die kleinteiligen Wohnungen werden zu über 50 % von Bewohner genutzt, die das Rentenalter erreicht haben und keinen Einkommenszuwachs mehr erwarten können. Vorrangiges Ziel war es daher, neuen bezahlbaren Wohnraum zu schaffen, um barrierearmen Wohnraum anbieten zu können und die Attraktivität für Familien zu steigern. Doch wie kann eine kostenintensive Vollsanierung der Wohngebäude aus den 30er Jahren sozialverträglich umgesetzt werden?

**Kosteneinsparung durch nachhaltiges Bauen.** Möglich wurde dies durch ein Konzept, das auf einer Umstellung der Erzeugung für Heizwärme und Warmwasser auf regenerativen Gratisenergien aufbaut, einer energetisch und wirtschaftlich optimierten Verbesserung der Gebäudehülle und die darauf abgestimmte Finanzierung über die KfW, welche die Mieterhöhung fast vollständig ausgleicht.

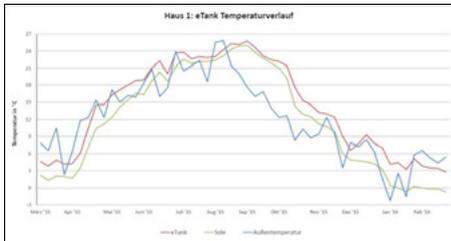
Das Heizsystem der 30er Jahre Bauten wurde von einem Hochtemperatursystem auf Basis von Fernwärme und elektrischen Durchlauferhitzern in ein Niedrigtemperatursystem mit Wohnungsstationen zur hygienischen Warmwassererzeugung umgestellt. Dies ermöglichte die effiziente Nutzung von Wärmepumpen. Die Bereitstellung der Heizenergie erfolgt, so die Planung, bilanziell zu 100 % vor Ort über Abluftwärme, Solarenergie und oberflächennahe Geothermie im Zusammenspiel mit einem trägen, offenen Erdpufferspeicher, dem eTank. Auf der Basis der Berechnungen nach der EnEV wurde im ersten Bauabschnitt für die ersten Gebäude ein durchschnittlicher Primärenergiebedarf von 29,4 kWh/(m<sup>2</sup>xa) ausgewiesen.

Schlüssel des Anlagensystems ist die Steuerung und Speicherung der Energieflüsse. Welche Energie steht wann zur Verfügung und wird wo am effizientesten eingesetzt oder gespeichert? Dies steuert ein modular aufgebauter, dynamischer Energiemanager (DEM). Der DEM verfügt über zahlreiche Messeinrichtungen, über die Heizwärme- und Warmwasserverbrauch, thermischer Solareintrag, geo-thermischer Energiegewinn, Energiegewinn über Abluftwärmepumpe sowie Stromertrag über PV in Echtzeit gemessen, ausgewertet und aufeinander abgestimmt werden. Das System kann hinsichtlich Gleichzeitigkeitsfaktoren und Mietverhalten im laufenden Betrieb angepasst und optimiert werden. Dies ist in einem Projekt, in dem die Sozialverträglichkeit über die eingesparten Heizkosten funktioniert muss, essenziell.

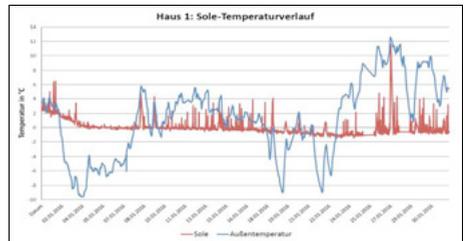
Im trägen Erdpufferspeicher eTank können Wärmegewinne aus der Solar- oder Abluftanlage, die nicht sofort genutzt werden, zwischengespeichert und bei Bedarf mit Hilfe der Wärmepumpentechnologie hocheffizient in das Heizsystem zurückgeholt werden. Beim eTank handelt es sich um einen, nach unten *offenen* Pufferspeicher, der bei der Sanierung neben dem Gebäude im oberflächennahen Erdreich und im Neubau unter dem Gebäude errichtet wird. Der Pufferspeicher besteht ausschließlich aus der vorhandenen Erde, ist oben und zur Seite gedämmt und wird durch den DEM über PEX-Leitungen oszillierend be- und entladen. Mittels dem eTank können über eine optimal ausgerichtete solarthermische Anlage jährlich über 750 kWh Energie pro Quadratmeter Kollektorfläche geerntet werden (Raum Berlin). Dieser offene, oszillierende Speicher (ooS) ist Grundlage für eine hohen Anlageneffizienz, mit der DEMooS-Technik kann eine Anlagenaufwandszahl  $e_p < 0,3$  erreicht werden.

---

## Notizen



**Bild 2:** Temperaturverlauf 2015 im eTank Haus 1.  
Grafik: eZeit Ingenieure GmbH



**Bild 3:** Temperaturverlauf Januar 2016 im eTank Haus 1.  
Grafik: eZeit Ingenieure GmbH

Auf Bild 2 ist der gemittelte Jahresverlauf der Erdtemperatur im eTank am Beispiel von Haus 1 dargestellt. Bild 3 zeigt den Verlauf der Soletemperatur im Januar 2016, als die Außentemperatur hohe Minuswerte erreichte. Die kalten Wintertage führen kaum zu Veränderungen des Temperaturniveaus im eTank, da zu diesem Zeitpunkt die Nachströmung thermischer Energie aus den tieferen Erdschichten eingesetzt hatte. Die hohen Ausschläge der Soletemperatur nach oben werden durch solare Einträge erzeugt, damit hilft die Energie der Wintersonne das System zu stabilisieren. Diese oszillierenden Einträge tragen dazu bei, dass über eine richtig im System eingebundene solarthermische Anlage hohe Energieerträge generiert werden können. Die Amortisation dieser Anlage liegt dementsprechend deutlich unter 5 Jahren.

Im 2015 begonnenen zweiten Bauabschnitt, gefördert durch das BMUB und die KfW über das Umweltinnovationsprogramm, wird die Anlagentechnik von vier Gebäuden elektrisch miteinander vernetzt, die DEMooS-Technik wird um ein elektrisches Management erweitert. Auch Batteriespeicher werden eingebaut. Der Einsatz der zurzeit noch umstrittenen Stromspeicher lässt bei einem  $e_p$ -Wert von 0,3 deren Wirtschaftlichkeit in einem neuen Licht erscheinen. Die Eigennutzung von PV-Strom wird deutlich erhöht, wodurch nicht nur das Stromnetz weiter entlastet wird, sondern bereits mit kleinen Stromspeichern eine Primärenergieeinsparung von über 15 % erreicht werden kann. Momentan gibt es keine wirtschaftlichere Alternative.

Rechnerisch wird damit eine CO<sub>2</sub>-Reduktion von über 62 Tonnen pro Jahr und Gebäude erreicht, so die Theorie! Und noch besser: Wenn energetisch optimierte und mit thermischen Speichern und Batterien bestückte Gebäude elektrisch vernetzt und durch die Bereitstellung von Regelenergie zur Stromnetzstabilisierung eingesetzt werden, können weitere Ressourcen eingespart und CO<sub>2</sub>-Ausstoß vermieden werden.  $e_p$ -Werte deutlich unter 0,2 sind realisierbar! Diese Vernetzung wird momentan noch durch rechtliche Restriktionen behindert.

Ende 2014 wurden die ersten vier sanierten Gebäude mit insgesamt knapp hundert Wohnungen in Betrieb genommen. Obwohl die Gebäude zu Beginn der Heizphase durch noch vorhandene Baufeuchte und eine lange Umzugsphase einen deutlich höheren Heizenergiebedarf auswiesen, konnten im ersten Betriebsjahr 2015 die Simulationsergebnisse im Wesentlichen bestätigt werden.

---

## Notizen

29,5 % des gesamten Energiebedarfs zur Gebäudetemperierung wurden über eine Luft-Sole-Wasserwärmepumpe gedeckt, die hochwertige Energie alleine aus der Abluft erzeugt (HEAL-Technik, Quelltemperatur > 21 °C). Wenn mit der gewonnenen Energie Warmwasser (45 °C) aufbereitet wird, liegt die Jahresarbeitszahl bei 4,5, wird sie jedoch für die Fußbodenheizung genutzt (35 °C), kann eine JAZ über 6,2 erreicht werden. Diese Technologie ist damit das wirtschaftlichste Lüftungssystem auf dem Markt. Während herkömmliche Lüftungssysteme mit Gegenstromwärmetauscher deutlich über 6.000 € pro Wohneinheiten kosten, schlagen bei diesem hygienisch und energetisch hochwertigeren System nur knapp 2.400 € zu Buche.

Auf Basis des Monitorings im zweiten Betriebsjahr werden die Energieflüsse weiter optimiert. Die Vorlauftemperatur der Warmwasserversorgung konnte durch die Heißgasaukoppelung der Wärmepumpen z.B. von 55 °C auf 45 °C gesenkt werden, was zu einer Effizienzsteigerung von mindestens 15 % führt. Der Primärenergiebedarf  $Q_p$  wird 2016 bei unter 15 kWh/m<sup>2</sup>, die Endenergie bei 9,3 kWh/m<sup>2</sup> und Jahr liegen, obwohl nur eine Dämmqualität leicht über den Mindestanforderungen umgesetzt wurde. Die Anforderungen der EU für 2050 ( $Q_p < 30$  kWh/m<sup>2</sup> pro Jahr) werden damit schon heute wirtschaftlich realisiert. Warum also warten?

**Bezahlbares Wohnen Wirklichkeit werden lassen.** Die Mehrinvestitionen beim Haus 1 zum Erreichen dieses Zieles liegen in einer Zehnjahresbetrachtung bei ca. 180.000 €. Über Finanzierung, Energieeinsparung und Förderung werden im gleichen Zeitraum über 500.000 € eingespart. Im Ergebnis wird bewiesen, dass mit einer energetischen Optimierung von Gebäudehülle und Haustechnik eine Sanierung subventioniert wird. Aber es wären noch deutlich höhere Kosten- und CO<sub>2</sub>-Einsparungen möglich, wenn es die EnEV und die Förderbedingungen zulassen würden.

Der Primärenergiebedarf eines Gebäudes berechnet sich nach der EnEV aus einer *einfachen* Multiplikation aus Jahresheizwärmebedarf plus Warmwasserbedarf multipliziert mit der Anlagenaufwandszahl  $e_p$ :  $Q_p = (Q_h + Q_w) \times e_p$ . Der  $e_p$ -Wert besagt, wie viel Primärenergie eingesetzt werden muss, um 1 kWh *nutzbare* Heizwärme zu erhalten. Bei alten Heizsystemen kann der Wert bei 3,0 liegen, mit einer effizienten Gasbrennwerttherme und einer einfachen Lüftung wird im optimalen Fall auch ein Wert von 1,0 erreicht. Je mehr regenerative Energie zum Einsatz kommt, umso geringer wird der  $e_p$ -Wert. Bei der Ausarbeitung der EnEV 2002 konnte man sich nicht vorstellen, dass dieser Wert deutlich unter 0,9 liegen kann, weil die entsprechende Reglungs- und Speichertechnik noch nicht ausgereift bzw. zu teuer war. Mit dem Einsatz von DEM und eTank sind seit 2007  $e_p$ -Werte weit unter 0,6 möglich, im ersten Bauabschnitt wurden Werte um 0,3 erreicht.

Die direkte Abhängigkeit von Jahresheizenergiebedarf mit  $e_p$  hat gravierende Auswirkungen auf den Stellenwert der Dämmung. Jedes Gebäude muss hinreichend gedämmt sein. Aus Gründen der Behaglichkeit sollte bei einer Raumtemperatur von 21 °C auf der Innenseite der Außenwände auch im Winter eine Temperatur von 18 °C nicht unterschritten werden. Am Haus 1 hätte dazu eine 6 cm starkes Wärmedämmverbundsystem (WDVS) ausgereicht. Tatsächlich fordert der Staat eine Mindest-

---

## Notizen

dämmstärke von 12 cm. Um in den Genuss zinsvergünstigter Darlehen der staatseigenen KfW zu kommen, müssen mindestens 14 cm Dämmung aufgebracht werden.

Der KfW genügt es nicht, dass der maximal zulässige Primärenergiebedarf um 15 % unterschritten wird, sie verlangt darüber hinaus eine weitere Begrenzung des Transmissionswärmeverlustes. Damit wird aber der Primärenergiebedarf in Haus 1 nicht um die geforderten 15 %, sondern um über 75 % unterschritten, was den Primärenergieanforderungen an ein Passivhaus entspricht! Ein Schildbürgerstreich.

Die Auflage an eine zusätzliche Begrenzung des Transmissionswärmeverlustes ist bei tiefen  $e_p$ -Werten energetisch und volkswirtschaftlich betrachtet in Frage zu stellen. Sie führen zu deutlichen Mehrkosten, die durch die Mieter getragen werden müssen. Außerdem wächst ab einem kritischen  $e_p$ -Wert die Gefahr, dass das eigentliche Ziel, die Dekarbonisierung, konterkariert wird.

Die Bauwirtschaft dämmt und reduziert den Wärmeverlust über die Gebäudehülle ad absurdum im Glauben, der Materialeinsatz hätte nichts mit Primärenergie zu tun. Je nach Dämmmaterial steht aber der zur Herstellung der zusätzlichen Dämmung benötigte Primärenergiebedarf (Graue Energie) in keinem adäquaten Verhältnis mehr zu der durch die Heizenergieerzeugung erreichten Primärenergieeinsparung. Der kritische  $e_p$ -Wert liegt je nach Material bei 0,8, bei einem Wert unter 0,5 liegt die Amortisationszeit einiger Materialien bereits weit über der Lebensdauer des Dämmmaterials. Diese Zusammenhänge wurden in der EnEV 2007, 2009 und 2014 schlicht ignoriert! Hier muss dringend eine Grenzwertbetrachtung eingeführt werden.

Die optimale Dämmstärke hängt direkt von der Anlagenaufwandszahl  $e_p$  ab. 2015 wurde in der schweizer Studie „Ökologisch optimierte Dämmstärken bei Gebäuden“ (1) nachgewiesen, dass es diese optimale Dämmstärke in Abhängigkeit vom regenerativen Anteil im Schweizer Strom-Mix gibt und dass es bei Überschreitung der optimalen Dämmstärke zu einer Erhöhung des Primärenergiebedarfs kommt. eZeit Ingenieure weist auf diese Zusammenhänge bereits seit 2008 hin. Seit 2012 werden diese Zusammenhänge auch innerhalb von F&E-Projekten thematisiert, bisher ohne nennenswerten Erfolg. *Unser Credo ist zuerst die Dämmung und dann die Verbesserung der Haustechnik*, so ein verantwortlicher Gutachter für staatliche F&E-Projekte. Es existiert somit keine neutrale Bewertung der technischen Zusammenhänge, sondern sie hat eine politische bzw. idealistisch Einfärbung!

Eine ganzheitliche Optimierung von Gebäudehülle und Haustechnik bedeutet, Ressourceneinsatz, Energieeffizienz und Energiegewinnung zusammen zu betrachten (2). In dieser Logik reduzieren sich die Baukosten, trotz Effizienzsteigerung.

- (1) Ökologisch optimierte Dämmstärken bei Gebäuden, Daniela Wohlgenuth, Dimitri von Gunten, Christian Zeyer, Hans-Jörg Althaus, Heinrich Manz, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin Bauphysik 37 (2015), Heft 5
- (2) [www.ecoquent-positions.com/taco-holthuizen-waermewende-energieewende-ressourcenwende-zusammendenken/](http://www.ecoquent-positions.com/taco-holthuizen-waermewende-energieewende-ressourcenwende-zusammendenken/)

---

## Notizen

# **Erdreich als Speicher – grosse Anergienetze**

Florian Ruesch, Jakob Scherer, Matthias Kolb  
SPF Institut für Solartechnik, Hochschule für Technik Rapperswil HSR  
OBERseestrasse 10, CH-8644 Rapperswil  
Tel.: ++41552224831  
E-Mail: [florian.ruesch@spf.ch](mailto:florian.ruesch@spf.ch)  
Internet: [www.spf.ch](http://www.spf.ch)

## **Einleitung**

Bei der Umsetzung der Klimaziele des Bundes spielt der Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Ausstoss des Gebäudeparks für Raumwärme und Warmwasser eine zentrale Rolle. Eine zusätzliche Herausforderung stellt auch der steigende Bedarf an Kälte zur Gebäudeklimatisierung oder zur Prozesskühlung dar. Die Vernetzung von Arealen kann dabei Synergien nutzen und einen wichtigen Beitrag zum Erreichen dieser Ziele leisten. Eine Möglichkeit zur thermischen Vernetzung bieten sogenannte Niedertemperatur- oder "Anergienetze", bei denen grosse Erdsondenfelder als saisonale Speicher eingesetzt werden. Diese werden von dezentrale Wärmepumpen über ein wassergeführtes, erdverlegtes Netz als Quelle genutzt und stellen Wärme oder Kälte auf einem nutzbaren Temperaturniveau zur Verfügung.

Grosse Erdsondenfelder sind sowohl für das hydraulische Funktionieren, als auch für das thermische Verhalten solcher Netze von zentraler Bedeutung. Der Temperaturverlauf im Netz bestimmt dabei die möglichen Nutzungen (direkte Gebäudekühlung kann z.B. nur unter ca. 20°C betrieben werden), aber auch die Effizienz der angeschlossenen Wärmepumpen. Die Simulation grosser Erdsondenfelder ist daher bereits in der Planung von zentraler Bedeutung. Anhand des Netzes der Familienheimgenossenschaft Zürich (FGZ) werden die Möglichkeiten zur Simulation solcher Systeme mit der Software Polysun mit Fokus auf Erdsondenspeicher aufgezeigt und anhand von Messdaten validiert.

## **Anlagenbeschrieb**

Die Familienheimgenossenschaft Zürich hat sich entschlossen, einen Grossteil ihres Wärmebedarfs mittels einem „Niedertemperaturnetz“ bereit zu stellen. Es ist vorgesehen dieses in mehreren Bauabschnitten bis zu Jahre 2030 auszubauen. Im Endausbau sollen ca. 2'300 Wohneinheiten mit 5'700 Bewohnern und einem Wärmebedarf von 35'000 MWh versorgt werden. Diese Energie wird von mehreren Abwärmelieferanten (hauptsächlich Rechenzentren der Swisscom und der Credit

---

## **Notizen**

Suisse) zur Verfügung gestellt. Das Abwärmepotenzial im gegebenen Areal beträgt dabei ca. 80'000 MWh und übersteigt den Wärmebedarf der Genossenschaft bei weitem. Weitere Details zu diesem Netzwerk sind z.B. in [1] gegeben.



**Abbildung 1** Gebiet der Familienheimgenossenschaft Zürich, welches bis 2030 mit einem „Anergienetz“ versorgt werden soll (rot: bereits realisiert). Die Abwärme stammt hauptsächlich aus zwei Rechenzentren.

