

# Webtool zur Abschätzung des Nutzungspotenzials erneuerbarer Energien in Gebäuden

Bernhard CASTELLAZZI, Stephan HAUSL und Markus BIBERACHER

Research Studios Austria, Salzburg · [bernhard.castellazzi@researchstudio.at](mailto:bernhard.castellazzi@researchstudio.at)

*Dieser Beitrag wurde durch das Programmkomitee als „reviewed paper“ angenommen.*

## Zusammenfassung

Viele europäische Städte stellen mittlerweile ihren BürgerInnen die Möglichkeit zur Verfügung, Daten über das Potenzial eines Gebäudes zur Nutzung von Solarenergie (Solarthermie oder Photovoltaik) über Web-GIS Plattformen abzurufen. Der tatsächliche Nutzen einer solchen Anlage kann aber nur eruiert werden, wenn diese nicht singulär, sondern im Verbund mit zusätzlichen Informationen, wie beispielsweise Daten über das Heizsystem, dem Energiebedarf, Strombedarfsprofilen, Einspeisetarif, Bewohneranzahl etc. kombiniert wird.

Das hier vorgestellte Webtool richtet sich an Personen, welche an der Integration erneuerbarer Energien in Gebäuden interessiert sind. Anhand von Nutzereingaben zu unterschiedlichen Gebäudeparametern und der Abfrage von Solardaten der Dachfläche können die finanziellen und ökologischen Auswirkungen von erneuerbaren Strom- und Wärmetechnologien (z. B. Photovoltaik, Solarthermie, Wärmepumpe) abgeschätzt werden. Dabei werden der Wärme- und der Strombereich im Sinne des integrativen Ansatzes kombiniert betrachtet, da zwischen diesen Bereichen auch Wechselwirkungen auftreten können.

Die Umsetzung des Webtools erfolgte im Rahmen des Central Europe Projekts „Cities on Power“ und wird von den Städten Turin, Warschau, Ravenna, Dresden und Klagenfurt übernommen.

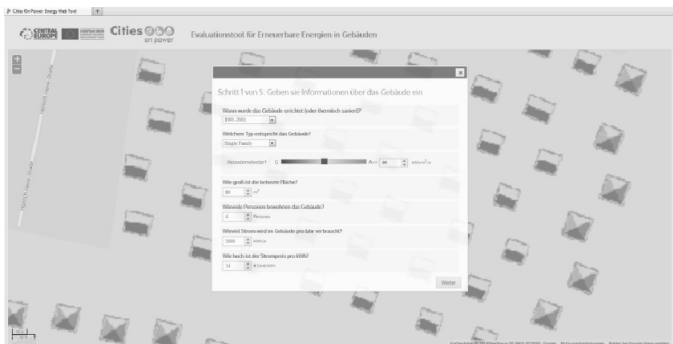
## 1 Einleitung

Im Angesicht des Klimawandels und der drohenden Knappheit von Ressourcen muss auch in Städten ein Wandel hin zu einer stärkeren Nutzung von erneuerbaren Energien vollzogen werden. Bisher wird über 70 % der benötigten Energie in den Städten verbraucht, wobei nur ein Bruchteil davon auch dort erzeugt wird. Der Einsatz von erneuerbaren Energieträgern, insbesondere von Sonne und Umgebungswärme in urbanen Räumen, verkürzt Wege, schafft Wertschöpfung und trägt wesentlich zur Versorgungssicherheit bei. Gleichzeitig kann die Bevölkerung durch Sichtbarkeit der eingesetzten Technologie sensibilisiert und ein Bewusstseinswandel in Gang gesetzt werden.

In diesem Beitrag wird dem Rechnung tragend ein interaktives, webbasiertes Analysewerkzeug (Webtool) unter Verwendung räumlich und zeitlich hochaufgelöster Solarpotenzialdaten vorgestellt, welches im Rahmen des EU-Projekts „Cities on Power“ implementiert wurde. Damit sollen BürgerInnen u. a. eine Möglichkeit erhalten, potenzielle Energieerträ-

ge aus installierten Solarkollektoren in ihren Haushalten abschätzen zu können und beispielsweise Amortisationszeiten der Investitionen zu erfahren. Die Analysemöglichkeiten des vorgestellten Webtools gehen jedoch weit über die Solarenergie hinaus, da auch andere konventionelle wie erneuerbare Energietechnologien überprüft und validiert werden können.

