

Schlussbericht, 30. November 2020

# **Kurz-Zusammenfassung «SolSimCC»**

**Einfluss von Klimawandel und  
Nutzerverhalten auf das  
Kosten/Nutzenverhältnis solarer  
Energieerzeugung am Gebäude**



**energie schweiz**

Unser Engagement: unsere Zukunft.



Institut für Solartechnik SPF  
OST Ostschweizer Fachhochschule  
Oberseestrasse 10, CH-8640 Rapperswil  
Tel. +41 55 222 48 21, Fax +41 55 222 48 44  
[www.spf.ch](http://www.spf.ch)

### **Autoren**

Jeremias Schmidli, SPF

Igor Bosshard, SPF

Mattia Battaglia, SPF

Dr. Michel Haller, SPF

Dr. Daniel Carbonell, SPF

**Diese Studie wurde im Auftrag von EnergieSchweiz erstellt.  
Für den Inhalt sind alleine die Autoren verantwortlich.**

### **Adresse**

EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE  
Pulverstrasse 13, CH-3063 Ittigen. Postadresse: Bundesamt für Energie BFE, CH-3003 Bern  
Infoline 0848 444 444, [www.infoline.energieschweiz.ch](http://www.infoline.energieschweiz.ch)  
[energieschweiz@bfe.admin.ch](mailto:energieschweiz@bfe.admin.ch), [www.energieschweiz.ch](http://www.energieschweiz.ch), [twitter.com/energieschweiz](https://twitter.com/energieschweiz)

## Einleitung

Im vorliegenden Projekt wurde der Einfluss des Klimawandels, sowie des Nutzerverhaltens auf das Kosten-/Nutzenverhältnis und die Produktionscharakteristik solarer Energieerzeugung am Gebäude untersucht. In dieser Kurzfassung werden die wichtigsten Resultate zusammengefasst.

## Einfluss des Klimawandels auf Gebäude

Durch den Klimawandel steigen die Durchschnittstemperaturen in der Schweiz. Es wird zudem davon ausgegangen, dass auch die Solarstrahlung zunimmt. In Abbildung 1 sind diese Temperatur- und Strahlungsänderungen für Bern dargestellt. Es werden dabei drei verschiedene Szenarien mit tiefer Erwärmung (RCP2.6), mittlerer Erwärmung (RCP4.5) und hoher Erwärmung (RCP8.5) für das Jahr 2050 gezeigt. Das Referenzszenario (Ref) repräsentiert das aktuelle Klima.

Mit den steigenden Temperaturen sinkt einerseits der Raumwärmebedarf, andererseits wird es einen höheren Kühlbedarf geben.

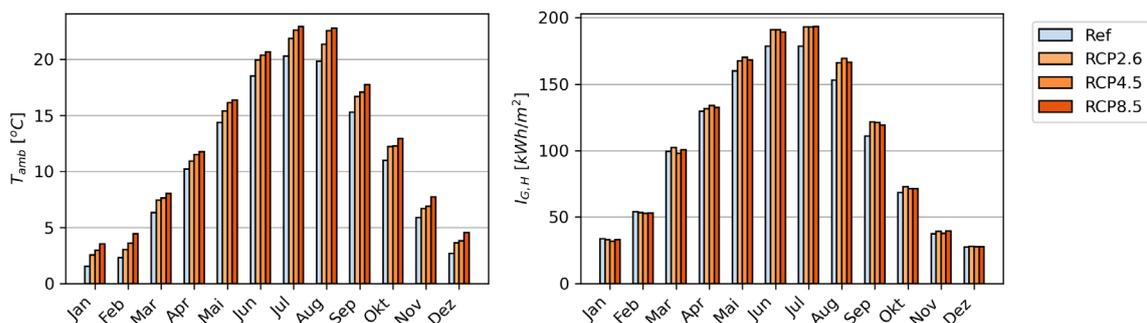


Abbildung 1: Temperatur- und Strahlungsverläufe im Jahr 2050 für die unterschiedlichen Klimaszenarien, im Vergleich zum Referenzszenario (aktuelles Klima).