Im Herbst 2014 ging die erste Bauetappe des Netzes in Betrieb. Seit diesem Zeitpunkt wird das Netz vermessen und die Messwerte werden aufgezeichnet. Bereits in Betrieb genommen sind:

- Eine grosse Zentrale mit Wärmepumpe, welche über 400 Wohnungen mit Warmwasser und Raumwärme versorgt.
- Ein grosser Erdsondenspeicher mit 153 Sonden a 250 m.
- Die Abwärmelieferung aus dem Rechenzentrum der Swisscom mit einer Leistung bis ca. 1.5 MW.

In einer weiteren Bauetappe werden ein weiterer Erdspeicher, vier neue Bezüger und ein Abwärmelieferant ans Netz angeschlossen. Diese sind in Detailplanung oder befinden sich in der Umsetzung und werden mehrheitlich 2017 in Betrieb genommen.

## Abbildung in Polysun

Mehrere Bauphasen des „Anergienetzes“ der FGZ wurden in Polysun mit dem Fokus auf die Erdsondenspeicher abgebildet. Dabei wurden folgende Vereinfachungen vorgenommen (siehe auch **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**):

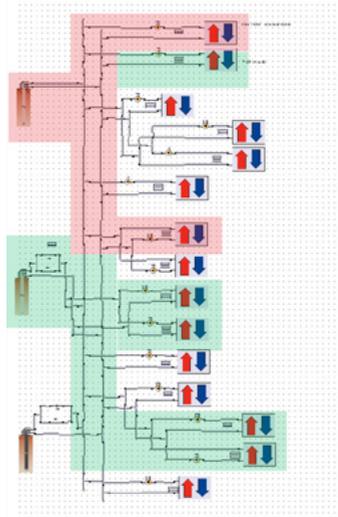
- Die Leistungen der verschiedenen Zentralen wurden als Stundenwerte über die „Wärmequell/Wärmesenke“ eingelesen. Diese wurden extern aufgrund von Messdaten, Planungsgrundlagen und in Abhängigkeit der Aussentemperatur modelliert.

---

## Notizen

- Die Komponente Wärmequelle/Wärmesenke wurde leicht angepasst, so dass Sie nicht als Wärmetauscher funktioniert, sondern vorgegebenen Leistung direkt weitergegeben wird.
- Die g-Funktion für die Erdsondenfelder wurde anhand einer neuen Methode[2] berechnet und eingelesen.
- Alle Pumpen wurden auf eine konstante Temperaturdifferenz von 4K zwischen Warm- und Kaltleiter geregelt.
- Der Volumenstrom im zweiten und dritten Sondenfeld wurde mittels „Durchflusserzeugern“ proportional zur Anzahl Sonden im Feld generiert. In der Praxis wird der Volumenstrom passiv, aufgrund des Druckverlustes aufgeteilt.

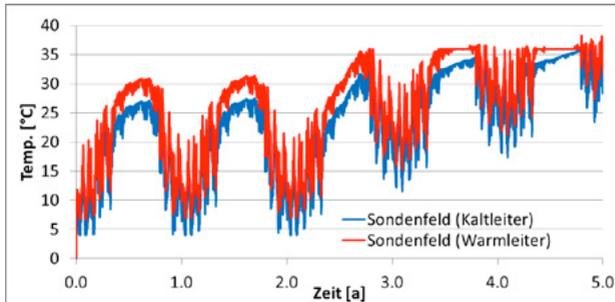
In Abbildung 3 werden die aus den vereinfachten Lasten resultierenden Ein- und Austrittstemperaturen beim zentralen Erdsondenspeicher gegeben, welche über fünf Jahre simuliert wurden. Beim Erreichen von 4°C wurde dabei die Entzugsleistung reduziert um ein Einfrieren des Verdampfers auszuschliessen. In der Realität wird dann die Leistung über eine konventionelle Spitzenabdeckung generiert. Dieser Betrieb würde gemäss vereinfachter Abbildung in den ersten drei Wintern erreicht, danach wäre der Erdspeicher durch den Überschuss an Abwärme soweit erwärmt, dass keine konventionelle Spitzenabdeckung mehr benötigt wird.



**Abbildung 2** Abbildung des Anergienetzes der FZG in Polysun mittels „Wärmequelle/Senke“. Rot hinterlegte Elemente wurden bereits realisiert, grün hinterlegte Elemente befinden sich in der Detailplanung oder Umsetzung, die weiteren Elemente sind bis 2030 vorgesehen.

---

## Notizen



**Abbildung 3**  
**Vorhersage des**  
**Temperaturverlaufs des**  
**FGZ-Netzes beim**  
**Erdsondenspeicher**  
**aufgrund vereinfachter**  
**Lasten der ersten**  
**Bauetappe.**

## Vergleich mit Messdaten

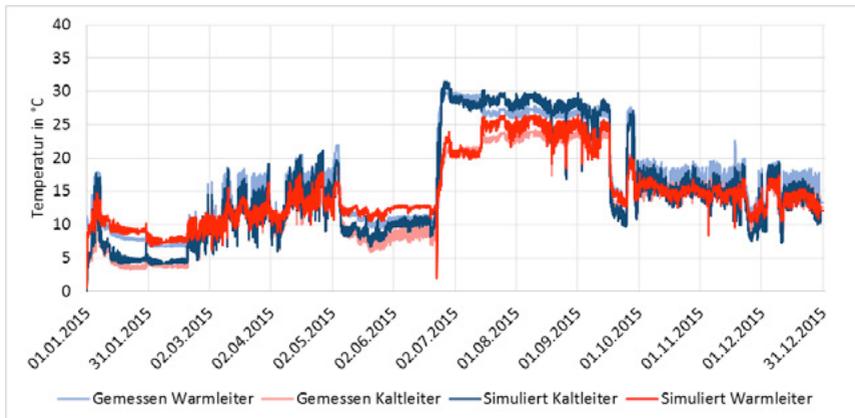
Der reale Betrieb im ersten Betriebsjahr (2015, siehe

Abbildung 4) weicht deutlich von den vereinfachten Vorhersagen ab. Aufgrund der Inbetriebnahme fiel die Abwärmeeinspeisung während längerer Zeit aus (um den Januar, sowie um den Juni). Der Verlauf der gemessenen und der aufgrund vereinfachter Lasten simulierten Temperaturen sind daher nicht direkt vergleichbar. Um die Abbildung des Erdsondenspeichers zu überprüfen wurden die gemessenen Lasten an Stelle der vereinfachten Lasten eingelesen. Der Verlauf der Ein- und Austrittstemperaturen aus Messung und Simulation weisen danach eine grosse Übereinstimmung auf (siehe

---

## Notizen

Abbildung 4). Die nach Leistung gewichtete absolute Abweichung zwischen Messung und Simulation beträgt dabei 1.1 °C.



**Abbildung 4 Verlauf von gemessenen und anhand der eingespiessenen resp. entzogenen Leistung simulierten Temperaturen am Erdspeicher.**

Die wichtigen Temperaturlimiten (Erreichen von 4°C im Winter sowie von 25°C bis 30 °C im Sommer) konnten aber bereits mit den vereinfacht abgeschätzten Lasten ermittelt werden. Eine verlässliche Abschätzung dieser Temperaturen schon in der Planungsphase ist entscheidend. So schliessen z.B. die rasch ansteigenden Temperaturen eine direkte Raumentwärmung (Freecooling) weitgehend aus.

---

## Notizen

## Diskussion und Schlussfolgerungen

Mit Hilfe der Wärmequelle/Wärmesenke können grosse „Anergienetze“ mit Wärme- und Kältenutzung und mehreren Erdsondenspeichern in Polysun abgebildet und simuliert werden. Diese können zur Dimensionierung der Erdsondenspeicher und zu Abschätzung der Temperaturen im Netz eingesetzt werden. Der reale Verlauf der verfügbaren Leistungen unterschieden sich im ersten Betriebsjahr der FGZ, auch aufgrund der Inbetriebnahme, deutlich von den vereinfachten Annahmen. Durch Einlesen der gemessenen Leistungen konnte aber gezeigt werden, dass das Erdsondenmodell und die Vernetzung mit erdverlegten Leitungen zu realistischen Resultaten führen. Die etwas grössere Streuung der Messdaten bei starken Lastwechseln (z.B. gegen Ende des Jahres) ist dabei der Mittelung beim Einlesen von Stundenwerten geschuldet. Die Möglichkeiten zur Abbildung der Hydraulik und Simulation der benötigte Pumpenergie und die Performance der verwendeten Wärmepumpen werden in einer anderen Publikation [3] in grösserem Detaillierungsgrad analysiert.

## Referenzen

- [1] Ruesch, F., Kolb, M., Gautschi, T. & Rommel, M., 2013. Heat and cold supply for neighborhoods by means of seasonal borehole storage and low temperature energetic cross linking. In: Proceedings of the International Conference on Clean Technology for Smart Cities and Buildings CISBAT, Lausanne, Switzerland.
- [2] Cimmino, M. & Bernier, M., 2014. A semi-analytical method to generate g-functions for geothermal bore fields. International Journal of Heat and Mass Transfer, 70(0), p.641–650.
- [3] Ruesch, F., Scherer, J. & Rommel, M., 2015. PUMPING POWER PREDICTION IN LOW TEMPERATURE DISTRICT HEATING NETWORKS. In: Proceedings of the International Conference on Clean Technology for Smart Cities and Buildings CISBAT, Lausanne, Switzerland.

---

## Notizen

# Beiträge

## Solares Heizen und Kühlen



Internationale Konferenz zur Simulation  
gebäudetechnischer Energiesysteme  
8. & 9. September 2016 · Winterthur

# VERGLEICH VON HEIZUNGS- UND KÜHLKONZEPTEN MIT PHOTOVOLTAIK VALIDIERUNG DER SIMULATIONSRESULTATE IM KÜHLMODUS

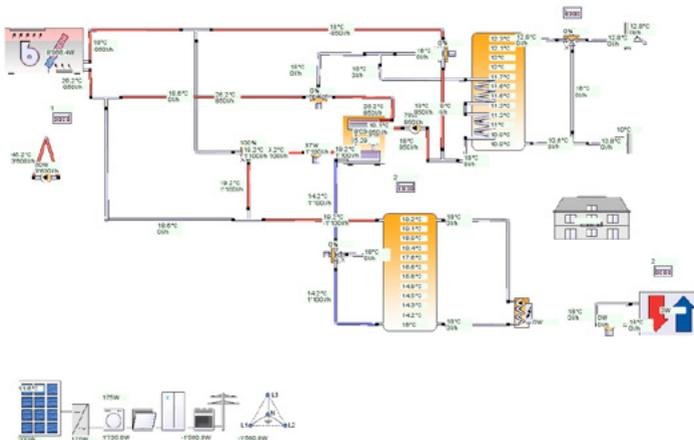
Paul Gantenbein, Lukas Omlin, Daniel Notter  
 Institut für Solartechnik SPF, HSR Hochschule für Technik Rapperswil  
 Oberseestrasse 10, CH-8640 Rapperswil  
 Mail: paul.gantenbein@spf.ch ; lukas.omlin@spf.ch

**Abstract** Ein PV-Strom und öffentliches, elektrisches Netz gekoppeltes Heiz- und Kühlsystem wurde aufgebaut und Messungen zur Systemleistung werden durchgeführt. Das System hat eine maximale Heizleistung von  $P_{\text{heiz}} = 10 \text{ kW}$  bzw. eine Kühlleistung von  $P_{\text{kühl}} = 8 \text{ kW}$  und kann in unterschiedlichen Modi betrieben werden. Prioritär soll es zur Klimatisierung - Kühlung im Sommer - von Arbeits- und Wohnräumen eingesetzt werden um das Raumklima im Bereich der Behaglichkeit - Komfort - zu halten. Dazu ist das System mit PV-Modulen, einer Wärmepumpe mit Kompressor, einem Kältespeicher und einem Heisswasserspeicher, einer Ausseneinheit sowie mit Heiz-/Kühldecken aufgebaut. Um die Effizienz des Systems zu erhöhen wird im Kühlmodus eine "Wärmerückgewinnung" zur Erwärmung (Vorwärmung) des Trinkwassers gemacht. Die Speicher dienen nebst der Steigerung der Effizienz auch zur Überbrückung Sonnenfreier Zeiten in welchen vom Raum z.B. Kühlbedarf besteht.

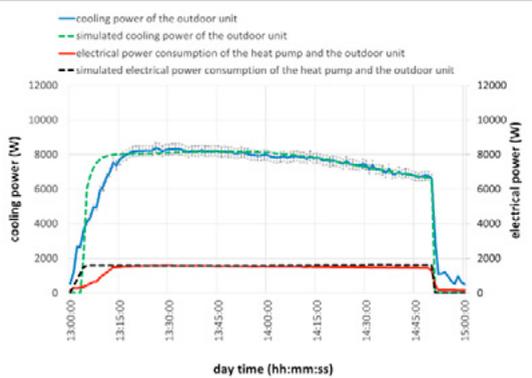
Bei Bedarf und entsprechenden Wetterbedingungen - wie tiefen Aussentemperaturen bei Nacht - kann z.B. der Kältespeicher über die Ausseneinheit (ohne Betrieb der Wärmepumpe) auf tiefere Temperaturen gekühlt werden. Dieses "Free Cooling" ist zum einen die effizienteste Kühlmethode, kann aber hier nur durch die Netzkopplung angewandt werden. Um dazu Netz unabhängig zu sein würde ein elektrischer Speicher benötigt - eine Batterie mit entsprechender Kapazität. Das Kühlmedium (Fluid) im Kältespeicher besteht aus seiner Mischung von Wasser mit 20 vol. % Ethanol weil dessen thermodynamische Eigenschaften bei Temperaturen unterhalb von  $20 \text{ °C}$  besser sind als jene von Wasser. Zudem kann aufgrund des tieferen Gefrierpunktes eine grössere Menge Kälteenergie pro Volumen gespeichert werden als dies bei Verwendung von Wasser der Fall wäre. Das System ist so mit Sensoren ausgerüstet, dass Leistungs- und Energiemessungen möglich sind, wobei die Datenerfassung über die NI LabVIEW® Software realisiert ist. Die Datenanalyse basiert auf MATLAB Skripten. Ein Simulationsmodell wurde in der Software Polysun® aufgebaut. Die Validierung über die Messdaten ist im Gange. Ziel dieses Aspektes der Arbeiten ist die Skalierung auf Systeme mit einer Leistung - Heiz-/Kühlleistung im Bereich von  $P_{\text{heiz/kühl}} = 100 \text{ kW}$ .

**Stichworte** Erneuerbare Energie, Solarenergie, Solares Kühlen & Heizen, Photovoltaik, Modellierung, Validierung

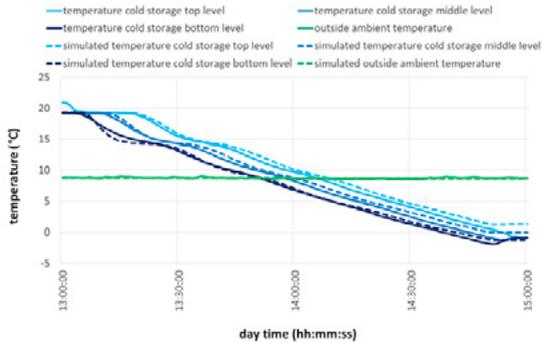
## Graphisches Abstract



**Figur 1** Schematische Darstellung in der grafischen Eingabeoberfläche und Anzeige von Werten aus der Simulation in der Polysun® Software.



**Figur 2** Vergleich von Mess- und Simulationswerten der Kälteleistung sowie der elektrischen Leistung .



**Figur 3** Vergleich von Mess- und Simulationswerten im Kältespeicher.

### Danksagung

Wir danken dem Schweizer Bundesamt für Energie BFE sowie der HSR Hochschule für Technik Rapperswil für die finanzielle Unterstützung. Zudem danken wir den Industriepartnern für deren Unterstützung mit Komponenten und Know-how.

# Eis-Energiespeicher

## - Zusammenfassung -

Adnan Ribic  
Viessmann Eis-Energiespeicher GmbH  
Uhlandstraße 21, 71638 Ludwigsburg  
+49 7141 99170016  
a.ribic@eis-energiespeicher.com  
www.viessmann.com

### Das Eisspeicherkonzept

Beim Eisspeicherkonzept der Firma Viessmann Eis-Energiespeicher GmbH stehen der Eis-Energiespeicher, die SolarLuft-Kollektoren und die Wärmepumpe im Mittelpunkt und vereinen zusammen verschiedene Energiequellen.

Dazu zählen:

- Die Sonnenenergie durch Einstrahlung auf die Kollektoren
- Energie aus der Umgebungsluft
- Energie aus dem Erdreich
- Latentwärme aus dem Phasenübergang von flüssig zu fest

Diese werden durch die oben genannten Komponenten und eine intelligente Anlagensteuerung vereint. In Abbildung 1 werden die verschiedenen Betriebsweisen aufgezeigt. Diese gliedern sich in Heiz und Kühlbetriebe auf.

#### **Direktbetrieb:**

Im Direktbetrieb entzieht die Wärmepumpe der Umwelt Energie, diese Betriebsweise funktioniert auch ohne Sonneneinstrahlung bis zu einer gewissen Außentemperatur.

#### **Regenerationsbetrieb:**

Wenn die Regeneration aktiv ist, wird der Umgebung Energie entzogen und dem EES zugeführt um den Ladungszustand Heizung wieder anzuheben. Die Regeneration erfolgt über den im EES befindlichen Regenerationswärmetauscher.

#### **Eisspeicherbetrieb:**

Der Eisspeicherbetrieb findet dann statt, wenn die Kollektoren nicht genügend Energie liefern um die Wärmepumpe zu versorgen. In dieser Betriebsweise wird die Energie aus dem Wasser entzogen bis dieses gefriert. Die dadurch frei werdende Latentwärme wird ebenfalls genutzt. Dieser Betrieb erfolgt über den innen liegenden Entzugswärmetauscher.

---

#### Notizen

### **NC – Cooling:**

Das NC – Cooling wird über den Regenerationswärmetauscher und die im kalten Wasser bzw. im Eis befindlichen Energie zur Kühlung bewerkstelligt. Im NC Betrieb wird nur eine Umwälzpumpe benötigt und der Eisspeicher wird als Energiesenke benutzt.

Der Speicherladezustand zur Kühlung wird in den Übergangsmonaten, in denen nicht mehr zu viel geheizt wird durch die Eisspeichersteuerung angehoben, um dies zu erreichen werden die Laufzeiten der Regeneration und des Direktbetriebs der Kollektoren angepasst.