Es erfolgt eine verschränkte Betrachtung der Bereiche Wärme und Strom, wobei die zeitliche Übereinstimmung von Energieaufkommen und -bedarf detailliert berücksichtigt wird. Die benutzerfreundliche Oberfläche ermöglicht dabei eine zügige, leicht zugängliche, aber dennoch sehr umfassende Modellierung der Energieversorgung eines Gebäudes mit Wärme und Strom. Dabei kann der Istzustand der Energieversorgung (z. B. fossil-betriebener Heizkessel) direkt mit einer gewünschten Testkonfiguration der häuslichen Energieversorgung mit erneuerbaren Energien (Solarthermie, PV, Biomasse, Umgebungswärme etc.) verglichen werden in Bezug auf wirtschaftliche, ökologische und technische Aspekte.



**Abb. 1:**  
Darstellung des Webtools mit Solardaten im Hintergrund (www.citiesonpower.eu)

## 2 Solardaten

Ein wesentlicher Anwendungsfall der vorgestellten Webapplikation ist die Abschätzung der Auswirkungen der Installation einer Solaranlage (PV oder Solarthermie) an einer bestimmten Dachfläche eines bestehenden Gebäudes. Insbesondere in urban geprägten Siedlungen können im Tagesverlauf Perioden der Verschattung einer Dachfläche durch höhere Gebäude auftreten, womit klarerweise ein Rückgang der Leistung der Anlage verbunden ist. Die damit verbundene Form des stündlichen Leistungstagesganges ist zur Ermittlung von PV Einspeisungsmengen (nach Verschneidung mit typischen Tagesstrombedarfskurven) von Bedeutung, welche wiederum einen direkten Einfluss auf den finanziellen Nutzen der Anlage hat.

Zur Abbildung der variablen Verschattung einer Dachfläche und zur Simulation der damit verbundenen Leistungsschwankungen einer Solaranlage müssen 2,5D-Gebäudegeometriedaten analysiert und integriert werden. Die dazu benötigten Methoden werden hier jedoch nicht vorgestellt. Es werden aber die Ergebnisdaten skizziert und die weitere Verarbeitungsmethodik dieser Daten gezeigt. Zu bemerken ist dabei, dass im Rahmen des COP-Projekts je nach Partnerstadt unterschiedliche Solardatenstrukturen verarbeitet wurden. Daher wird hier beispielhaft die Berechnung des Solarpotenzials eines beliebigen Dachflächenabschnitts anhand des folgenden Datenstrukturtyps beschrieben:

## 2.1 Solardatenstruktur

Dachflächen werden hier durch geographische Punktfeatures in Form von regulären Gittern (1 m Maschengröße) abgebildet. Jedes Feature speichert neben der räumlichen Lage folgende Attribute:

- Neigung des Daches an der Position in Grad
- Exposition des Daches an der Position in Grad
- Täglicher Verlauf der Verschattung zu jedem 15. eines jeden Monats dargestellt als binäre Zeichensequenz. Jedes Zeichen entspricht je nach Position in der Sequenz der Verschattungssituation einer bestimmten Stunde des Tages.

Neben diesen räumlichen Daten werden zudem regional konstante (d. h. nicht mit den Punktfeatures gespeicherte Daten), mittlere tägliche Diffus- und Direktsolarstrahlungszeitreihen aus jedem Monat für die weitere Berechnung verwendet. Diese werden aus der PVGIS-Plattform (ŠÚRI et al. 2008) des Instituts für Energie und Transport des Joint Research Centres der Europäischen Kommission extrahiert.

## 2.2 Modellierung der Globalstrahlung

Typischerweise möchte eine Person die Nutzung eines Teiles der vorhandenen Dachfläche zur Solarenergienutzung evaluieren. Das heißt aus technischer Sicht, dass eine Abfrage der räumlichen Punktfeatures der eben erläuterten Gitterstruktur erfolgt (anhand einer Polygonverschneidung) und für diese anhand der beschriebenen Daten weitere Berechnungen erfolgen müssen. Das Ergebnis der Berechnungen sollen für jeden gewählten Punkt Zeitreihen der Globalstrahlungsleistung für alle 12 Monatsdurchschnittstage stündlich zwischen 0 h und 24 h sein.

Für einen beliebigen Monat wird hierzu folgendermaßen (1) vorgegangen:

$$IRR_{glob_h} = S_h * IRR_{dir_h} * UF_{dir_h} + IRR_{diff_h} * UF_{diff_h} \quad (1)$$