## Nutzerverhalten

Zwischen idealer Nutzung eines Gebäudes und dem was in der Realität beobachtet wird besteht in der Regel ein erheblicher Unterschied. So haben Untersuchungen gezeigt, dass einerseits die Nutzer moderner Wohngebäude oft im Winter eine Temperatur von 23 °C anstreben und nicht, wie bei der Planung oft angenommen, nur 21 °C. Gleichzeitig führen geöffnete Fenster und Verschattung durch Jalousien vor allem im Herbst und im Frühling zu einem Heizwärmebedarf der deutlich höher ist als auf Grund von idealisierten Annahmen jeweils berechnet wird. Die Unterschiede zwischen Messung und Berechnung sind in Abbildung 2 für zwei repräsentative Gebäude dargestellt.

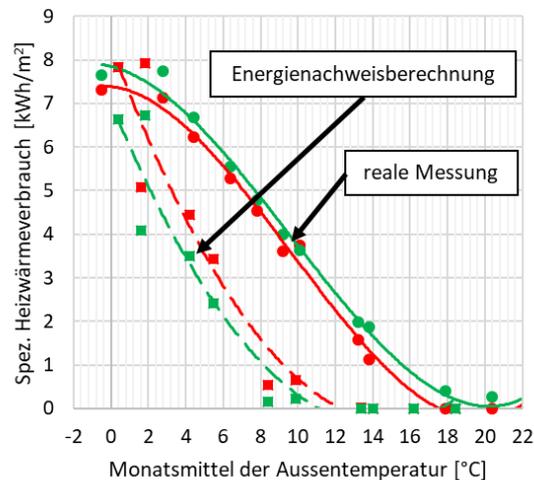


Abbildung 2: Vergleich von real gemessenen und nach Norm berechneten Energiedaten von zwei repräsentativen Gebäuden (rot und grün): Spezifischer Heizwärmebedarf in Abhängigkeit der Aussentemperatur.

## Simulationen

Durch Computersimulationen können die Einflüsse des Klimawandels und des Nutzerverhaltens abgeschätzt werden. Mit dem Simulationsprogramm TRNSYS-17 wurden für die vorliegende Studie folgende Systeme für ein Mehrfamilienhaus (MFH) mit sechs Wohnungen simuliert:

1. Solarthermie (ST) in Kombination mit Gasbrenner (GB) für Warmwasser (WW).
2. Solarthermie in Kombination mit Gasbrenner für Raumheizung (RH) und Warmwasser.
3. Photovoltaik (PV) in Kombination mit Luftwärmepumpe (LWP) für Raumheizung und Warmwasser.
4. Photovoltaik in Kombination mit Luftwärmepumpe für Raumheizung, Warmwasser und Raumkühlung (RK).

Für alle vier Systeme wurde zusätzlich das äquivalente System ohne solare Energiequelle simuliert.

Um die Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Systeme und Szenarien zu untersuchen wird der Unterschied der Energiegestehungskosten ( $\Delta LCOE_n$ ) verwendet. Dieser kann folgendermassen berechnet werden:

$$\Delta LCOE_n = \frac{\text{Kosteneinsparung} - \text{Wartungskosten} - \text{Investitionskosten}}{\text{Nutzenergiebedarf}}$$

Dabei wurde ein durchschnittlicher Strompreis von 19.3 Rp/kWh, ein PV-Einspeisetarif von 9.0 Rp/kWh sowie ein Gaspreis von 12.68 Rp/kWh (Biogas / Syngas) angenommen. Auf Grund der Klimaziele erscheint eine Nutzung von Erdgas aus fossilen Quellen im Jahr 2050 nicht mehr als opportun. Für die Wartungskosten wurden 0.25% der Investitionskosten pro Jahr bei einer Nutzungsdauer von 30 Jahren verwendet. Der Nutzenergiebedarf bezeichnet dabei den für das

jeweilige System relevante Gesamtenergiebedarf (Wärmebedarf für Warmwasser und Raumheizung, Kältebedarf für Raumkühlung sowie Haushaltsstrom für die PV-Systeme).