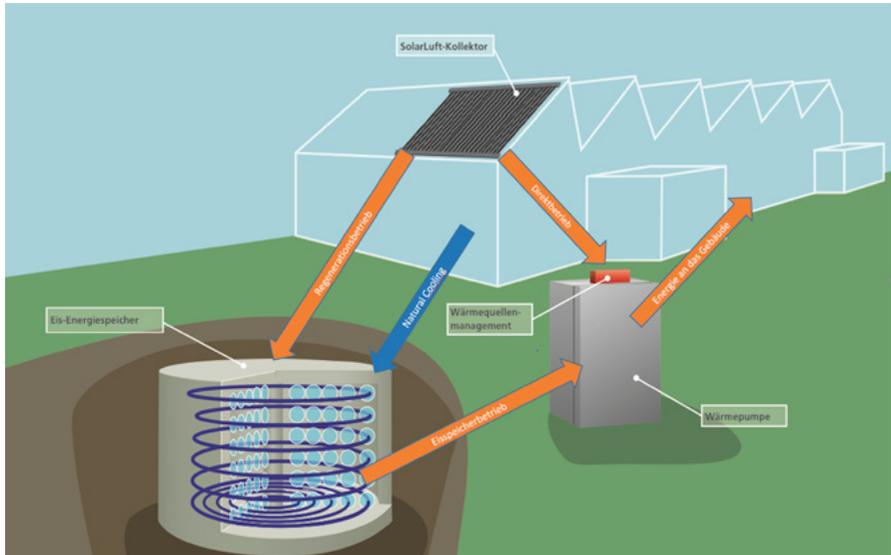


Abbildung 1 Betriebsweisen EES

---

### **Notizen**

## Nutzung von PolySun zur Auslegung von Eisspeichern

Durch die unterschiedlichen klimatischen Bedingungen in unterschiedlichen Regionen müssen auch Eisspeicher immer wieder individuell ausgelegt und geprüft werden. Hier haben sich Viessmann (damals isocal) und VelaSolaris damals gefunden und zusammen an einer Umsetzung gearbeitet.

Das Resultat sind detaillierte Simulationsergebnisse zu einem eigens erstellten Eisspeichermodell, einem Erreichmodell und den Kollektoren der VEE (Viessmann Eis-Energiespeicher GmbH).

Durch die Nutzung von PolySun lassen sich die genauen Energieflüsse der Kollektorquelle, des Eisspeichers und des umliegenden Erdrreiches aufschlüsseln. Es lassen sich ebenfalls Rückschlüsse auf die Verfügbare Kühlenergiemenge und den Vereisungsgrad ziehen.

Die Auswertung erfolgt nach einer Aufbereitung der Daten und die Ergebnisse können aussehen wie in folgenden Tabellen:

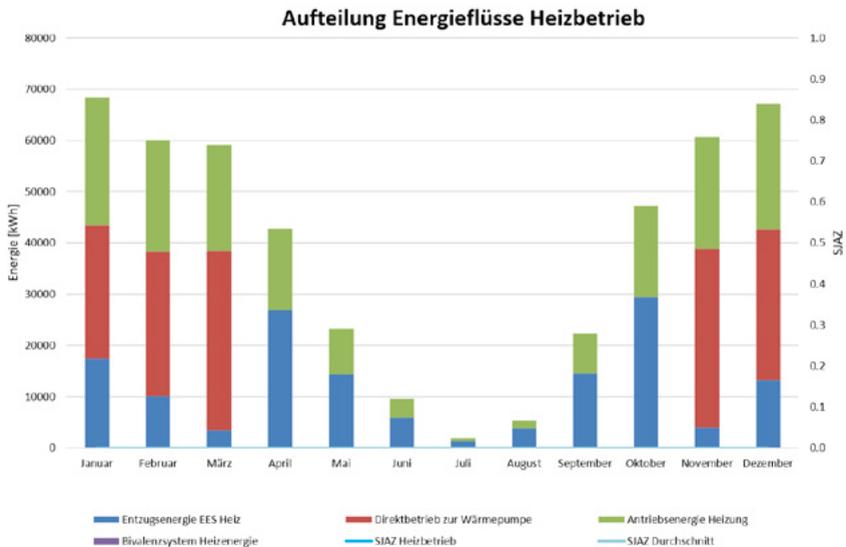


Abbildung 2 Aufteilung der Energieflüsse

---

## Notizen

Abbildung 2 zeigt die Aufteilung der Energieflüsse in Direktbetrieb, Entzugsenergie aus dem Eisspeicher und der Antriebsenergie der Wärmepumpe.

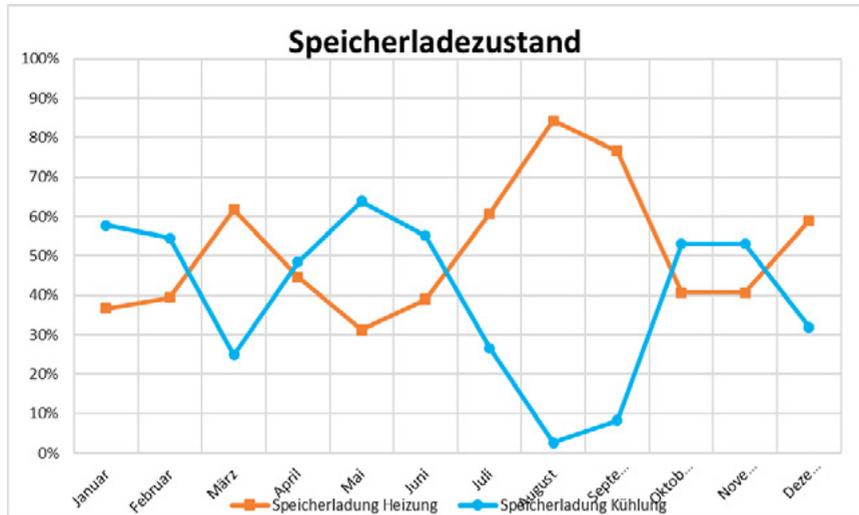


Abbildung 3 Speicherladezustand

Abbildung 3 stellt den Speicherladezustand dar, dieser resultiert aus der ersten Tabelle und dem Vereisungsgrad des Eisspeichers. Dieser wird in die maximale Lademenge des Eisspeichers umgerechnet und in einer Tabelle aufgelistet. Es lässt sich erkennen, dass der Speicherladezustand zur Kühlung im Mai beim Maximum befindet um eine möglichst hohe NC- Kühlenergiemenge zu gewährleisten.

Die 4. und letzte Abbildung zeigt die vom Gebäude an den Eisspeicher abgeführte Kühlenergiemenge. Diese Grafik beinhaltet zusätzlich noch die Rückkühlung über das SLK Kollektorfeld. In Dunkelblau wird die NC Kühlung dargestellt, in hellblau wird die durch die Rückkühlung bereitgestellte Energiemenge aufgezeigt.

---

## Notizen

## Natural Cooling, SLK-Rückkühlung & Active Cooling

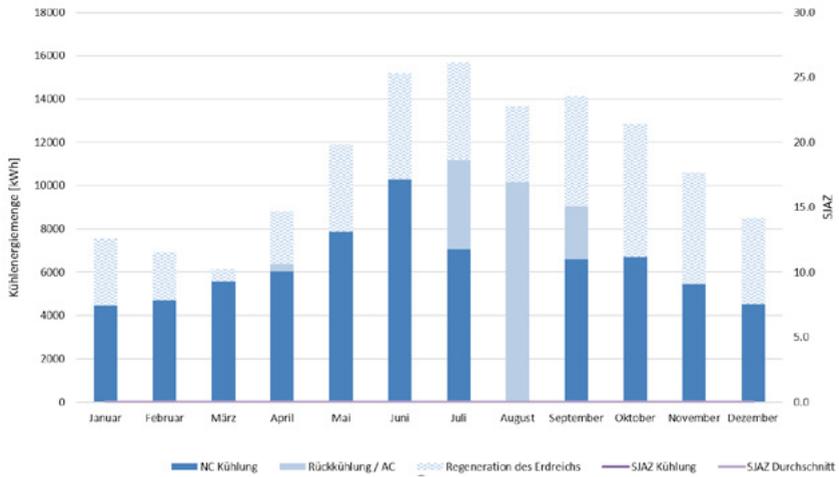


Abbildung 4 NC und AC Kühlung über den Eisspeicher

## Notizen

# Nahwärmenetze im ländlichen Raum

## - Zusammenfassung -

Christoph Gebele  
solarcomplex AG  
Ekkehardstraße 10, DE - 78224 Singen  
0049 7731 8274 - 27  
gebele@solarcomplex.de  
www.solarcomplex.de

## **solarcomplex - Allgemein**

Die solarcomplex AG versteht sich als Bürgerunternehmen für erneuerbare Energien in Baden-Württemberg in Deutschland. Das eigens gesetzte Ziel bis 2030 die Energieversorgung in der Bodenseeregion weitgehend auf regenerative Energien umzubauen ist ehrgeizig. Es gilt alle regenerativen und regionalen Energie-Potentiale zu nutzen sowie den Strom- und Wärmebedarf um etwa die Hälfte zu reduzieren.

Seit der Gründung im Jahr 2000 ist die Zahl der Gesellschafter von 20 auf jetzt rund 1.000 und das Eigenkapital von 37.500 Euro auf über 15 Mio. Euro gewachsen.

Das Unternehmen befindet sich im breiten Streubesitz von Menschen und Firmen – mehrheitlich aus der Region.

Die solarcomplex AG plant, baut und betreibt Anlagen zur Strom- und Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien und bietet als ökologische Geldanlage die Kapitalbeteiligung an diesen an.

Die regionalen Beschäftigungs- und Wertschöpfungskreisläufe werden durch die Aktivitäten von solarcomplex gestärkt. Nicht nur, dass die Energieträger aus Forst und Landwirtschaft aus der Region kommen, gleichzeitig entstehen hier durch den Bau neuer Anlagen Arbeitsplätze und Umsätze.

Die Energiekosten fließen nicht mehr ab sondern bleiben vor Ort.

## **Projektübersicht**

Die solarcomplex AG hat bisher folgende Anlagen und Projekte realisiert

- rund 26 MW Solarkraftwerke, davon über 6 MW als schlüsselfertige Photovoltaikanlagen, rund 1 MW Dachanlagen an über 30 Standorten und rund 19 MW Freiland-Solarkraftwerke an 6 Standorten

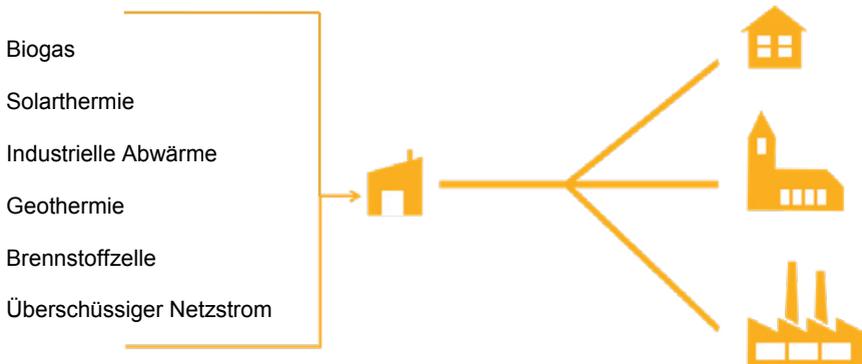
---

## **Notizen**

- die Biogasanlagen Hof Bucheli in Gailingen und Hof Schönbuch bei Überlingen mit 280 kW<sub>el</sub> bzw 330 kW<sub>el</sub>
- 13 Nahwärmenetze in Mauenheim, Lippertsreute, Schlatt, Randegg, Lautenbach, Weiterdingen, Büsingen, Emmingen, Grosseffingen, Hilzingen und Wald, sowie in den Kleinstädten Meßkirch und Bonndorf mit insgesamt über 1500 Hausanschlüssen, einer Gesamtleistung der Holzenergieanlagen von ca. 12 MW und einer Netzlänge von ca. 80 Kilometern
- rund 30 Holzenergieanlagen im Contracting
- die Windkraftanlage St. Georgen mit 2,3 MW
- Wasserkraftwerk an der Singener Aach

## Nahwärme

Eine Nahwärme-Versorgung ist eine moderne, umweltfreundliche und bequeme Alternative zur Einzelheizung. Die Wärme wird zentral und regenerativ erzeugt und über ein Leitungsnetz zu den Kunden transportiert.



Da ein Wärmenetz lediglich eine Verteilstruktur ist, kann es zukünftig mit jeder regenerativen Energie gespeist werden. Das kann anfänglich Energie aus heimischer Biomasse sein. Genauso gut kommt aber solarthermische Energie, an geeigneten Standorten geothermische Energie, aus Wind- und Solarstrom via BHKW oder Brennstoffzelle rückverstromtes Power-to-gas oder die Energie der direkten Umwandlung von regenerativem Überschussstrom in Wärme in Frage. Auch

---

### Notizen

die Verteilung lokaler Wärmeüberschüsse aus industrieller Abwärme kann die Basis für den Aufbau eines Wärmenetzes sein. Die Versorgungssicherheit eines Nahwärmenetzes ist somit besonders durch seine Technologieoffenheit gegeben.

Durch den Aufbau von Wärmenetzen vor allem im ländlichen Raum mit geringen Wärmebelegungsdichten müssen auf Netzverluste und Investitionskosten besonderer Wert gelegt werden.

Durch den ausschließlichen Einsatz von DUO-Rohrleitungssystemen sowie in Zusammenarbeit mit verschiedenen Rohrherstellern entwickelte, verstärkte Rohrdämmungen konnten die Netzverluste deutlich gesenkt werden.

Bei kleinen Dimensionen bis DN 50 werden dabei flexible Verbundrohre mit Kunststoffmediumrohr (PMR) eingesetzt, ab DN 65 kommen Kunststoffmantelrohre mit Stahlmediumrohr (KMR) zum Einsatz. Durch den Einsatz des selbstkompensierenden PMR-Rohr wird in diesem Bereich keine Statik benötigt. Weiterer Vorteil gegenüber KMR-Leitungen ist die variable und einfachere Trassenführung, so dass der Rohrverlauf den lokalen Gegebenheiten (bspw. Fremdleitungen, Topographie) angepasst werden kann. Die Anforderungen an Tiefbau und Verlegung sind deutlich geringer und somit kostengünstiger.

## Beispiele

### Büsingen am Hochrhein– Nahwärmenetz mit Solarthermie Anlage

Umgeben von der Schweiz ist Büsingen im Landkreis Konstanz die einzige deutsche Exklave mit rund 1.400 Einwohnern. Da in Büsingen keine Abwärme aus einer Biogasanlage oder aus einem Industriebetrieb vorhanden ist und auch die Biomasse unserer Wälder beschränkt ist wird die Sommerlast über eine solarthermische Anlage bereit gestellt.

Inbetriebnahme: 2012

Anschlüsse: 105 Gebäude

Solarthermie: 1.000 m<sup>2</sup>

Kollektortyp: Vakkumröhren

Holzessel: 450 kW + 900 kW



---

## Notizen

Ölkessel: 730 kW

Pufferspeicher: 100 m<sup>3</sup>

CO<sub>2</sub>-Einsparung: 1.200 t/a

Wärmenetz: 5,8 km



### **Emmingen – Nahwärmenetz mit Großwärmespeicher**

Die Gemeinde Emmingen-Liptingen mit rund 4.500 Einwohnern liegt im Landkreis Tuttlingen. In das Wärmenetz Emmingen wird die Abwärme aus zwei Biogasanlagen eingespeist. Der Anteil der Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplung liegt bei rund 90%. Zur optimalen Ausnutzung der Abwärme der Biogasanlagen wurde ein Wärmespeicher mit 1.000 m<sup>3</sup> in das System integriert. Tägliche und saisonale Schwankungen im Wärmenetz können durch den Wärmespeicher ausgeglichen und der Anteil der Biogas-Abwärme deutlich erhöht werden.

Inbetriebnahme: 2013

Anschlüsse: 145 Gebäude

Biogas-BHKWs: 750 kW<sub>el</sub>, 900 kW<sub>th</sub>

Holzessel: 550 kW

Ölkessel: 1300 kW

Pufferspeicher: 22 m<sup>3</sup>

Wärmespeicher: 1.000 m<sup>3</sup>

CO<sub>2</sub>-Einsparung: 1.300 t/a

Wärmenetz: 11 km



---

### **Notizen**

## **Bonndorf im Schwarzwald – Nahwärmenetz mit industrieller Abwärme**

Bonndorf hat rund 6.800 Einwohner und liegt im Schwarzwald im Landkreis Waldshut. Hier wurde zum ersten Mal die Einbindung bisher ungenutzter industrieller Abwärme realisiert.

Im ersten Netzabschnitt (Bonndorf I) wird der Sommerwärmebedarf aus Abwärme aus dem Kühlsystem und Kompressoranlagen bereit gestellt. Mittels eines Pelletkessels wird die Temperatur auf das erforderliche Niveau angehoben. Im Winter kommen zwei mit Holzhackschnitzel befeuerte Kessel zum Einsatz.

Im zweiten Netzabschnitt (Bonndorf II) wird die, für diesen Abschnitt benötigte Wärme komplett über einen Industriebetrieb bereit gestellt. In dem lebensmittelverarbeitenden Betrieb stehen durch Produktionsprozesse große Abwärmemengen zur Verfügung. Weiter werden diese Mengen durch Abwärme aus BHKWs ergänzt, welche zur Stromversorgung des Betriebes installiert wurden.

### **Bonndorf I**

Inbetriebnahme: 2014

Anschlüsse: 150 Gebäude

Industrielle Abwärme: 200 kW

Holzkessel: 550 kW + 1.200 kW

Pufferspeicher: 100 m<sup>3</sup>

CO<sub>2</sub>-Einsparung: 2.400 t/a

Wärmenetz: 9 km

### **Bonndorf II**

Inbetriebnahme: 2015

Anschlüsse: 122 Gebäude

Industrielle Abwärme: Vollversorgung

CO<sub>2</sub>-Einsparung: 2.100 t/a

Wärmenetz: 7,7 km



---

### **Notizen**

# Articles

## Application of the Simulation Software Polysun in Teaching



Internationale Konferenz zur Simulation  
gebäudetechnischer Energiesysteme  
8. & 9. September 2016 · Winterthur

# Polysun Simulation Software in Teaching and Research at Various Academic Institutions in Switzerland

Andreas Witzig <sup>1</sup>, Lars Kunath <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Zurich University of Applied Sciences ZHAW, Institute of Computational Physics  
ICP, Wildbachstrasse 21, CH-8400 Winterthur, Switzerland

<sup>2</sup>Vela Solaris AG, Stadthausstrasse 125, 8400 Winterthur, Switzerland

Tel.: +41 58 934 45 73

E-Mail: andreas.witzig@zhaw.ch

Internet: www.zhaw.ch/icp

## Abstract

The simulation software Polysun is a planning tool for the design of decentralized energy systems [1]. While the software is useful for professional planners both for system optimization as well as for customer consulting, this presentation will discuss the application range of teaching and research, as it has been observed in various activities during the last 10 years [2, 3].

*Keywords: Renewable energy education in Switzerland, teaching solar and heat pump systems, multiphysics modeling, simulation software development*

## Scope and Introduction

Polysun simulation software is widely used in professional education from in-service training to the technical-university level. Furthermore, a special user group is the solar thermal research.