$IRR_{glob_h}$	Globalstrahlungsleistung einer mittleren Monatsstunde (Watt/m <sup>2</sup> )
$IRR_{dir_h}$	horizontale Direktstrahlungsleistung einer mittleren Monatsstunde (Watt/m <sup>2</sup> )
$IRR_{diff_h}$	horizontale Diffusstrahlungsleistung einer mittleren Monatsstunde (Watt/m <sup>2</sup> )
$UF_{diff_h}, UF_{dir_h}$	Umrechnungsfaktoren von horizontaler Einstrahlung auf die geneigte Fläche (DUFFIE & BECKMAN 1980) nach Neigung, Exposition, Stunde des Tages (h) und Tagzahl des 15. des Monats. Jeweils für diffuse und direkte Strahlung
$S_h$	Binäre Verschattung (1: keine Beschattung oder 0: Beschattung)
$h$	Stunde des Tages (0-23)

D. h., dass in verschatteten Stunden eines mittleren Monatstages nur die Diffusstrahlung zur Berechnung der Globalstrahlung herangezogen wird, ansonsten beide Solarstrahlungskomponenten addiert werden. Um den Neigungs- und Expositionswerten Rechnung zu tragen, werden separat für Diffus- und Direktstrahlung Umrechnungsfaktoren von horizontaler auf geneigte Fläche berechnet (DUFFIE & BECKMAN 1980).

Die folgende Tabelle zeigt das Prinzip der beschriebenen Berechnung für eine horizontale Fläche, d. h. ohne der Umrechnungsfaktoren UF, exemplarisch:

**Tabelle 1:** Beispielhafte Verschattungsberechnung der Globalstrahlungsleistung für eine horizontale Fläche

Stunde	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00
$IRR_{glob}$	149.5	113	120.25	206	187	149.5	71.5
$S_n$	1	0	0	1	1	1	0
$IRR_{diff}$	97.25	113	120.25	120.25	113	97.25	71.5
$IRR_{dir}$	52.25	74	85.75	85.75	74	52.25	25.75

Dieses Schema wird bei einer Berechnungsanfrage für jeden mittleren Monatstag für jeweils jedes abgefragte Punktfeature durchgeführt. Die Ergebnisse aller Punktfeatures werden in weiterer Folge zu Typtagen aggregiert, welche den stündlichen Verlauf der Leistung aller Punkte (und damit des gewählten Dachflächenabschnitts) für jeweils einen mittleren Winter-, Sommer und Übergangstag repräsentieren. Diese finalen Zeitreihen können nach weiteren Anpassungen beispielsweise mit Typtagzeitreihen des Strombedarfs überlagert werden und erlauben so u. a. die Ermittlung von PV-Einspeisemengen.

### 3 Der Gebäuderechner

Das Webtool simuliert die Energieversorgung von Gebäuden unter Berücksichtigung der Wärme- und Stromversorgung. Die gewonnenen Ergebnisse umfassen ökologische, wirtschaftliche und technische Parameter. Um den Benutzer zu unterstützen, werden für alle einzugebenden Eingangsparameter typische Werte vorgegeben. Diese können vom Nutzer geändert werden.

#### 3.1 Eingabe- und Berechnungsablauf

Der folgende Abschnitt gibt einen Überblick über die Rechnungen (Formeln 2 bis 18) und Abläufe innerhalb des Webtools.

Der grundlegende Bedienungsablauf gibt dem Nutzer zwei generelle Fragen vor: Welche Art von Gebäude und Heizungssystem liegt vor? Und wie soll die Energieversorgung in Richtung Erneuerbarer verändert werden? Berechnet wird schließlich, welche Auswirkungen diese Veränderungen im Gebäude hätten (hinsichtlich Kosten, CO<sub>2</sub>-Emissionen etc.). Damit soll ein Verständnis für die Vorgänge bei der häuslichen Energieversorgung sowie der Nutzung dezentraler erneuerbarer Energien wie etwa der Solarenergie (Solarthermie, PV), Wärmepumpen und anderer Technologien forciert werden.

#### Gebäude- und Haushaltsdaten

Für die Modellierung des Heizwärmebedarfs (HWB), des Warmwasserwärmebedarfs (WWWB) und des Strombedarfs werden Gebäude- und Haushaltsangaben, wie in Abbildung 1 angezeigt, verwendet. Es werden folgende Daten miteinbezogen:

- Baujahr des Gebäudes,
- Gebäudetyp,
- Beheizte Wohnfläche (netto) in m<sup>2</sup>, Anet.,
- Im Gebäude lebende Personen (p),
- Stromverbrauch in kWh pro Jahr, Power demand (PD),
- Strompreis in €-Cent/kWh.