Die Grössen der gewählten Anlagen (nach MuKE) sowie die angenommenen Investitionskosten für die Solartechnologie sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Die Simulationen wurden für den Standort Bern durchgeführt, wobei für die Zukunftsszenarien das Jahr 2050 gewählt wurde.

Tabelle 1: Übersicht der simulierten Systeme. Investitionskosten beziehen sich nur auf die Kosten für die Solartechnologie.

	<b>Solar- technologie</b>	<b>Grösse</b>	<b>Investitions- kosten</b>	<b>Reserve- Heizung</b>	<b>WW</b>	<b>RH</b>	<b>RK</b>
1	Solarthermie	24.1 m <sup>2</sup>	31'300 CHF	Gasbrenner	Ja	Nein	Nein
2	Solarthermie	84.4 m <sup>2</sup>	72'600 CHF	Gasbrenner	Ja	Ja	Nein
3	Photovoltaik	12.2 kWp	29'500 CHF	Wärmepumpe	Ja	Ja	Nein
4	Photovoltaik	12.2 kWp	29'500 CHF	Wärmepumpe	Ja	Ja	Ja

## Ergebnisse

### Energiebedarf

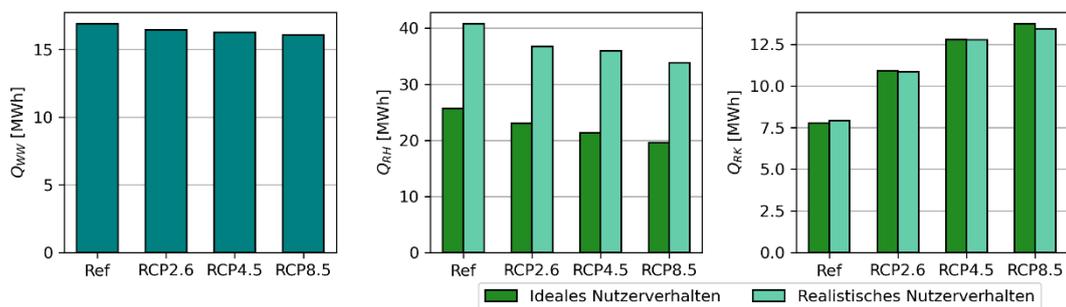


Abbildung 3: Wärmebedarf für Warmwasser ( $Q_{WW}$ ) und Raumheizung ( $Q_{RH}$ ) sowie Kältebedarf für Raumkühlung ( $Q_{RK}$ ) für die verschiedenen Klimaszenarien und die beiden Nutzerverhalten.

Die Veränderung des Wärme- und Kältebedarfs auf Grund des Klimawandels sowie auf Grund der Annahme eines realistischen Nutzerverhaltens ist in Abbildung 3 dargestellt. Es ist gut ersichtlich, dass mit steigenden Temperaturen der Wärmebedarf sinkt und der Kältebedarf steigt. Das Nutzerverhalten hat einen grossen Einfluss auf den Raumwärmebedarf.