The Polysun software was developed in a research project lasting from 1992 to 2016 at the institute for solar technology and testing SPF at the technical university in Rapperswil, Switzerland. The origins, however, go further back to the work of Prof. Martin Zogg at the technical university in Bern, who applied numerical algorithms for solar thermal applications already on early computers and pushed simulation of solar heating systems with the advance of computational resources [4].

---

**Notizen**

The application range of Polysun strictly focused on solar thermal applications in the research projects carried out at SPF in Rapperswil. With the foundation of Vela Solaris, development was pushed to cover photovoltaics, heat pump and cooling applications. In industry, the disciplines grew together. It is the combined systems in particular which are in a focus both educational and research applications that make the simulation approach superior to the work using hand calculations and nomograms.

With the advance of the renewable energy industry, solar components have become more plug-and-play on the one hand, but renewable energy systems on the other hand have become more complex. The main expertise is therefore no longer in sizing and configuring solar components but in integrating the components into a system. Solar systems are often no longer strictly separated into solar thermal and photovoltaic systems. Hybrid systems and combination with heat pump and energy optimization controllers such as load shifting require new skills from planners and engineers. In consequence, it is required that students spend more time on understanding system dynamics and the proper functioning of controllers.

### **Usage of Solar Simulation Software in Research**

It is natural that the application of simulation algorithms originated in academic research. TRNSYS as a tool from the early work in solar technology at the University of Wisconsin [5] is still present and widely used in academia. Modern research groups have a larger variety of specialized software tools to choose from. It is only in the systems optimization tasks and when a close link to practical work is required when Polysun is employed in research. However, in comparison to academic tools it has the advantage of requiring small initial effort for the usage and that a large database of examples and components are shipped with the software. The latest developments in industry and some major advances in the features of the software make it likely that it will further spread in the near future.

---

**Notizen**

## **Usage of Solar Simulation Software in Education**

It has been recognized early that computer simulation has a high potential to influence learning in science, many articles and books have been published about it and there was a controversial discussion about the effect of the use of simulation tools in education. We believe that three main prerequisites strongly influence learning achievements: Firstly, the choice of the simulation software has to closely match the interests of the students as well as the curriculum. Secondly, simulation tools have to be user-friendly and, thirdly, personal laptops have to be available to all students. These necessary conditions strongly depend on the application field and the availability of laptops is guaranteed only in recent years.

Historically, the first software used in university-level solar education was TRNSYS [6, 7]. A few software packages have been established later on and successfully applied in teaching solar energy (e.g. free: RETScreen, PVGIS; commercial: T\*Sol, Polysun, PVsyst, Insel). Simulation software used in general physics education (e.g. Stella, Berkley Madonna, EES, Matlab) are less suitable for solar energy teaching since they are more complex and have no built-in references to renewable energy systems.

### **Professional Education for Renewable Energy in Switzerland**

Renewable energy engineering has become more comprehensive in the last few years and many technical universities have built specific degree programs to produce the engineers needed in the field of renewable energy and sustainability. At the level of universities of applied sciences the following offers exist in Switzerland:

- Zurich University of Applied Sciences (ZHAW): Bachelor of Science “Energie- und Umwelttechnik” at the School of Engineering in Winterthur and “Umweltingenieurwesen” at the Department Life Science and Facility Management in Wädenswil.

- Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW): Bachelor of Science „Energie- und Umwelttechnik“
- Hochschule für Technik Rapperswil (HSR): Bachelor of Science „Erneuerbare Energien und Umwelttechnik“
- Innerstaatliche Hochschule für Technik Buchs (NTB): Renewable energy systems as a part of the Bachelor course „Elektronik und Regelungstechnik“
- University of Applied Sciences in Lucerne (HSLU): Bachelor of Science in “Energy Systems Engineering” and in the modul “EE+Sol – Erneuerbare Energien – Solarenergie”
- University of Applied Sciences and Arts Western Switzerland (HES-SO): Bachelor of Science “Energie et Techniques Environnementales”

Furthermore, there are many other technical trainings offered. With the strong craftsmen formation facilities that are typical for the Swiss educational system, there are also a variety of technical schools that offer short courses for renewable energy experts in various topics.

In many of the above mentioned courses, Polysun plays a major role. It can be observed that for higher education such as university-level teaching, a comparison between various tools is taught. As the courses are more oriented to practical skills, teachers often chose one single tool and do not broach the issue of a tool comparison.

### **Learning Success by use of Simulation Software in Teaching**

Teaching courses using simulation software have to be supported by suitable didactic concepts, which need to cover classroom activities as well as computer homework [9]. In contrast to using video material in teaching, the application of simulation tools is very close to real “hands-on” activities. In so-called *seamless learning*, trainees study across boundaries such as location, time, analog/digital, and classroom/at

home [10]. Often, modern ICT technology is required to achieve a seamless learning context [11]. We often teach expert technicians in a 1:1 screen sharing setting, which allows immersing into the work context of the trainees and using their everyday examples. Alternatively, we use traditional classroom teaching enriched with exercises using simulation tools. During simulation sessions, the teacher acts in the role of a coach and students are actively pursuing their design projects. Interpretation of simulation results and double-checking results with simple back-of-the-envelope calculations are typically pursued with rigor and an excellent mental awareness when the example is chosen from the trainee's everyday scope of duty.

Advantages when using simulation software and modern ICT technology for teaching:

- Students are activated. They have to take responsibility, make decisions and organize their work
- Trainees can pick the topic that is relevant for them.
- Collaboration between students: they share their findings, help each other, and discuss their results.
- Progress in the exercise is visible to the teacher during class and easily measurable after class.
- Exceptionally high motivation, in particular for in-service and screen sharing training

Challenges and risks:

- Preparation is a key for teaching with simulation software. Exercises have to be formulated in detail and test run are indispensable.
- The teacher has to be a proficient user of the software as well as have the essential skills in the area of expertise of the course participants.

## Conclusion and International Context

It has been shown that simulation software has a positive influence on renewable energy education. However, as much as it is believed that computer simulation has a positive learning effect, it has to be stressed that laboratory exercises are also a necessary requirement for solar engineers. Computer simulations alone can never substitute them.

Furthermore, the topic has to be seen on a larger scale: the energy transition is a world-wide challenge and solar engineering education is in many regions of the world still a limiting factor. It is difficult to apply teaching concepts into other cultural context. Experience in Egypt [12], China [13] and Kuwait [14] have shown that simulation software always positively influences the learning process while it is typically a good choice to recruit the teacher from the local industry.

## References

- [1] Greentech Media (2009): Vela Solaris Tackles the Solar Puzzle, <http://www.greentechmedia.com/articles/read/vela-solaris-tackles-the-solar-puzzle>
- [2] Witzig, A., et al, 2009, *Teaching Solar Thermal System Design by Use of Simulation Software*. Publication in the Proceedings of ESTEC, Munich, Germany. <http://velasolaris.com/files/2009-05-estec-teaching-with-polysun.pdf>
- [3] Witzig, A., Prandini, M., Wolf, A., Kunath, L. (2016): Teaching Renewable Energy Systems by Use of Simulation Software. Publication in the Proceedings of Eurosun.
- [4] M. Zogg (2010): Entwicklung der Programmpakete SIWW zur Simulation thermischer Solaranlagen.
- [5] Duffie, J. and W. Beckmann (1991). "Solar engineering of thermal processes." New York, John Wiley&Sons, Inc.

- [6] Feurzeig, W., Roberts, N, (1999), *Modeling and Simulation in Science and Mathematical Education*, Springer, New York, ISBN: 0-387-98316-3
- [7] Kandpal, T. C. & Broman, L. (2015). *Renewable energy education: a worldwide status review*. Strömstad: Strömstad Akademi., ISBN: 9789186607302
- [8] Broman L., et al, 1991, *A concentrated course in solar thermal process engineering*. Proc of the ISES Solar World Congress, Denver, Colorado, Pergamon Press. 1991: 3815-3820
- [9] Rumsey, D.J., 2000, *Promoting student-centered learning in a studio classroom environment*, ASA Stat. Ed. Section Newsletter, v. 6, <http://www.stat.ncsu.edu/stated/newsletter/v6n2/studio.html> (6 April, 2004).
- [10] Milrad, M., et al., 2013, *Seamless Learning: An International Perspective on Next Generation Technology Enhanced Learning*. Chapter in Z. L. Berge & L.Y. Muilenburg (eds.) *Handbook of Mobile Learning*.
- [11] Pillay, H., et al., 2006, *Some Insights into the impact of ICTs on Learning Agency and Seamless Learning*. Chapter in Cortelli, A. (ed.) *Teaching in the knowledges society: New Skills and Instruments for teachers*.
- [12] Ghannam, R., 2016, Solar Energy Systems Design Using Advanced Learning Airids in Egypt, in the proceedings of SIGES, Winterthur, 2016
- [13] Zhu, J., Wolf, A., Renewable Energy Training and Certificate Program in China, in the proceedings of SIGES, Winterthur, 2016
- [14] Al-Yaseen, A., Solar Energy and Polysun Simulation Software Certificate Course in Kuwait, in the proceedings of SIGES, Winterthur, 2016

# Application of Polysun at DTU Denmark

## - Zusammenfassung -

Elsa Andersen

Technical university of Denmark

Brovej, Building 118

0045 4545 1901, [ean@byg.dtu.dk](mailto:ean@byg.dtu.dk), [www.byg.dtu.dk](http://www.byg.dtu.dk)

### Solar energy courses at DTU

At the Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark, DTU Byg, Polysun is used in two courses: *Solar heating systems* which is a 10 ECTS basic course and *Development of solar energy systems* which is a 5 ECTS advanced course.

In the period from 2008 until today, more than **500** students from all over the world have been taught how to use Polysun in the *solar heating systems* course at DTU.

### The Solar heating systems course

The course is given once a year in the spring semester. All students attending the course are taught to use Polysun during the second assignment on large solar heating systems for multifamily houses. The assignments are carried out in groups.

The students are assessed in the course by their performance on the following points:

- Assignment 1, on small solar domestic hot water systems (20%)
- Oral presentation of assignment 1 (10%)
- Oral feedback on assignment 1 to another group (5%)
- Assignment 2, on large solar heating systems and Polysun (20%)
- Individual quiz (45%)

Polysun is introduced to the students during 1 lecture with a duration of 2 hours by Andreas Wolf from Vela Solaris. The introduction takes place in the class room and is based on powerpoint slides and a demonstration of the program which comprises: General features, Loops, Component catalogue, Controller settings and Results.

The students work on the Polysun assignment in a period of 1 month. During this period, around 16 hours of supervision for the assignment is given by 3 experienced

---

**Notizen**

Polysun users. When the assignment period is over, the students hand in a report of the assignment with a clear division of who is responsible for which part of the assignment. This allows for individual grading.

The department has 30 Polysun university licenses. Polysun is available on fixed computers in a databar at DTU. The students can not have Polysun on their own computers. Each group have access to at least 1 Polysun license in the databar. In the years 2008-2009, the Polysun assignment was solved in groups of 2 persons, in the years 2010-2015 in groups of 3 persons and in 2016 in groups of 4 persons.

The number of students following the course since 2008 can be seen in figure 1.

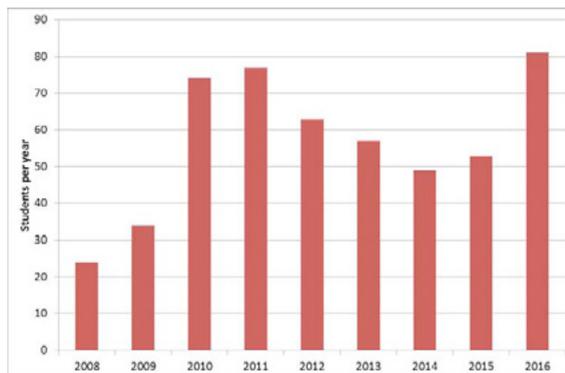


Figure 1. Number of students in the *Solar heating systems* course 2008-2016.

The title of the Polysun assignment is *Planning of a large solar heating system for a multifamily house*. The assignment is solved with the following aids: Danish norm for domestic water installations (DS 439), Danish norm for thermal insulation of installations (DS 452), Lecture slides, Polysun program and manual, Excel sheet for economical evaluation (based on actual costs for a large number of Danish solar heating system installations).

Based on given reference conditions such as: system design and controller types, building size, number of apartments, conventional energy prices etc., the students must determine: Domestic hot water consumption, Domestic hot water supply/circulation pipe heat loss, Space heating consumption, Suitable auxiliary

---

## Notizen

heated volume and power of auxiliary energy supply system, System size in terms of solar collector area, Tank size, Solar collector type and design of solar collector field, Volume flow rate in solar collector loop, Pump and pipe sizes and lengths, Safety equipment size and location, e.g. expansion vessel, air escape valves etc., Thermal performance and solar fraction, Economy, e.g. system and installation costs, payback time, yearly savings etc.

The students must find the best solar heating system size, seen from an economical point of view. Different heating system sizes must be investigated. The students may create their own component models in Polysun or use predefined component models.

Figure 3 shows the system design from 2016.

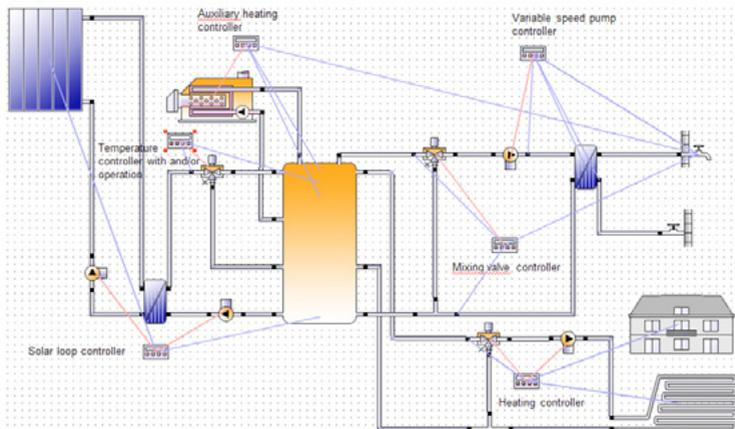


Figure 3. Solar heating system design in the course in 2016.

Further, the students are given a number of tables to fill in with parameters and results for/from the simulations, e.g. %-heights for in-/outlets, layer numbers for sensors etc. Figure 2 shows an example of such a table.

---

**Notizen**

Parameter	40 m <sup>2</sup>	80 m <sup>2</sup>	120 m <sup>2</sup>
<b>Storage tank</b>			
Tank volume [m <sup>3</sup> ]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Height of tank [m]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Volume of one layer [m <sup>3</sup> ]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Auxiliary loop</b>			
Auxiliary heated volume [m <sup>3</sup> ]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auxiliary inlet to tank [%]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auxiliary outlet from tank [%]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Layer number for outlet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figure 2. Table with parameters used as input for Polysun.

### The Development of solar energy systems course

The course is given once a year in the autumn semester. During the second assignment, the students can freely choose the topic, typically related to an ongoing research project. The assignment may be based on Polysun. The assignments are carried out in groups. The students are not taught how to use Polysun in this course. It is expected that the students already know the program from the previous basic course, *Solar heating systems*.

The students are assessed in the course by their performance on the following points:

- Assignment 1, on solar collectors (20%)
- Individual quiz (20%)
- Assignment 2, the students choose the assignment which typically is related to an ongoing research project at DTU (can be based on Polysun) (45%)
- Oral presentation of assignment 2 (10%)
- Oral feedback on assignment 2 to another group (5%)

The number of students following the course since 2008 can be seen in figure 4.

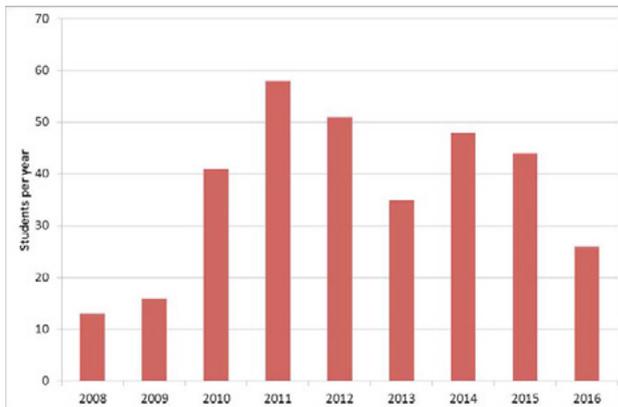


Figure 4. Number of students in the *Development of solar energy systems* course 2008-2016.

### **Where do the students come from?**

The students come from all over the world, e.g. Denmark, EU, Switzerland, Nordic countries, USA, Canada, Iran, China, Nepal, India, Singapore, Malaysia, Japan, Australia, etc. Most European students come from Greece and Spain but also a large number of students come from outside Europe, especially from China.

Today, the fraction of foreign students at DTU as a whole is around 45 % while the fraction of foreign students following the solar energy courses is around 54 %.

### **Learnings from the *Solar heating systems* course**

The students find the Polysun assignment very interesting, Polysun very flexible, nice and easy to use and useful for future work.

Many students do not follow all the lectures. Consequently, much help is needed during work on the Polysun assignment.

Generally the course is evaluated very well, but as the group size increases, the satisfaction with the course decreases. The reason may be that different people have different work mentality and too few Polysun licenses. Most likely, the Polysun assignment in its present form is less suitable for groups with many students.

---

**Notizen**

# Application of Polysun in French speaking part of Switzerland

*Jacques Bony, HEIG-VD, Route de Cheseaux 1, CP 521,*

*CH-1401 Yverdon-les-Bains*

## Introduction

The School of Business and Engineering Vaud (HEIG-VD) in Yverdon-les-Bains has been providing for more than 30 years, solar thermal and buildings physics courses through the Laboratory of Solar Energetics and Building Physics (LESBAT). In 2009, the LESBAT organise the first Polysun course in the French part of Switzerland for training purposes. Since then, several courses for bachelor and master students, in addition to training, have been offered.

## Course objectives

At the end of the course, participants will be able to model and analyse the performance of a thermal solar system for domestic hot water (DHW) and a combisystem (DHW and heating) using Polysun.

## Target audience

Two kinds of audience are defined. The bachelor or master students who are technically competent with PCs and simulation software. They already have some fundamental knowledge on solar thermal.



*Typical Bachelor/Master course*

The second type of participants works in companies. Often, there are knowledge level disparities. The main working domains are solar installers, architects and engineers.



*Typical training course*

## **Formal requirements**

Knowledge on solar thermal is requested. Computer knowledge is recommended. A half-a-day solar thermal basic course is available before the Polysun course.

## **Course structure**

The basis for using Polysun is given in half day. Individuals work alone or in pairs. Supporting material with screenshots of the presentation is provided so that participants can write comments and remember different software menu windows and tips. The course has three main parts:

Fundamental knowledge: here some simple rules are presented to get a rough estimate of dimensioning values. Some values from standards are also given and some common values for heat exchanger dimensioning are presented. In this way, participants can quickly use Polysun.

Exercise 1: to get familiarised with Polysun, an exercise is provided on a solar installation delivering DHW for 12 persons. This first exercise allows showing mains menus like the wizard. Tips and possible mistakes are also presented. For example, a classic error occurs when you change the tank size and you forget to check and modify the

sensor position for the auxiliary controller. This also happens when we want to create or edit a component.

Exercise 2: working individually, participants solve an exercise about heating and DHW for a single family house. Some building physics explanations are given depending of their level of knowledge. Corrections are made throughout the exercise to help struggling participants. For faster participants a third exercise is provided about hydraulic scheme modifications.

## **Conclusions**

A Polysun course is offer by the HEIG-VD to bachelor/master level. For training purposes, a short course is also available. Knowledge on solar thermal is requested and computer skills are recommended. Whatever the knowledge of the participants, it is important to get the same common basis in solar energy. The proposed half-day course is set to acquire some fundamental concepts but is not able to present all aspects dealt in the course. Despite all difficulties, participants are satisfied and leave with the ability to use Polysun to simulate solar thermal systems.

# Significance of Polysun as a simulation tool for assignments and projects

Hossein Mirzaii

Kingston University London  
Friars Avenue, Roehampton Vale  
London SW15 3DW, United Kingdom

Tel: 0044(0)2084174863

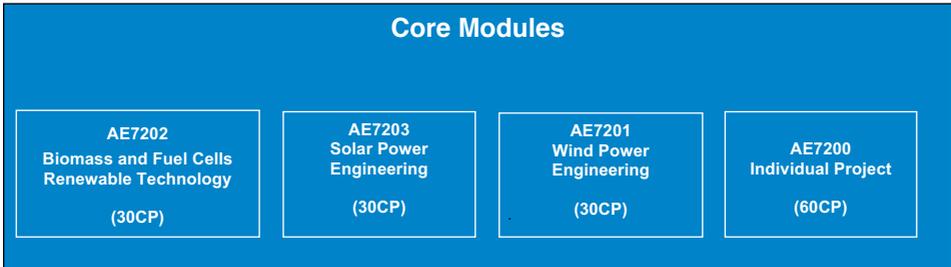
E-mail: [h.mirzaii@kingston.ac.uk](mailto:h.mirzaii@kingston.ac.uk)

## INTRODUCTION

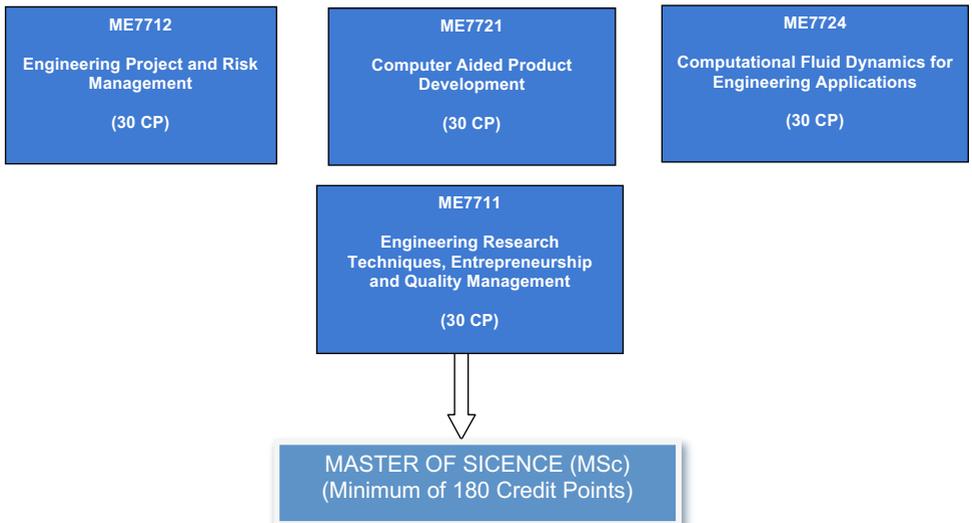
With continuing growth in renewable industries globally, there will be shortage of qualified and skilled engineers with specialist knowledge and mind set to design and develop cutting edge renewable energy systems to compete with cheaper hydrocarbon energy systems. The MSc in renewable energy engineering at Kingston University is designed to fulfil skill shortage in the field of solar, wind, biomass and fuel cells power generating sector. The training programme provides an in-depth knowledge of renewable energy systems design and development, commercial and technical consultancy and project management within the sustainable engineering environment. Students gain technical skills in, and knowledge of, solar power, wind power, biofuel and fuel-cell technologies supplemented by field trips and laboratory experiments, as well as renewable energy business and management. In addition, students will gain practical skills in up-to-date computer-aided simulation technologies, such as **Polysun** for solar energy applications and Wind-Pro for wind farm applications. Polysun simulation is an important part of major assignment on solar efficient building and individual project dissertation on related solar power engineering projects involving active systems such as solar water heating, photo voltaics and heat pump systems.

## About the Programme at Kingston University:

### MSc Renewable Energy Engineering Course Structure



***Plus any 1 of the Optional Modules below:***



## **Key features of the programme are as follows:**

- Teaching by leading academics and industry experts in the fields of solar, wind, biomass and fuel cells which consider theoretical and practical concepts for power generation from renewable sources.
- Opportunities to develop hands on skills in 3D solid modelling, FEA and CFD analysis, and specialist simulation packages such as Polysun and Wind-Pro.
- Presentations by renewable energy providers and consultancy firms outlining their activities and market experiences.
- Field trips to major renewable energy sites integrated with major assignments to motivate and enhance students teaching and learning experience.
- Individually tailored sponsored and non-sponsored dissertation projects in the areas of wind, solar, biofuels and fuel-cell technologies, supervised by a committed team of full time and part time staff.
- Programme accredited by the Institute of Mechanical Engineers (IMechE), as meeting the requirements for Further Learning for a Chartered Engineer (CEng) for candidates who have already acquired an accredited CEng (Partial) BEng (Hons) degree.
- High rate of employment and internship with leading renewable companies; 80% of the students graduated on this course have been recruited by relevant employers such as Atkins, Alstom Power, Inditex, Vattenfall, Shell, SGS UK Ltd.
- Possible progression to PhD research studies on completion of the programme for those students interested in following an academic or research career. Currently sponsored PhD student working on Design and Development of Airborne Wind Turbine due for completion in September 2017.

## **Role and Significance of Polysun Software Simulation in the Programme:**

As part of core module curriculum for solar power engineering, Polysun is taught and supervised for hands on tutorials by consultants from Velasolaris using 22 licenses loaded on the stand alone computers in the postgraduate CAD & software simulation laboratory.

Students apply the teaching and learning experience gained from practical Polysun sessions to incourse assignments and relevant individual projects.

Incourse assignment topic is primarily on energy efficient low carbon building in the context of passive and active approach to reducing GHG emissions in residential buildings.

The purpose of the assignment is to identify areas of energy requirements in buildings and thus specify a renewable energy conversion system capable of delivering annual fraction of the energy requirements of a building based on solar

energy alone. So far use of PV systems for direct electricity generation including combined PV and hybrid systems, solar water heating systems using liquid and air for space heating and hot water supply in buildings, solar assisted heat pumps and other alternative CHP systems are being considered. In addition Passive cooling and heating approach is considered to minimise heat losses and extensive use of cost intensive active solar energy systems. For medium to large scale projects Polysun software simulation is in effect a cost effective and quick method of analysing and developing solar systems for design, performance and cost evaluation purposes without reverting to more expensive experimental techniques. However for verification purposes analytical method should be used to confirm simulated results and one such method proposed by A.Duffie & A.Beckman (et al) is known as F-Chart method which have been successfully implemented by students considering solar water heating systems in their assignments.

## **CONCLUSIONS:**

The introduction of Polysun software simulation in the solar power engineering module supported by experienced experts from Velasolaris has played an effective role in improving students learning experience as evidenced by the quality of students submitted reports and assignment results.

Polysun is an effective software simulation tool in variety of solar power applications as supported by the assignment results using PV and solar water heating applications, however polysun was less successfully used in other applications involving solar assisted heat pump energy systems in buildings due to complex design and components configuration. In the case of solar water heating application the annual fraction of energy supplied by the solar system was calculated at 72.7% using f-chart method which compared extremely well with 74.5% indicated by Polysun simulation results. Unfortunately f-chart is limited to liquid based systems using liquid or air and could not be applied to the PV and other energy systems and in such cases simulated results should be compared with the key results obtained from analytical calculations using conventional equations. A major operational issue with the Polysun software simulation is that the licenses can only be loaded to the designated stand alone PC's rather than being loaded on to a server PC for networking purposes. Networking through cloud system would increase accessibility and student usage time at various locations using the same number of licenses issued as suggested by IT team at the KU.

## **APPENDIX- Showing typical examples of the results produced by the students using Polysun Simulation:**

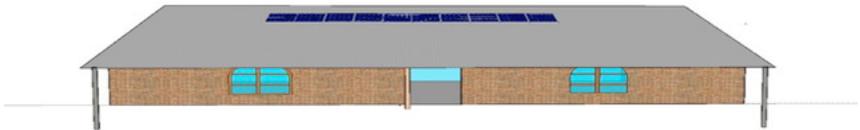
### **APPENDIX-A: PV Solar system**

The potential site for the proposed building was selected using Polysun Solar applications simulation software and meteorological data of the location was obtained from Polysun Data base. The location name of the propose site is Hotoro, a small urban settlement located in eastern by pass of Kano city of Kano State in Nigeria. The dimensions of the site are 15.5X22 meters and estimated area of 341m<sup>2</sup>. The propose building is located inside the area to be surrounded by close wall. The longitude, latitude and elevation coordinates of the location are:

Longitude: 8.596° N

Latitude: 11.979°E

Elevation: 452 m

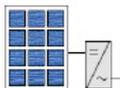


**Figure 4: Propose building photovoltaic modules orientation**

## Professional Report

### Project

### 50f: Photovoltaics with battery



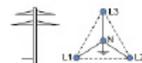
Photovoltaics: STP 280G-24/6  
 Number of modules: 10  
 Total nominal power generator field: 2.8 kW  
 Orientation (E=+90°, S=0°, W=-90°): 0 °  
 Tilt angle (hor.=0°, vert.=90°): 10 °



Battery: Hoppecke 24 CyoS 3000  
 Number of batteries: 2  
 Nominal capacity: 6 kWh  
 Total nominal capacity: 12 kWh



Number of electricity consumption profiles: 1  
 Consumption profile: Residential profile  
 Total consumption of the profiles: 3,950 kWh



Electric Grid: Three-phase 4220V/400V, 50-Hz WYE  
 Local grid voltage: 400 V  
 Feed-in power limitation: no

### Location of the system

Holbro  
 Longitude: 6.596°  
 Latitude: 11.979°  
 Elevation: 452 m

### This report has been created by:

Tim Gillard-Stapleton  
 Friars Avenue  
 Roehampton Vale SW15 3DW

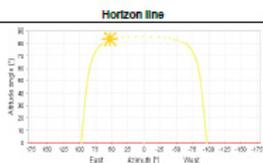
## Professional Report

### Overview photovoltaics (annual values)

Total gross area	19.4 m <sup>2</sup>
Energy production DC [Q <sub>pvf</sub> ]	4,961.3 kWh
Energy production AC [Q <sub>inv</sub> ]	4,539 kWh
Total nominal power generator field	2.8 kW
Performance ratio	71.2 %
Specific annual yield	1,621.1 kWh/kWp/a
Phase imbalance	2.5 kVA
Reactive energy [Q <sub>invr</sub> ]	0 kvarh
Apparent energy [Q <sub>inva</sub> ]	4,539 kVAh
CO2 savings	2,434.7 kg

### Overview electricity (annual values)

Self-consumption fraction	62.6 %
Self-consumption on an hourly basis	3,756.1 kWh
Annual consumption	3,950 kWh



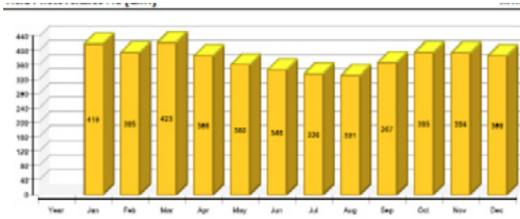
### Meteorological data-Overview

Average outdoor temperature	28.7 °C
Global irradiation, annual sum	2,233.4 kWh/m <sup>2</sup>
Diffuse irradiation, annual sum	833.9 kWh/m <sup>2</sup>

## Professional Report

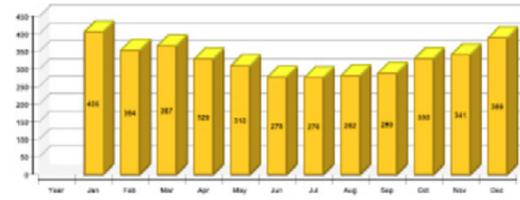
### Component overview (annual values)

<b>Battery</b>		
Battery		Hoppecke 24 OpzS 3000
Number of batteries		2
Total nominal capacity	kWh	12
Nominal capacity	kWh	6
Cumulative damage [D]	%	18,7
Lifetime in years	a	5,3
<b>Electric Grid</b>		
Electric Grid		Three-phase (230V/400V, 50 Hz, WYE)
Nominal voltage	V	400
Nominal frequency	Hz	50
Feed-in		yes
Feed-in power limitation		no
<b>Photovoltaics Roof plan</b>		
Manufacturer		Suntech Power Co., Ltd.
Data Source		Photon
Number of modules		10
Number of modules (layout)		10
Total nominal power generator field	kW	2,8
Total gross area	m <sup>2</sup>	19,4
Tilt angle (hor.=0°, vert.=90°)	°	18
Orientation (E=+90°, S=0°, W=-90°)	°	0
Inverter 1: Name		Inverter 2500T
Inverter 1: Manufacturer		Anonymous
Inverter 1: Number of phases		1
Layout 1: Number of Inverters		1
Layout 1: cos phi		1
Layout 1: A number of strings		1
Layout 1: A modules per string		10
Total nominal power of all inverters	kVA	2,5
Energy production DC [Qpvf]	kWh	4,961
Energy production AC [Qinv]	kWh	4,539
Specific annual yield	kWh/kWp/a	1,621,1
Reactive energy [Qlrvf]	kVarh	0
Apparent energy [Qlrvva]	kVAh	4,539
Derating losses [Qder]	kWh	0



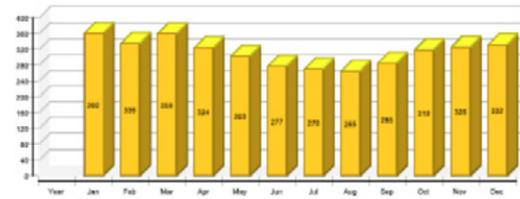
**Total electricity consumption [Ecs]**

**kWh**



**Self-consumption [Ecs]**

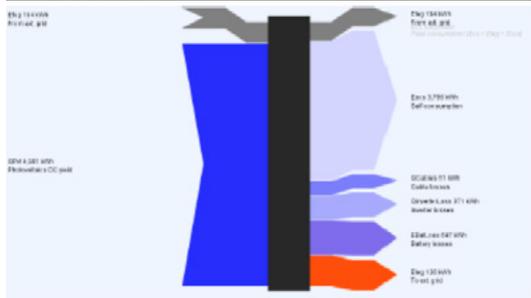
**kWh**



## Professional Report

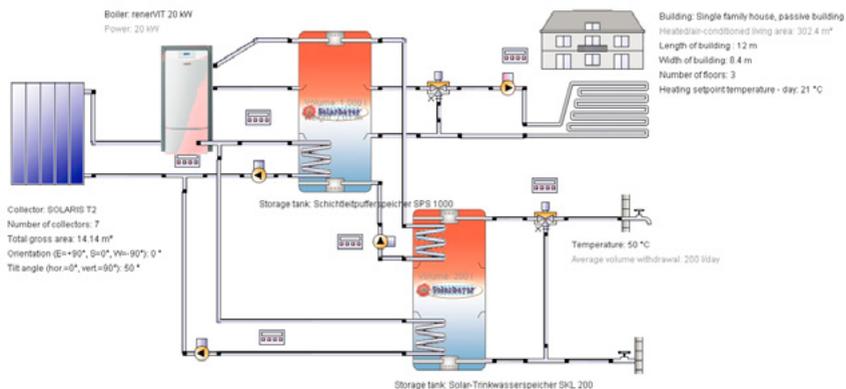
Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
<b>Yield Photovoltaics DC [Qprv]</b>													
kWh	4961	458	432	462	422	394	379	368	362	401	431	431	422
<b>Radiation onto module area [Eact PV]</b>													
kWh	44157	3965	3798	4162	3861	3602	3400	3257	3185	3660	3884	3814	3670
<b>Yield Photovoltaics AC [Ginv]</b>													
kWh	4539	419	395	423	386	360	346	336	331	367	395	394	386
<b>Total electricity consumption [Eact]</b>													
kWh	3950	405	354	367	329	310	278	276	282	289	330	341	389
<b>Self-consumption [Eact]</b>													
kWh	3756	360	335	359	324	303	277	270	265	295	319	326	332
<b>Feed-in ratio [Rocsp]</b>													
%	17.2	14.2	15.4	15.2	16.2	15.7	19.8	19.6	19.7	22.2	19.1	17.3	14.1

### Energy flow diagram (annual balance)



## APPENDIX-B:SWHS

Project Ciudad Valdeluz - System diagram Hot water + space heating



### SOLAR ENERGY EFFICIENT BUILDING

Table 4.2: f-chart method

Month	Days	$H_t$ (MJ/m²)	$T_a$ (K)	L (GJ)	X	$X_c$	Y	f	$fL$ (GJ)	F
Jan	31	9.05	278.65	3.53	3.95	3.83	0.84	0.48	1.69	0.727
Feb	29	11.62	279.95	1.76	7.31	7.09	2.02	0.89	1.56	
Mar	31	15.61	283.85	1.03	12.80	12.42	4.96	1.00*	1.03	
Apr	30	17.31	285.55	0.97	12.92	12.53	5.68	1.00*	0.97	
May	31	16.66	289.85	0.95	12.90	12.51	5.72	1.00*	0.95	
June	30	18.60	295.85	0.87	12.69	12.31	6.77	1.00*	0.87	
July	31	21.47	298.35	0.85	12.89	12.51	8.20	1.00*	0.85	
Aug	31	22.67	297.85	0.83	13.39	12.98	8.93	1.00*	0.83	
Sep	30	20.73	292.85	0.81	14.21	13.78	8.13	1.00*	0.81	
Oct	31	16.05	287.65	0.86	14.68	14.24	6.11	1.00*	0.86	
Nov	30	11.86	281.25	1.16	11.32	10.98	3.24	1.00*	1.15	
Dec	31	8.40	278.55	4.55	3.06	2.97	0.60	0.36*	1.63	
<b>Total</b>				<b>18.2</b>					<b>13.2</b>	

\* These points are outside of the range of the f-chart correlation

**Results System diagram - Hot water + space heating**

Name	Symbol	Unit	Year
Solar fraction: fraction of solar energy to system	SFn	%	74.5
Solar fraction hot water	SFnHw	%	88.2
Solar fraction building	SFnBd	%	32.5
Solar thermal energy to the system	Qsol	kWh	5,818.4
Heat generator energy to the system (solar thermal energ...	Qaux	kWh	1,996.4
Total energy consumption	Quse	kWh	5,047.6
Energy deficit	Qdef	kWh	80
Total fuel and/or electricity consumption of the system	Etot	kWh	2,438.4
Primary energy factor	eP		0.48

**Solar fraction: fraction of solar energy to system**

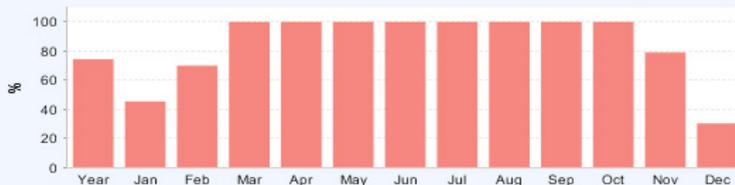


Table 4.3: result system diagram from Polysun

# Application of Polysun in Teaching Courses in Sweden and in the PhD Program SHINE

Chris Bales, Klaus Lorenz  
Högskolan Dalarna  
78188 Falun, Sweden  
+46 23 778707  
[cba@du.se](mailto:cba@du.se), [klo@du.se](mailto:klo@du.se)  
[www.du.se](http://www.du.se), [www.serc.se](http://www.serc.se)

## Background

Högskolan Dalarna is a relatively small regional university located in Borlänge, in the centre of Sweden about 200 km north of Stockholm. It has a broad range of educational programs, ranging from nursing to teacher training to engineering. In 1984 the Solar Energy Research Center SERC was founded with a couple of people working part time. Since then the group has grown slowly and extended its research scope to also include energy efficiency measures for buildings and biomass as well as solar. In 1998 it was chosen as the host for an initiative to start the European Solar Engineering School ESES ([www.eses.org](http://www.eses.org)) that was planned to give training in solar to engineers in a European context. The first one year master students were enrolled in 1999, just six of them, and since then the program has progressed both in terms of content as well as number of students, and there is now a two year master program in addition to the one year master. Polysun was introduced into the program in a solar thermal course already in 2002 and has been used ever since. A number of master thesis projects have been made using Polysun, and the links to the master program have been strong as five former students have worked for Vela Solaris.