### Wirtschaftlichkeit Solarthermie

Sowohl das Solarthermie-System zur Warmwasserbereitung als auch das System für Raumwärmeunterstützung und Warmwasser kann unter den getroffenen Annahmen wirtschaftlich betrieben werden, wie in Abbildung 4 zu sehen ist. Es ergeben sich Kosteneinsparungen von über 3 Rp/kWh für das Warmwasser-System, wobei die Kosteneinsparungen für die Zukunftsszenarien leicht höher sind als beim Referenzszenario. Bei zusätzlicher Heizungsunterstützung gibt es einen deutlichen Unterschied zwischen idealem und realistischem Nutzerverhalten. Aufgrund des

signifikant höheren Raumheizungsbedarf in Herbst und Frühling beim realistischen Nutzerverhalten sind die Kosteneinsparungen mit gleicher Kollektorfläche deutlich höher. Für das realistische Nutzerverhalten beträgt der Unterschied in den Gestehungskosten zwischen 1.3 und 1.5 Rp/kWh, während er beim idealen Nutzerverhalten nur zwischen 0 und 0.3 Rp/kWh beträgt. Im Vergleich zum Referenzszenario sind die Kosteneinsparungen bei den Zukunftsszenarien leicht kleiner.

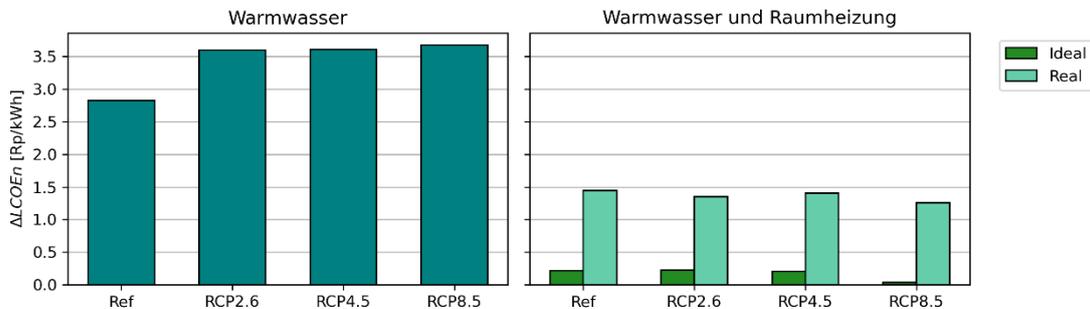


Abbildung 4: Kosteneinsparungen durch Ersetzen von Biogas mit Solarthermie. Links: Warmwasser-System; Rechts: Warmwasser kombiniert mit Raumheizung

Eine Parameterstudie bezüglich des Einflusses des Gaspreises auf den Unterschied der Gestehungskosten bei den beiden Solarthermie-Systemen ergab, dass sich das Warmwassersystem beim RCP4.5 Szenario ab einem Gaspreis von 8 Rp/kWh lohnt, das grössere System mit zusätzlicher Heizungsunterstützung lohnt sich ab einem Gaspreis von 10 Rp/kWh.

## Wirtschaftlichkeit Photovoltaik

Die Kosteneinsparungen der beiden PV-Systeme sind in Abbildung 5 dargestellt. Für die gewählten Parameter resultierten bei beiden Systemen kleinere Kosteneinsparungen beim realistischen

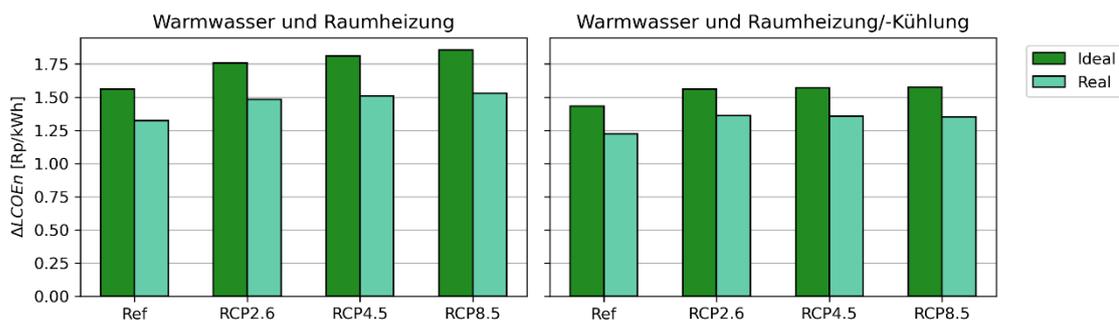


Abbildung 5: Kosteneinsparungen durch Ersetzen von Netzstrom mit PV-Strom. Links: Warmwasser-Raumheizungs-System; Rechts: Warmwasser kombiniert mit Raumheizung und Raumkühlung