In the late 2000's a two year full-time distance learning program for energy technicians was started (in Swedish), and Polysun has been used for the simulation of solar thermal systems. The university has also taught solar using Polysun in another technicians program run by a school further north in Sweden. Finally Polysun has been used in a PhD level course on solar thermal within the SHINE PhD program. Over the years, the teaching methods have evolved and changed with the program as well as due to the teachers who have been engaged. Chris Bales, Klaus Lorenz and Tomas Persson have all taught the use of Polysun at the university.

---

Notizen

## **Solar engineering master program**

The teaching on solar thermal in the master program has always been split into two parts, taught in different courses: theory of collectors, storage, loads and systems; and design of solar thermal systems. This latter course is built around a design project that is split into three parts:

1. Definition and derivation of boundary conditions (loads, available area and orientation for collectors and storage, climate).
2. System simulations (Polysun) to choose system design and size the system.
3. Detailed design for collector layout, choice of pipe runs and dimensions and choice of pumps, valves and expansion valves.

While the classic textbook by Duffie and Beckman (2013) contains a wealth of information on solar thermal, it does not contain enough on practical design considerations so we created an own compendium as literature for the design course. Detailed instructions for the project are given in a separate document.

### Teaching method

The students get a basic introduction to Polysun and then “play” with it for a while to learn the basics. In recent years, the VelaSolaris videos as well as own video recordings have been used. The students work in pairs and several pairs form a group that have tutor led seminars together to discuss the simulation results. In most years, the solar thermal system that is to be designed is for a multifamily building with 12 flats. The pairs normally get some kind of different boundary conditions such as: location, whether solar DHW or solar-combisystem and auxiliary type. They then have to choose a system design and motivate it at a seminar before making the system sizing by using parametric studies for the key components. Costs are also calculated. The results are presented at a seminar and discussed together.

### Experiences from the course

In general the students like the whole course and, in terms of the simulation part, appreciate the opportunity to learn a state-of-the-art design tool and the fact that the learning process is embedded into a complete design process. The seminars are also appreciated by all, despite the fact that students from some countries have more or less no experience of seminars as a teaching form and are very nervous and often shy. This makes leading the seminars a challenge to make sure that all students get practice in presentation and critical discussion. The final seminar is also assessed, adding to the requirements placed on the teacher, and the use of seminars has been a learning process for the teachers themselves.

---

### **Notizen**

A number of variations have been tried over the years, each with their own advantages and disadvantages as summarised below.

#### *Cost “optimisation”*

The students have to size the system to get least cost to achieve a given target solar fraction. They use an excel sheet which calculates the cost of the system based on simple cost functions for the main components (collector, storage volume, insulation thickness and heat exchanger size). Students are encouraged to make parametric studies to understand cost trends compared to the achieved solar fraction and then to optimise the sizing for all components. The approach is generic and not based on specific products, and costs are not calculated from Polysun. With this approach the students learn more about the relative cost-benefits of going away from common rules of thumb. However, the process is relatively complex and can lead to a fixation on the tools rather than the results, and the teacher needs to push students to avoid this pitfall. Calculation of cost-benefit and not just performance gives another dimension to the knowledge gained in the course.

#### *Real Cases*

Instead of using the same “case” every year, in some years we have used the course to design and size a system for a local stakeholder. The advantage with this is that the project is live and the students have to report to someone who wants to have the results, and not just the teacher, and the students appreciate the realism of the situation. Students also tend to put in more effort and take it more seriously. The only disadvantage is the extra time that it takes for the teacher to find the real cases that fit in with the timetable for the course. Unfortunately, the teaching time available for the course makes this not realistic unless the teacher uses some of his/her own time.

#### *Professional or Designer*

In some years some of the students have used the Designer version of Polysun to customise the system design instead of just using the available templates in the Professional version (or previous equivalents). This gives the students a much deeper understanding of the possibilities with Polysun as well as a deeper understanding of system design. However, our experiences are that this requires much more teaching time and/or is suitable only for the better students.

#### Master thesis projects

Our one year master students have a 15 credit thesis project (with option to take 30 credits) while the two year students have a 30 credit project. Originally we used

---

#### **Notizen**

TRNSYS for student projects, but found that only the better students could cope with this and keep the deadline. Polysun is more suitable as the learning time is much shorter in general, and more so as students have already used it in courses in the program. TRNSYS is now taught in the two year master program, which means that it is easier now for the students to use as they have already learnt the tool and how to use it in project form. Nowadays, TRNSYS is generally used only when the simulations required are difficult to make with Polysun (components not available).

### **Courses for energy technicians**

The two year energy technician program is a distance learning program, with 2-3 meetings at the university per semester. One of these is used to teach the basics of Polysun before the students work on their own, at home, on a project using a short term licence. As with the master program, the simulation part is embedded in a larger project and is used to size the system and to study how key parameters affect overall system performance as well as cost-effectiveness. In this program the focus is more on systems for single family houses, so the case study is often based on a building that the students choose themselves. Finally at another meeting at the university the students install a collector circuit and commission the system, showing the practical nature of the course despite being part of a distance learning program.

At a training school 300 km further north, there is a two year campus based solar technician/engineering program. Högskolan Dalarna is responsible for six weeks of this program, and teaches solar electricity as well as thermal. Polysun is used to make calculations for the heating systems of buildings as well as grid-connected PV systems. It is also used in a project for solar thermal system sizing and calculation of system performance in much the same way as for the distance learning program.

These two programs are for students at the same academic level. The students learn to use Polysun relatively quickly and complements the theory with calculations of system performance on annual basis. This enables the students to quantify the effects that they have learnt about. Experience is relatively good with students doing project work at home, and they have question sessions via webinars during the course. These are not well attended showing that the students learn well on their own. The students appreciate learning such a tool and can see the possibilities of using it in their future professional career.

## Polysun in SHINE PhD program

The SHINE PhD program (2013-17) is part of a long running European collaboration on PhD level education in solar thermal (Jordan *et al.*, 2014). 13 PhD students are hosted at 6 universities and 5 companies around EU and five PhD level course and several workshops have been held. One of the PhD students is employed by VelaSolaris with the aim to extend the capabilities of Polysun so that it can better simulate solar district heating systems. He will validate this against measurements and other software. The second course in the SHINE program was on system simulation, with TRNSYS being used as the tool. Polysun was introduced to the students in a workshop attached to the course. In the fifth course, organised and run by the PhD students themselves, Polysun was used in a case study on solar district heating. The available time was very limited, only a few hours, so the students could not learn the tool properly, rather the aim was that the students could find out the possibilities and limitations of Polysun and other tools used in the assignment.

The students were introduced to the case, a collector field feeding in to a district heating network 750 m away and enough space for about 1000 m<sup>2</sup> of collectors. The students then used an online pre-feasibility tool at [www.solites.de](http://www.solites.de) to make initial calculations for the system. In a second stage the students used Polysun in order to size the collector field and determine which collector should be chosen, using a template developed specially for the course. Finally the students designed the collector field in terms of number of parallel strings and then balanced the hydraulics using a specialised tool for the purpose. The students very much appreciated the assignment, but found that they were very pressed for time. As most of the students had already come into contact with Polysun before the course, the students felt that they had the possibility of understanding the potential of using Polysun for such tasks as well as gaining an understanding of the design process for large scale collector fields.

## Acknowledgements

This paper has been presented with support from the project Solar Heat Integration Network (SHINE) that is supported by the European Union, as an “Initial Research Training Network” (ITN) in the framework of the Marie-Curie program, FP7.

## References

- Duffie, J. and W. Beckman (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*, 4<sup>th</sup> edition. John Wiley and Sons.
- Jordan, U., K. Vajen, C. Bales, P. J. C. Forteza, H. Drück, E. Frank, S. Furbo, R. Heinzen, H. Kerskes, A. Luke, V. Martinez Moll, R. Pietschnig, W. Streicher, W. Wagner and A. Witzig (2014). SolNet - PhD-scholarships and courses on Solar Heating. *Eurosun 2014*. Aix-les-Bains, France.

---

## Notizen

# Articles

## Polysun outside of Europe



Internationale Konferenz zur Simulation  
gebäudetechnischer Energiesysteme  
8. & 9. September 2016 · Winterthur

# Renewable Energy Training and Certificate Program in China

Andreas Wolf<sup>1</sup>, Zhu Jiankun<sup>2</sup>, Markus Prandini<sup>3</sup>, Andreas Witzig<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Vela Solaris AG, Stadthausstr. 125, 8400 Winterthur, Switzerland; tel. +41-55-2207100,  
e-mail: andreas.wolf@velasolaris.com; www.velasolaris.com

<sup>2</sup> NERCRCRE, 10 Dayangfang, Beiyuan Road, Chaoyang District, Beijing 100012, China;  
tel. +86-10-57930246, e-mail: zhujk82@163.com

<sup>3</sup> Center for Asia Business, School of Management and Law, Zurich University of Applied Sciences  
ZHAW, Stadthausstr. 14, 8400 Winterthur, Switzerland; tel. +41-58-9346881, e-mail: pnas@zhaw.ch

<sup>4</sup> ICP Institute of Computational Physics, School of Engineering, Zurich University of Applied Sciences  
ZHAW, Wildbachstr. 21, 8401 Winterthur, Switzerland; tel. +41-58-9344573, e-mail: wita@zhaw.ch

## - Summary -

RETAC (“Renewable Energy Training and Certificate”) is a Swiss-Chinese know-how transfer project by Vela Solaris AG, the Zurich University of Applied Sciences ZHAW and NERCRCRE (National Engineering Research Centre for Renewable Energy of China) which has been co-financed by the Swiss government agency REPIC (Renewable Energy & Energy Efficiency, Promotion in International Cooperation). The project started in March 2015 and will officially finish in July 2017, but the aim is to make it sustainable so that it will continue to run even without external financial support.

## 1. Know-how transfer in five steps

The purpose of the project is to transfer Swiss know-how to Chinese universities and companies in the field of solar thermal and photovoltaic energy using the advanced simulation software Polysun as a teaching tool. The computer-based lectures are integrated by practical ones normally lacking in similar courses. Moreover the participants are trained in teaching methods to ensure a successful know-how transfer to their own students. The biggest challenge of the project is that the trainees are required to be students, teachers and businessmen at the same time: they start as students learning the various topics which are part of the project, will become teachers to transfer the acquired knowledge to their own students and must have some commercial interest and talent to manage the training courses which they organize in their home provinces.

RETAC is a five-step project. It consists of several rounds, one full round lasts for two years and can be continued in a neverending way, thanks to the business model which makes it sustainable. The first round has got the following schedule:

1. July 2015: introductory course in Beijing (three days), followed by homework
2. January 2016: advanced course in Beijing (five days), including intermediate exam
3. May 2016: test lectures and final examination in Beijing (three days)

---

Notizen

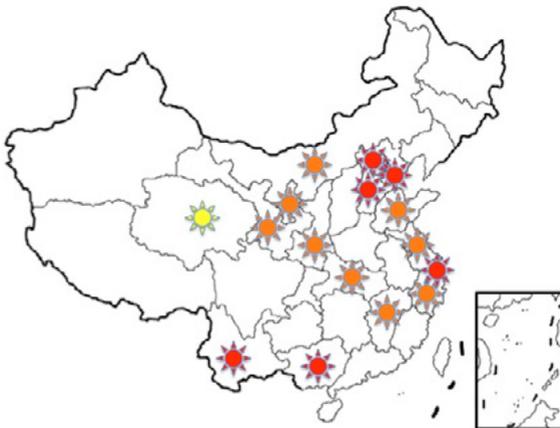
4. August-November 2016: local training courses, organized by the certified teachers in their home provinces
5. April 2017: update course and renewal examination in Beijing

Only those trainees who passed the final examination of step 3, were awarded a certificate and obtained the exclusive right to organize courses in their home provinces. Additionally they have the right to use a Polysun Designer license for free and received a tool case containing many useful tools for the installation of solar thermal and photovoltaic systems. One year later they can renew their certificate for another year attending an update course and a renewal examination in Beijing (step 5). This way the training program becomes perpetual.

## 2. Building up a Chinese network

The People's Republic of China is divided in 31 provinces, autonomous regions and cities on an area which is approximately twice as large as the European Union. Its population is about two and half times bigger than the one of the EU. The vast size and huge population of the country require decentralized courses in the single provinces.

Each province is represented by one partner. All trainees have got professional background in solar energy, some are employed by specialized companies in the field of renewable energies, others are university professors.



*Current RETAC map of China (September 2016):*

---

**Notizen**

- *certified teachers from first round (from north to south): Beijing, Tianjin, Hebei, Shanghai, Guangxi, Yunnan*
- *participants of second round (clockwise): Shandong, Jiangsu, Zhejiang, Jiangxi, Hubei, Shaanxi, Gansu, Ningxia, Inner Mongolia*
- *participant of first round who might attend the final examination of the second round: Qinghai*

### 3. Topics and lecture material

Chapter	Topic
1	Basic steps
2	Meteorological data
3	Shading
4	PV modules
5	Inverters
6	Result analysis of photovoltaic systems
7	Roof planner
8	Systems with batteries
9	PVT, PV + heat pumps
10	Practical exercises for the installation of a grid-connected PV system
11	Demand and consumption
12	Collectors
13	Tanks
14	Other thermal system components
15	Controllers
16	Result analysis of solar thermal systems
17	Design Features
18	Hybrid systems
19	Solar cooling
20	Practical exercises for the installation of a forced-circulation solar thermal system
21	Teaching methods

For each chapter a separate PowerPoint file has been prepared, additionally a workbook containing specific exercises is available. All lecture material has been translated into Chinese and can be downloaded by the course participants from the shared Moodle platform.

---

**Notizen**

## 4. Communication in China

Although the professional preparation of the course participants is very good or excellent, hardly any persons could follow the course in English being proficient speakers at levels B2 or C1 according to the Common European Framework of Reference for Languages. A few can communicate in English at a basic level, but many participants haven't got any English language skills at all. Therefore the only language of communication of the RETAC project is Chinese. All written documents are available in Chinese, all oral communication from the Swiss partners is translated into Chinese.

Moreover many websites commonly used in Europe (such as Google, Facebook, Twitter and YouTube) cannot be easily or at all accessed in China. Therefore Vela Solaris has created a bilingual Moodle platform (English-Chinese) which is hosted in Switzerland, but not blocked by any firewalls in China. Moodle (moodle.org) is an open-source e-learning platform widely used by schools and universities all over the world. All course-relevant files, including the complete lecture material in Chinese, have been uploaded to this platform (<http://secure.velasolaris.com/moodle-zh/login/index.php>). Each course participant can log-in to the platform, moreover the course itself is protected by a password. This way the file exchange is easy and secure. Additionally NERCRE has created a WeChat group which is a similar application to WhatsApp.

## 5. SWOT analysis

This project can be carried out thanks to the close collaboration between the three partners. The long-term partnership with NERCRE is of inestimable value, the communication, lecture material and the software Polysun itself in Chinese are essential requirements for a successful training course management. Certainly there are cultural differences between Switzerland and China, but they don't represent an obstacle in this project. Rather the geographical distance is perceived as a burden.

Unfortunately the Chinese renewable energy industry cannot boast of the same growth rate anymore as in the past. Especially during the last twelve months the general economic situation in China has become much more unstable than it has been in the recent past. However, still the huge market size offers opportunities which are not in sight in Europe.

The great interest of the students and their openness to Swiss technology and know-how transfer from Europe is an opportunity to be taken. European products and services are very welcome and valued very highly in China.

The most important thread is given by the difficulty to find course participants who are equally interested and capable to be students, teachers and businessmen. The Milestones of the RETAC project require not only that the course participants pass the exams proving their skills as students, but also that they recruit trainees who then pass the students exams. To accomplish these tasks, not only abilities as teachers are required, but also as businessmen to organize the courses against payment in their home provinces and make the whole business idea sustainable. Only one of the participants has got professional experience as university teacher **and** businessman, all others lack in one or the other way.

	Positive	Negative
Internal	<p><b>Strengths</b></p> <p>Polysun already translated to Chinese</p> <p>Long-term partnership between Vela Solaris and NERCRE</p> <p>NERCRE very well established in the Chinese academic world and industry</p> <p>Access to local teachers through NERCRE</p> <p>Excellent collaboration with ZHAW</p>	<p><b>Weaknesses</b></p> <p>Vela Solaris is a small company with very limited resources.</p> <p>Nobody inside Vela Solaris speaks Chinese.</p> <p>Geographical distance between Switzerland and China, courses can be organized only at long intervals between them.</p>
External	<p><b>Opportunities</b></p> <p>Certification from Swiss technical university is valued very highly by Chinese engineers</p> <p>Chinese laws enforce the use of renewable energy</p> <p>Huge market size of renewable energy industry in China</p> <p>Great interest and openness of Chinese engineers towards European products and technology</p>	<p><b>Threads</b></p> <p>Low quality standards in Chinese installations</p> <p>Chinese craftsmen, manufacturers and end users do not really care about the environment. They would accept non-optimized solutions.</p> <p>Low purchasing power and low disposition to pay for software products</p> <p>Rare combination of abilities as student, teacher and businessman in one person</p>

---

**Notizen**

# **Best Practice Teaching Methods in a Teach-the-Teacher Program in China**

Markus Prandini  
Regional Competence Center Asia-Pacific  
ZHAW School of Management and Law  
Stadthausstrasse 14, CH-8400 Winterthur, Switzerland  
Tel.: 41 58 934 68 81  
markus.prandini@zhaw.ch  
Internet: www.zhaw.ch

**Leider lag das Skript bei Drucklegung nicht vor.**

---

**Notizen**

# **SOLAR ENERGY SYSTEM DESIGN USING ADVANCED LEARNING AIDS: AN EU TEMPUS PROJECT**

**Rami Ghannam<sup>1</sup> and Mohamed Khayet<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Egypt Nanotechnology Center, Cairo University, Zayed Campus, Giza (EGYPT).*

<sup>2</sup>*Department of Applied Physics I, Faculty of Physics, University Complutense of Madrid, Avda. Complutense s/n, 28040, Madrid (SPAIN)*

## **Abstract**

Harnessing the Sun's renewable, sustainable and low carbon energy can help in the sustainable development of nations with transitional economies such as Egypt. Unfortunately, the know-how and skills required for designing and installing advanced solar energy systems are still not available in Egypt. Through the generous funding from the EU Tempus programme, a certified technical training program in designing solar energy systems was launched at three Egyptian Universities. The overall project is carried out in collaboration with 12 partners from Egypt and Europe. Furthermore, the aims of the project are to bridge the skills gap between academia and industry, to provide entrepreneurs with the skills necessary for starting businesses in the field of solar energy, to improve education and to raise environmental awareness in Egypt.

## **1 INTRODUCTION**

Egypt heavily depends on fossil fuels in order to meet its energy demands. In fact, Egyptian energy consumption has risen by more than 200% during the past 20 years (from 0.7 quadrillion Btu in 1980 to 2.1 quads in 2001). Unsurprisingly, the increase in Greenhouse Gas Emissions caused by the burning of such fuels is contributing toward the overall rise in Egyptian sea levels, as well as an increased risk of heart attacks in healthy humans.

Sunlight provides the energy source that powers the Earth's ecosystem. In the case of Egypt, renewable energy is desperately needed in order to aid the growth of its economy, to reduce the adverse effects of carbon emissions and to prevent the complete depletion of its limited fossil fuel resources. Unfortunately, the majority of Egyptians are unaware of the financial and environmental benefits of solar technology. In addition, the workforce lacks the professional training required for designing and installing such systems. These hindering factors have led to poor government support and hence low market demand for such technologies.

Fortunately, Egypt is located in the world's solar belt with direct solar radiation exceeding  $920 \text{ W/m}^2$  for more than 8 hours throughout the day. The annual average global solar radiation over Egypt ranges from  $1950 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{year}$  on the Mediterranean coast to more than  $2600 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{year}$  in Upper Egypt. Approximately 90% of the country has an average global radiation higher than  $2200 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{year}$ . Furthermore, Egypt has always enjoyed a strong sentimental connection with the Sun, as shown in Figure 1.

Unfortunately, the majority of common Egyptians are unaware of the financial and environmental benefits of solar technology. In addition, the workforce lacks the professional training required for installing and maintaining such systems. Like any developing country, Egypt experiences the usual financial difficulties of procuring and purchasing the tools necessary for both training and installation purposes. These hindering factors have led to poor government support and hence low market demand for solar technologies. Consequently, one of the aims of this project is to help Egyptians harness their vast resource of energy, by developing a certified technical training programme in solar energy systems design.



**Figure 1.** Ancient drawings from Egypt, which provide evidence to the strong historic link with the Sun.

## 2 SOLEDA CONSORTIUM

To appreciate the quality of the consortium's partnership, it is best to illustrate why each partner was chosen in the project. As previously indicated, the aim of the project is to provide a certified teaching programme in designing and installing solar energy systems. The EGNC has initiated the project following the government's ambition to establish a research centre that is devoted to research in the field of solar energy. A Higher Educational (HE) institute from each geographic section of Egypt was chosen to take part in this project. This decision was made in order to ensure the expansion of the SOLEDA project throughout all of Egypt. From Lower Egypt, Cairo University was chosen since it is the largest provider of scientific degree programmes in that region. Similarly, Fayoum University was chosen from Middle Egypt, whereas South Valley University was selected from Upper Egypt. Since the partner universities are geographically distributed around Egypt, students will find it easier to enrol on a solar programme that is closest to them.

Nevertheless, the success and impact of the project cannot be hinged solely on academic partners, which is why other Egyptian professions and organisations were included in the consortium. Such organisations include BIC, which is a producer of PV panels and is the second largest installer of solar energy systems in Egypt. Similarly, an interfacing organisation between Egypt and the EU was necessary in order to appreciate the business experiences of the EU in the solar energy field.

Consequently, the German-Arab Chamber of Commerce and Industry was chosen to fill this position.

As far as the EU members were concerned, the choice of partners was primarily based on their depth of specialisation as well as their previous experience in establishing renewable energy (RE) projects with developing countries such as Egypt. In fact, all of the five EU partnering institutes perfectly fit this requirement. For example, The University Complutense Madrid (UCM) was chosen since they are experienced in working with North African and Middle Eastern institutes from Morocco, Tunisia and Jordan. Furthermore, since a customized software product was needed for consolidating the theoretical and practical teaching materials, Dr. Andreas Wolf was chosen due to his reputation for localising Polysun's software product to more than 8 countries in 11 different languages. Thus, Studio Wolf was chosen for the localisation of Polysun to the Arab world. Finally, partnership with a university of applied sciences was critical, due to its emphasis on the practical teaching methods, which is why Fachhochschule Aachen's Solar-Institut Julich was chosen.

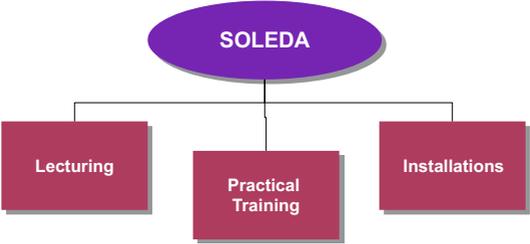
### **3 SOLEDA Methodology**

The SOLEDA project consists of three major teaching components: theory, practical training and simulations design. The simulations and practical trainings have helped in consolidating the theory of solar energy systems. In the case of the SOLEDA project, the simulations software tool was available in Arabic in order to reach a wider spectrum of Egyptian and Arabic students. In the project, we have chosen the Polysun simulations tool provided by VelaSolaris to compliment the theoretical classroom material that will be delivered to the students.

The postgraduate Diploma consists of "CORE" and "ELECTIVE" courses. The consortium members have suggested that all CORE subjects should focus on three main areas: "Solar Radiation", "Solar Thermal Energy & Systems" and "Photovoltaic Energy & Systems". Lecture material on Solar Thermal Energy were developed with special attention to regional needs and market situation. The course consisted of a number of modules that include: i) Low Temperature Collectors, ii) Low Temperature Systems, iii) Thermal Energy Storage, iv) Solar Process Heat, v) Solar Cooling, vi) Design Tools, vii) Problem solving, viii) CSP Introduction, ix) CSP PTC Collectors, x) CSP Solar Power Tower and xi) CSP Dishes & Fresnel Lenses. Lecture materials consisted of presentation documents and quizzes. A summary text included lists of references, contact organizations and market players. For each module, a partner organization was delegated to edit and finalise all the teaching materials.

As can be seen in Fig. 2, the SOLEDA diploma consists of three major teaching components: theory, practical training & simulation, and installation at the 3 Egyptian Universities. The simulations and practical training help in consolidating the theory of solar energy systems. The consortium believes that the project may appeal to four different target groups: (i) technical installers and plumbers, (ii) University graduate students, (iii) engineers and architects without previous experience in solar energy,

and (iv) professionals (engineers and architects) with prior experience in solar energy.



**Fig. 2.** Components of the SOLEDA program.

A special web portal was developed for the SOLEDA project with the aim of providing student access to the teaching materials and to facilitate the interaction between the various staff members. Certain aspects of the web portal are accessible to the public for raising awareness of the project.



**Fig. 3.** Delivery of the SOLEDA program.

**4 Conclusions**

As previously indicated there is a sustained shortage of skilled Egyptian staff in the field of solar energy systems design and installation. Consequently, it is particularly

important that individuals interested in entering this field follow an approved educational programme that allows them to build compliant yet safe decentralized solar energy systems for various applications. Designers of solar thermal and solar PV systems ought to possess the skills necessary to recommend, configure and maintain the solar energy systems in ways that meet customers' satisfaction. In addition, designers must be aware of the current industry standards regarding the performance, safety and reliability of such solar energy systems.

The funding from the EU has helped in developing a certified technical Diploma programme in designing decentralized solar energy systems. The Diploma programme was targeted toward Physics and Engineering university graduates. The Diploma's duration was one year and its delivery took place at three Egyptian Universities. In addition, specific teaching modules were selected from the Diploma programme in order to provide intensive training for the solar installation technicians, which will help create a stronger link between the "installers" and their fellow colleagues the "designers". A total of 24 students were enrolled on the programme. For more details about the SOLEDA project please visit the following web page: [www.solardiploma.com](http://www.solardiploma.com).

## 5 ACKNOWLEDGMENTS

The SOLEDA consortium gratefully acknowledges the financial support of the European Union, European Commission TEMPUS (Education, Audiovisual & Culture Executive Agency, EACEA) (TEMPUS IV): Project Number 530296-TEMPUS-1-2012-1-ES-TEMPUS-JPHES.



Tempus

"This project has been funded with support from the European Commission. This publication [communication] reflects the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein."

# **Solar Energy and Polysun Simulation Software Certificate Course in Kuwait**

Abdul Al-Yasseen  
Solar Energy for Private Training Institute  
Fahad Al-Salem Street, 13005 Jiblah – Kuwait City  
abdul@mec-kw.com

**Leider lag das Skript bei Drucklegung nicht vor.**

---

**Notizen**

# Posterbeiträge

## Kurzfassungen der Beiträge



Internationale Konferenz zur Simulation  
gebäudetechnischer Energiesysteme  
8. & 9. September 2016 · Winterthur

# **Wirtschaftlichkeit erneuerbarer Energien**

## **Produktentwicklung Wirtschaftlichkeitsberechnungstool**

Die Simulationssoftware Polysun wurde mit einer umfassenden und praxisorientierten Wirtschaftlichkeitsberechnung ausgestattet. Das Tool wurde von Grund auf neu und bis zur Marktreife entwickelt.

**Diplomand:** Moritz Meier

**Auftraggeber:** Lars Kunath, MSc. Dipl. Ing., Vela Solaris

**Coaches:** Stefan Roth, dipl. Masch.Ing., FHNW

Rudolf Zobrist, Prof. Dr. oec. publ., FHNW

**Experte:** Christian Bauer, MSc, PSI Villigen

## **1. MOTIVATION & METHODIK**

Neben der hoch detaillierten energetischen Berechnung erneuerbarer Energien wurde die Wirtschaftlichkeit in Polysun vergleichsweise einfach abgebildet. Ziel dieser Arbeit war es, ein flexibel detailliertes, sensitives Tool mit hoher praxistauglichkeit zu kreieren. Hierfür wurde aus Eindrücken von Anwenderinterviews, Fachliteratur und Normen ein Konzept entwickelt. Das Konzept wird den hohen Ansprüchen der Praxis und der Wissenschaft gerecht. In einer zweiten Phase wurde das Konzept als Software umgesetzt und einer Beta-Testreihe unterzogen.

## **2. DAS NEUE TOOL**

Das Tool berechnet zentrale Werte der Wirtschaftlichkeit (z.B. NPV, Energiegestehungskosten, Annuitäten, Ersatzinvestitionen) für jede in Polysun zu simulierende Anlage. Der Detaillierungsgrad der Analyse kann projektphasengerecht angepasst werden und mit dynamischen Berechnungen und Sensitivitätsanalysen wird die Genauigkeit der Modellierung erhöht. Langzeiteffekte der Preisentwicklung von Energiepreisen, Inflation, Degradation und Anlagekosten können mit spezifischen Faktoren bestimmt und untersucht werden. Die Resultate werden in verschiedenen, dem Wissensstand des Endkunden angepassten, Reports und als übersichtlicher Variantenvergleich ausgegeben.

## **3. VORGEHEN**

Die Untersuchungen wurden an einem MFH-Neubau durchgeführt. Der Ist-Zustand wurde mit 3 Strompreismodellen (HT/NT, dynamische Preisbildung, Flatrate) sowie dem Einsatz von elektrischen und thermischen Speichern und div. Wärmeerzeugern simuliert und die Wirtschaftlichkeit analysiert.

## **4. AUSGESUCHTE RESULTATE**

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die Strompreismodelle vor allem Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der installierten PV-Anlage haben. Die elektrischen Speicher werden bei heutigen Marktpreisen noch nicht amortisiert. Als wirtschaftlich positiv präsentieren sich die thermischen Speicher mit P2H-Regulierung.

---

**Notizen**

# **Simulation of a grid-connected photovoltaic system – An investigation of a residential grid-connected photovoltaic system in El Gouna, Egypt**

Mohamed Bakr<sup>1</sup>, Howida Saleep<sup>1</sup>, Moataz Abdelmegid<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Energy Engineering, Technische Universität Berlin, Berlin, Germany

## **1. Introduction**

For the purpose of designing a standalone or grid-connected photovoltaics system, design simulation is an essential step in the engineering phase. Such a simulation can present a detailed characterization of the performance and dynamic behavior of the designed system. There is a wide variety of academic and commercial simulation tools developed to give an accurate evaluation of the energy output of a photovoltaic system.

The intention of this work is to illustrate and discuss the findings of a software simulation analysis conducted to investigate the performance of a residential grid-connected photovoltaic system located in El Gouna, Egypt. The simulation is performed using Polysun® simulation software, a product of Vela Solaris AG. The scope of work is divided into two parts: the first part includes developing and analyzing a reference system for the photovoltaic residential plant; while the second part includes introducing a number of modifications to the reference system and studying the effect of each modification on the system performance.

## **2. Design basis**

The objective of this work is to develop a simulation for a residential photovoltaic system on the rooftop of a household located in El Gouna, Egypt. The household has an average annual power consumption of 4500 kWh. The energy demand of the household is covered by the designated PV system which has a total nominal power of 5.88 kW and is connected to the grid to feed-in the excess energy generated according to the recent feed-in tariff regulation formulated by the Egyptian government. The solar panels are oriented at a 20° angle from the South-South/East with a tilt angle of 35°. Cable power losses within the system connections are an estimate of 3%. SOLON Blue 230/07 polycrystalline solar modules were selected for the scope of the design in-hand. The inverter model is selected to be of the PVI-5000-TL-OUTD-Sclass, a product of ABB Power-one. The total number of modules is 24 occupying a 40 m<sup>2</sup> gross area of the household rooftop. The system assembly comprises of two module strings, with 12 modules per string. The generated DC electricity output from both strings is fed into one inverter.

## **3. System analysis**

After the reference system analysis is concluded and its different performance measures have been defined, a number of modifications are introduced to the reference system to analyze and assess its performance at different specifications and operating conditions. This section presents the results of four different modifications and compares them against the reference system based on a set of evaluation criteria.

---

**Notizen**

# Prognosebasierte Betriebsstrategien für PV-Speichersysteme in Polysun

Forecast-based operational strategies for PV storage systems in Polysun

Marc Jakobi

FB1 Ingenieurwissenschaften, Forschungsgruppe "Solarspeichersysteme",

Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Berlin,

Wilhelminenhofstraße 75A, 12459 Berlin, Deutschland

Tel.: +49 1573 575 7182

E-Mail: jakobi@htw-berlin.de

## 1. Einleitung

Mit sinkenden Stromgestehungskosten der Photovoltaik (PV) und gleichzeitig steigenden Strompreisen entwickelt sich europaweit der Trend für PV-Systeme in Richtung Eigenversorgung mit Speichern. Die steigende PV-Durchdringung im Netz führt zu hohen Rampen und vor allem zur Mittagszeit zu großen Einspeisespitzen und somit zu einer Belastung des Netzes, die durch den Einsatz von Batteriespeichern mit frühzeitiger Beladung nicht verringert wird. Aus diesem Grund werden inzwischen PV-Speichersysteme von der KfW nur unter der Bedingung gefördert, dass die Netzeinspeisung auf 50% der PV-Nennleistung begrenzt wird. Durch die Einbindung von PV- und Lastprognosen kann die Beladung des Speichers in die Mittagszeit verschoben werden, sodass die Einspeiseleistung durch den Speicher begrenzt wird, was zu einer Minimierung von Abregelungsverlusten und zu einer Entlastung des Netzes führt.

## 2. Implementierung in Polysun.

In Polysun ist bereits die frühzeitige Batterieladung für Bleiakumulatoren, die nach dem Kinetic Battery Modell (KiBaM) modelliert sind, implementiert. Da die Möglichkeit einer Gegenüberstellung der frühzeitigen Batterieladung und des prognosebasierten Betriebs erwünscht ist, wird kein neues Batteriemodell programmiert. Stattdessen wird das bestehende Modell, dessen Ladeleistung sich über die programmierbare Steuerung vorgeben lässt, von dem PVprog-Regelkreis angesteuert. Da in Polysun nicht nur elektrische, sondern auch thermische Systeme simuliert werden, muss der Einfluss von mit PV-Speichersystemen gekoppelten Wärmepumpen auf die Güte der Lastprognosen untersucht werden. Eine interessante Kenntnis, die durch die Simulation in Polysun gewonnen werden kann, ist der Einfluss der prognosebasierten Betriebsstrategie auf die Zyklenlebensdauer des Speichers, die mit der Rainflow Cycle Counting Methode abgeschätzt wird. Da die Lebensdauer eines Batteriespeichers in direktem Zusammenhang mit dem Return on Investment (ROI) steht, besteht mit der Implementierung in Polysun die Möglichkeit eines direkten Vergleichs der Wirtschaftlichkeit beider Betriebsstrategien.