Nutzerverhalten gegenüber dem idealen Nutzerverhalten. Der Unterschied in den Gestehungskosten des Warmwasser-Raumheizungs-Systems (links) liegt bei 1.3-1.5 Rp/kWh für das realistische Nutzerverhalten beziehungsweise bei 1.5-1.9 Rp/kWh beim idealen Nutzerverhalten. Wenn zusätzlich noch Raumkühlung integriert wird (rechts), sind die relativen Kosteneinsparungen tiefer als beim System ohne Raumkühlung, während die absoluten Einsparungen leicht höher sind. Der Grund für die tieferen relativen Kosteneinsparungen ist, dass

die Nutzenergie nun die Kühlenergie beinhaltet und dadurch stärker steigt als die absoluten Kosteneinsparungen. Für die Zukunftsszenarien sind die Kosteneinsparungen höher im Vergleich zum Referenzszenario bei beiden PV-Systemen.

Die Abhängigkeit der Energiegestehungskosten vom Endkunden-Strompreis und vom PV-Einspeisetarif wurde für das Szenario RCP4.5 mit realistischem Nutzerverhalten analysiert. Für die Variation des Endkunden-Strompreises wurde dabei der Einspeisetarif konstant gehalten und umgekehrt. Beim Warmwasser-Raumheizungs-System lohnt sich die PV Anlage ab einem Endkunden-Strompreis von 6.6 Rp/kWh, beim System mit zusätzlicher Raumkühlung ab 6.8 Rp/kWh (Einspeisetarif 9.0 Rp/kWh). Je höher der Einspeisetarif, desto mehr lohnt sich die PV Anlage, wobei sich die PV-Anlage für den gewählten Strompreis von 19.3 Rp/kWh auch lohnen würde, wenn der Einspeisetarif bei 0 Rp/kWh wäre.

## **Fazit**

Der Klimawandel wird deutliche Auswirkungen haben auf den Wärme- und Kältebedarf von Gebäuden. Die Veränderungen die sich dadurch für die Wirtschaftlichkeit von Photovoltaik- und Solarthermieanlagen ergeben sind jedoch relativ gering. Generell ist davon auszugehen, dass die Wirtschaftlichkeit der betrachteten Solarsysteme mit Ausnahme der solarthermischen Raumwärmeunterstützung leicht steigen wird. Für letzteres System nimmt die Wirtschaftlichkeit beim Extremszenario eines ungebremsten Klimawandels (RCP8.5) leicht ab, für die anderen Szenarien bleibt sie gleich. Einen weit deutlicheren Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit von Solarenergiesystemen hat die Annahme eines realistischen Verbrauchsprofils für die Gebäudeheizung, im Vergleich zu den bisher oft angenommenen idealisierten Annahmen. Durch realistischere Annahmen steigt die Wirtschaftlichkeit der solarthermischen Raumwärmeunterstützung deutlich. Die Wirtschaftlichkeit von photovoltaisch unterstützten Wärmepumpesystemen sinkt jedoch, wenn keine spezielle Eigenverbrauchsregelung und weder thermische noch Batteriespeicher angenommen werden. Insgesamt ist davon auszugehen, dass auch in Zukunft alle betrachteten Varianten wirtschaftlich vorteilhaft sind im Vergleich zu einer Gasheizung (Biogas/Syngas) und Netzstrombezug.

## **Grundlagen**

Einen vollständigen Bericht mit allen Simulationsresultaten und ausführlicher Beschreibung kann von der Website des SPF heruntergeladen werden: [www.spf.ch/solsimcc](http://www.spf.ch/solsimcc).