---

Notizen

# Regelungsoptimierung für eine zentrale Abluft-Wärmepumpe mit optionaler Außenluftbeimischung

Johnny Ergün

FB I Regenerative Energien, Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin,  
Deutschland

## 1. Einleitung

Im Plusenergiehaus LaVidaVerde in Berlin ist eine zentrale Abluftanlage in Kombination mit einer Sole/Wasser-Wärmepumpe (WP) zur Wärmerückgewinnung installiert. Darüber hinaus kann zur Erhöhung der WP-Leistungszahl der Abluft optional Außenluft beigemischt werden. In der Arbeit wird geprüft, ob die derzeitige Regelung für die Außenluftbeimischung optimal eingestellt ist. Hierzu wird die bestehende Anlage mittels der Simulationssoftware IDA ICE nachmodelliert (Schema in Abb. 1) und eventuelle Optimierungsmöglichkeiten durch eine Parametervariation untersucht.

## 2. Lösungsansatz

Aus der theoretischen Betrachtung der Wärmeübertragung (Austrittszustand der Fortluft gleichbleibend) folgt, dass eine Außenluftbeimischung dann sinnvoll ist, wenn die spezifische Außenluftenthalpie größer ist als die spezifische Fortluftenthalpie ( $h_{AUL} > h_{FOL}$ ). Da im Abluftkühlmodul nur ein Außen- und Fortlufttemperatursensor eingebaut sind, erfolgt die Außenluftbeimischung nach der Temperaturdifferenz zwischen den beiden Größen. Hiernach ist für die Regelung der einzustellende Grenzwert zu untersuchen. Neben der Leistungsreduzierung der WP  $\Delta E_{WP}$  durch die Temperaturerhöhung der Wärmequelle ist der zusätzliche Energieverbrauch des Ventilators  $\Delta E_{Ventil.}$  durch die Außenluftbeimischung mitzubersichtigen. Aufgrund einiger fehlender Daten und Messgrößen erfolgt die energetische Bewertung nach einer Überschlagsrechnung, bei der ein konstanter WP-Gütegrad von 0,44 und verschiedene Vorlauftemperaturen sowie zwei unterschiedliche Anlagenkennlinien des Ventilators angenommen werden.

## 3. Ergebnis

Das Maximum von  $\Delta E_{WP-Ventil.}$  liegt im Grenzwertbereich zwischen 7,5 - 9 K in Abhängigkeit der Druckverluste im Luftleitungssystem und der Vorlauftemperaturen. Ein geringer Grenzwert bewirkt zwar einen hohen  $\Delta E_{WP}$ , kann aber zu einem Mehrverbrauch führen, da  $\Delta E_{Ventil.}$  aufgrund der hohen Außenluftfrate stark zunimmt. Ein großer Grenzwert hingegen vermeidet einen Mehrverbrauch, die maximale Einsparung verringert sich jedoch.

---

Notizen

# Optimierung Wärmekonzept im Einfamilienhaus-Neubau

Martin Mayer-Abt, Dipl.-Ing.(FH), Dipl.-Wirt.-Ing. (FH), M.BP, Universität Stuttgart, DE  
Grundlage für Poster: Master-Thesis 2015 „Optimierung des solarthermischen Deckungsgrades am Beispiel eines Einfamilienhaus-Neubaus“, Universität Stuttgart  
Betreuer: Prof. Dipl.-Ing. Jürgen Schreiber, Prof. Dipl.-Ing. Timo Leukefeld.  
Tel.: +49-1575-2613665

E-Mail: Martin@Mayer-Abt.de

## 1. Ausgangssituation, Motivation und Grundlagen

Die Energieform „Wärme“ in Gebäuden verantwortet ca. 20% des gesamten Energieverbrauchs. Die Solarthermie ist mit höchstem Potential sehr effizient. Die Sonne liefert fast 3.000 mal mehr Energie, als die Welt verbraucht. Der Wärmeanteil am gesamten Energieanteil im Haushalt liegt bei ca. 87%. Mit 1 kWh Stromereinsatz nutzt man bei Wär-mepumpen ca. 3-4 kWh, bei ST-Anlage ca. 100 kWh. Dennoch haben WP einen Anteil von ca. 25% als Neubauwohnung-HZ-System gegenüber ST-Anlagen innerhalb „Sonstiges“ in Summe nur 2%: Sehr großes Potential für ST-Anlagen. Def. S Fn.

## 2. Referenzsystem und Umrechnung

Referenzsystem betrachtet Heizung- und Warmwasser-Verbrauch. Durch Umrechnung von Q Hz auf Q aux wird dieser „S Fn-“ kompatibel gemacht. Das Referenzsystem wurde in polysyn berechnet. Für die Optimierung kann sowohl Q aux re-duziert wie auch Q sol erhöht werden. Eigene Berechnungen wurden durch bestehende Unter-suchungen ergänzt. So wurden auch Parameter mit Einfluss auf den Jahres-Heizenergiebedarf Q Hz und insg. Abhängigkeiten von Q aux und Q sol untersucht und somit die Q Hz-Ergebnisse [ $\Delta$  kWh/a,m<sup>2</sup>] S Fn [%-Änderungen] - kompatibel gemacht.

## 3. Resultat mit Empfehlungen

Sehr gute Energieeffizienz (E++) und „normale“ ST-Anlage (A0) sind 2 zent-rale Bausteine für die Optimierung Wärmekonzept und für die Energiewende. Als Ergebnis der Betrachtungen ergibt sich durch Gewichtung der 3 Blickwinkel ein integriertes, gesamtheitlich optimiertes Wärmekonzept. Für eine allg. Empfehlung wird die abgebildete Ge-wichtung der Blickwinkel gewählt. Die Rangfolge ergibt eine Bevorzugung (ohne N++) der Kom-bination K65: E++P+A0N+ (sehr gute E-, gute P-, normale A-, gute N-Dimension). Die Optimierung (auch von S Fn) kann einfacher über die Dimensionen E, P und N als direkt in A erfolgen. Die Integration der energetischen, wirtschaftlichen und nachhaltigen Betrachtungen führt zu einem gesamtheitlich optimierten Wärmekonzept im EFH - Neubau. Abgesichert durch einen großen Untersuchungsrahmen wird eine Systemkonfiguration mit sehr guter Energieeffizienz (E++) und mit normaler ST-Anlage (A0) empfohlen. Es können auch individuelle Empfehlungen bei suboptimalen Rahmenbedingungen abgeleitet werden. Kombinationen mit ST-Anlage werden stets präferiert, dabei stellt A0 neben E++ einen wesentlichen Baustein für das Gelingen der Energiewende dar!

---

### Notizen

# **Energy Management Strategies for Residential PV Systems under Different Geographical Conditions**

Ezgi Özcan - ezgi.oezcan@campus.tu-berlin.de

Institut für Energietechnik, Fachgebiet Gebäudeenergiesysteme, TU Berlin, Germany  
Accomplished at SMA Solar Technology AG

## **1. Objective of Thesis**

The aim of this study is to find optimized energy management strategies for residential photovoltaic (PV) systems considering typical households in U.K. and Australia.

## **2. Energy Management System**

Energy management (EM) term is used for the intelligent control of selected household appliances with a central control device considering forecasted solar generation and learned electricity consumption behavior. EM system is simulated with the help of POLYSUN and MATLAB software.

## **3. Initial Conditions**

The typical U.K house represents a two people household with low electricity consumption (3650 kWh/a) which is using gas for heating and domestic hot water (DHW). The typical Australia house is located in Sydney which has no gas connection and has high electricity consumption as a result of swimming pool and four occupants (11240 kWh/a).

## **4. Results**

It is proven that in the UK house EM can achieve energy savings equivalent to a medium size battery storage system (BSS). Furthermore, energy savings in the Sydney house with EM for DHW or pool pump is much higher than the BSS.

# Systemvergleich zum Eigenverbrauchsanteil von Strom aus Photovoltaikanlagen

B. Eng. Christian Gunsch

Ingenieurwissenschaften und Mathematik, FH- Bielefeld, Bielefeld, Deutschland

Tel.: +49 3093692349

E-Mail: [gunsch@baucon.de](mailto:gunsch@baucon.de)

Wolfenerstr. 36, 12681 Berlin, Deutschland

## 1. Einleitung

Vor dem Hintergrund sinkender Einspeisevergütung für Strom aus Photovoltaikanlagen hat das Thema Eigenverbrauch von selbst erzeugtem Strom an Bedeutung gewonnen. Neben elektrischen Speichern zur Steigerung des Eigenverbrauchs stehen verschiedene Technologien wie z.B. Wärmepumpen oder Heizstäbe bereit, den überschüssigen Strom auch in Wärmeanwendungen nutzbar zu machen.

Welche Eigenverbrauchsanteile erreichen marktübliche Systeme? Welchen Einfluss hat die Leistungsmodulation innerhalb einer Technologie? Und welchen Einfluss hat die installierte PV-Generatorgröße auf die Ergebnisse?

## 2. Flexibilität der Systeme auf veränderte Lastbedingungen

Das zeitliche Zusammentreffen von PV-Stromproduktion und elektrischem Verbrauch des Haushaltes bestimmt maßgeblich die Höhe des Eigenverbrauchs. Die Regelstrategie und die Leistungsmodulation der Systeme limitiert darüber hinaus, wieviel Überschussstrom im Gebäude genutzt werden kann.

## 3. Ergebnisse

Die Eigenverbrauchsanteile aller untersuchten Systeme sinken mit steigender PV-Generatorgröße. Systeme mit flexiblem Systemverhalten können im Vergleich höhere Eigenverbrauchsanteile generieren. Durch interne Heizstäbe, die geschichtet einspeisen und eine stufenlose Modulation aufweisen, sind Eigenverbrauchsanteile (ohne el. Speicher) über 90% möglich und auch bei bestehenden Heizungsanlagen leicht nachrüstbar. Dadurch kann der Endenergieverbrauch eines Einfamilienhauses signifikant gesenkt und an manchen Tagen im Sommer auf einen konventionellen Wärmeerzeuger zur Warmwasserbereitung verzichtet werden.

# Simulation of Cascade Deep Geothermal System

Piotr Kolasa<sup>1</sup>, Mirosław Janowski<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratory of Innovation in Bio and Renewable Energy, LIBRE Foundation,  
44-100 Gliwice, ul. Kościuszki 35, Poland

<sup>2</sup> Faculty of Geology, Geophysics and Environmental Protection, AGH University of  
Science and Technology, Mickiewicza Av. 30, 30-059 Cracow, Poland

## 1. The task

The task is to receive gradually heat from the thermal water from depth of 1620 m. Taking into account very high costs and relatively enthalpy of the heat obtained from geothermal systems it is very important for the economic viability to maximize the yield of geothermal heat from the energy circle. This involves the need to achieve the highest degree of geothermal water cooling (geothermal cycle agent) prior to its injection back into the ground or releasing into surface water-sources.

## 2. Simulation and optimization

Polysun software is being used for simulation and optimisation of the working system. Numbers of controllers and connection combinations are tested to find the real settings and possible changes of the system into 3 directions: simplest controlling, highest efficiency and the lowest inlet temperature.

## 3. Geothermal cascade system

The three level cascade system using throttle valves to regulate the flow rates was developed: I. heating, hot water, technological heat for all installations; II. heating swimming pool water; III. heating the football pitch. Working in a full three-level cascade is limited by the reduced demand for heat in summer and the temperature of the heating medium in the peak (winter time) period of operation of the first cascade level.

# Energetische Quartiersanierung von Mehrfamilienhäusern in Berlin

Märkische Scholle Wohnungsunternehmen eG, Berlin Lichterfelde-Süd  
Deematrix Energiesysteme GmbH

## Planer

- eZeit Ingenieure

## Bauüberwacher

- IBT PAN

## Bautypologie

- Ursprünglich 841 Wohneinheiten aus den 1930er und 1960er Jahren
- Erweiterung um 60 neue Wohneinheiten durch Dachgeschossneuaufbauten
- Ca. 47.000 m<sup>2</sup> Wonfläche
- Wärmebedarf von ca. 1.363 MWh/a
- Heizenergiebedarf von 29 kWh/m<sup>2</sup>a

## Energetische Sanierungsmassnahmen und Systemkomponenten

- ✓ Installation von Photovoltaik- bzw. Solarthermieanlagen mit je 88 – 105 m<sup>2</sup> bzw. 40 – 50 m<sup>2</sup> pro Gebäude
- ✓ **eTank** Langzeitenergiespeicher neben den Gebäuden mit Sole-Wärmepumpe
- ✓ Lüftungsanlage mit Abluftwärmepumpe
- ✓ Regelung des Systems mittels des Dynamischen Energie-Managers
- ✓ Optimierung der Gebäudehülle

## Betriebskosten für Heizung und Warmwasser

- ✓ Senkung der monatlichen Versorgungskosten von 1,5 €/m<sup>2</sup> auf ca. 0,35 €/m<sup>2</sup>

## Umweltentlastung

- ✓ Energieversorgung zu 100% aus erneuerbaren Energien
- ✓ Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes gegenüber der zuvor genutzten Fernwärme von ca. 2.300 Tonnen pro Jahr (ohne Berücksichtigung der PV-Anlage)

---

## Notizen

# Gekoppelte Simulation von dezentralen Energiesystemen und Gebäudeenergiebedarf

Annika Herzog und Simon Kümin

ZHAW School of Engineering, ICP Institute of Computational Physics

Bachelorarbeit 2016

## Ausgangslage

Die bewährten Softwaretools Polysun und Thermo werden für die Optimierung von Energieanlagen und für die Berechnung von Gebäudewärmebedarf eingesetzt. Seit Herbst 2015 bieten die Tools ein Interface an, mit welchem die Resultate der Gebäudesimulation für die Systemsimulation bereitgestellt werden.

## Resultate

Die Arbeit untersucht anhand von diesem Interface die neuen Möglichkeiten der Optimierung von Solarthermischen Anlagen sowie den Eigenverbrauch von Photovoltaikanlagen. In der aktuellen Diskussion um konkrete Smart-Grid-Anwendungen und die Optimierung des Photovoltaik-Eigenverbrauchs spielen Wärmepumpenheizungen eine wichtige Rolle und bekommen in dieser Arbeit deshalb einen besonderen Stellenwert. Es wird aufgezeigt, welche neuen Abläufe durch die Kopplung von Polysun und Thermo möglich sind und an konkreten Praxisbeispielen werden Optimierungen vorgenommen werden, welche die Vorteile der Kopplung nutzen.

Während der Arbeit wurden anhand von Interviews die Arbeitsweise und die Anforderungen von Planern erörtert, die Anwendbarkeit der Kopplung der Tools Polysun und Thermo geprüft und entsprechendes Feedback an die Entwickler gegeben.

## Fazit

Die Schnittstelle hat sich für die Auswertungen bewährt und konnte nach einer kurzen Einführung von den Studierenden angewendet werden. Die Simulationen auf Basis der Monatsdaten aus Thermo konnten auf die Simulationen in Polysun angewendet werden.

---

## Notizen

# Visualisierung in einem Smargrid-Planungstool

Mario Christensen und Patrick Stelling

ZHAW School of Engineering, ICP Institute of Computational Physics

Bachelorarbeit 2016

## Ausgangslage

Durch die Energiewende finden die Planer von Energiesystemen neue Optimierungsaufgaben vor und die Computerwerkzeuge müssen erweitert werden, um die neuen Anforderungen zu erfüllen. Konkret müssen Simulationswerte sowohl auf einer langen Zeitskala (Monate bis Jahre) als auch auf der kurzen Zeitskala (Sekunden bis Tage) prägnant dargestellt werden, so dass auf einen Blick die wesentlichen Informationen gelesen werden können. In dieser Arbeit wurde die Visualisierung im Polysun Quellcode um die entsprechenden Features erweitert.

## Resultate

Die Ergebnisse der Arbeit sind erstens eine Lösung für die lange Zeitskala, in welcher Kurven einhüllend dargestellt werden. Mittels eines intelligenten Zeitfensters werden Unter- und Obergrenze einer Kurve visualisiert. Zweitens konnte das Problem der kurzen Zeitskala gelöst werden, indem die Simulationswerte mit dynamischen anstatt konstanten Zeitschrittweiten dargestellt werden. Drittens wurde für die Wetterdaten auch der Dateninput verändert: anstelle von Treppenstufeninterpolation wurde eine lineare Interpolation implementiert. Nachfolgend wurde das Verhalten aller offiziellen Simulationsvorlagen auf Korrektheit, Robustheit und Laufzeit untersucht.

## Fazit

Die Aussagekraft der Simulationsresultate und die Benutzbarkeit des Tools hat sich speziell für Anwendungen im Smartgrid-Kontext stark verbessert.

Die Vergleiche der Simulationsresultate mit der neuen Wetterdateninterpolation hat gezeigt, dass sich alle mitgelieferten Simulationsvorlagen stabil verhalten und die Mehrheit aller Rechnungen aufgrund der besseren Dynamik in den Simulationen um circa fünf Prozent schneller konvergiert.

---

## Notizen

# **Simulation von Solar-Systemen verglichen mit Messungen von der M-H-University in Alicante, Spanien**

Roland Peter und Steven Walker

ZHAW School of Engineering, ICP Institute of Computational Physics

Bachelorarbeit 2016

## **Ausgangslage**

Die Kernaufgabe dieser Arbeit bestand darin, Messdaten eines Versuchsaufbaus in Spanien bestehend aus Solarmodulen, Wärmepumpe und Warmwasserspeicher mit Simulationsdaten zu vergleichen und mögliche Unterschiede zu evaluieren.

## **Vorgehensweise**

Die Arbeit wurde in enger Zusammenarbeit mit der Universidad Miguel Hernández in Elche bei Alicante, Spanien, durchgeführt. Es wurden zwei Anlagen mit Polysun nachgebildet, zu denen auch Messdaten aus Spanien vorhanden waren. Durch das Einlesen der Wetterdaten, welche ebenfalls beim Versuchsaufbau gemessen wurde, konnte für einzelne Tage mit sehr genauen Randbedingungen gearbeitet werden. Als Teil der Arbeit wurde das Messlabor in Spanien besucht.

## **Resultate**

Zu den zwei vorgegebenen Versuchsaufbauten, bei welchen das Warmwasser mittels Wärmepumpe aufbereitet wird und zu denen auch Messungen vorhanden waren, wurde noch eine dritte Variante vorgeschlagen, welche das Brauchwarmwasser mittels eines Warmwassertank integrierten Heizstabes erhitzt. Für jedes dieser drei Systeme wurde eine Referenz erstellt. Die Messdaten konnten sehr genau nachgebildet werden. Ausgehend von diesen Referenzsystemen wurden unterschiedliche Parametrisierungen durchgeführt und miteinander verglichen.

## **Fazit**

Nach einem Besuch bei den Partnern in Spanien wurde schnell klar, dass diese nicht primär die Nachbildung der Energieflüsse in den Systemen betrachten wollten, sondern vielmehr zeigten sie grosses Interesse daran, den Temperaturverlauf im Warmwasserspeicher mit Polysun genau nachzubilden. Diese Aufgabe konnte mit Polysun zusätzlich zur Kalibrierung und Validierung der Simulationen ebenfalls gut gelöst werden.

---

## **Notizen**



Nächster Termin:  
6. & 7. September 2018

[www.zhaw.ch/icp/siges](http://www.zhaw.ch/icp/siges)

**polysun**<sup>®</sup>  
SIMULATION  
SOFTWARE