Basierend auf dem Baujahr und dem Typ des Gebäudes wird ein typischer Wert für den spezifischen Heizwärmebedarf  $shd_{spec}$  in kWh/m<sup>2</sup>/a vorgegeben, der den thermischen Dämmstandard widerspiegelt. Dieser Wert wird auf einer Effizienzskala visualisiert. Die beheizte Nettowohnfläche wird über einen Faktor von 0,8 in die Bruttogeschossfläche umgerechnet, die benötigt wird, um den jährlichen Heizwärmebedarf und flächenbezogene Ergebnisse zu berechnen, die als Indikatoren für Effizienz und Nachhaltigkeit bezüglich des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen dienen. Die Angabe über im Gebäude lebende Personen ( $p$ ) wird für die Berechnung des Warmwasserwärmebedarfs benötigt, der über den spezifischen Bedarf ( $hwhd_{spec}$ ) pro Monat und pro Person ermittelt wird. Der eingegebene Jahresstrombedarf wird im weiteren Verlauf über synthetische Lastkurven in ein stündliches Lastprofil umgewandelt.

Der Wärmebedarf pro Monat wird aus HWB und WWB folgendermaßen berechnet:

$$HD_{month} = shd_{spec} * A * v_{month} + p * hwhd_{spec} \quad (2)$$

$v_{month}$  Wärmelastprofil, Anteil des monatlichen HWB am jährlichen HWB

Gesamter jährlicher Wärmebedarf, HD:

$$HD = \sum_{month} HD_{month} \quad (3)$$

### Bewertung der derzeitigen energetischen Gebäudeeigenschaften

Abhängig von der gewählten Heizungstechnologie (z. B. Ölkessel, Gaskessel) werden die derzeitigen CO<sub>2</sub>-Emissionen für die Energiebereitstellung (Wärme & Strom) des Gebäudes berechnet und flächenspezifisch in kg/m<sup>2</sup>/a angegeben<sup>1</sup>. Dies wird daraufhin auf einer Effizienz-Skala visualisiert.

$$CO2_{spec} = \left( \frac{HD}{Eff} * f_{CO2} + PD * f_{CO2,el} \right) / A \quad (4)$$

$CO2_{spec}$  Spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen der Energiebereitstellung des Gebäudes, in kg/m<sup>2</sup>/a

$HD$  Wärmebedarf, in kWh/a

$Eff$  Wirkungsgrad (Effizienz) der Heizungstechnologie

$f_{CO2}$  Spezifischer CO<sub>2</sub>-Inhalt des Energieträgers der Heizung, in kg/kWh

$PD$  Strombedarf, in kWh/a

$f_{CO2,el}$  Spezifischer CO<sub>2</sub>-Inhalt des nationalen Strommix, in kg/kWh

$A$  Bruttogeschossfläche, in m<sup>2</sup>

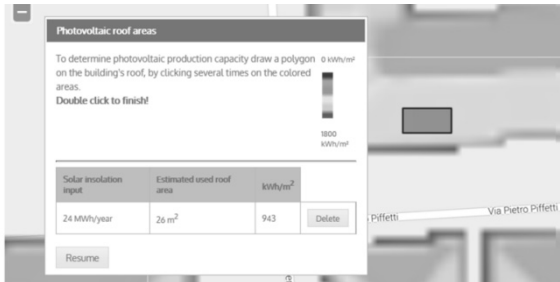
### Auswahl eines alternativen Heizungssystems

Um ermitteln zu können, wie sich ein Wechsel des Heizungssystems von nicht-erneuerbarer Energie auf erneuerbare auswirken würde, sind vom Nutzer Eingaben zu einem möglichen neuen System nötig (Systemtyp, Investitionskosten etc.). Diese Eingaben sind fakultativ, d. h. bei keiner Eingabe werden weitere Berechnungen nur mit dem zuvor definierten „konventionellen“ Heizsystem durchgeführt.

<sup>1</sup> Die Berechnung in Schritt 2 nimmt keine Solarthermie oder PV-Nutzung im derzeitigen Status an!

## Solarthermie

Zur Berechnung der Auswirkungen einer solarthermischen Anlage ist die räumliche Definition der betrachteten Dachfläche nötig. Dies geschieht im Stile einer Web-GIS Anwendung über die Zeichnung eines Polygons in der Karte. Die Polygonkoordinaten werden zur Selektion der Solardatenpunkte herangezogen und die Berechnungen werden wie unter 2.2 beschrieben unmittelbar durchgeführt. Der geschätzte Solarertrag wird daraufhin für die gewünschte Fläche angezeigt.



**Abb. 2:** Auswahl der Dachfläche zur Solarnutzung (blaues Polygon) und Anzeige der Solarstrahlungsdaten

Der Solarthermie-Ertrag wird pro Monat bestimmt:

$$EST_{month} = A_{ST} * Eff_{ST} * Irr_{month} \quad (5)$$

$EST_{month}$	Wärmeenergie der Solarthermieanlage, in kWh pro Monat
$A_{ST}$	Kollektorfläche, in $m^2$
$Eff_{ST}$	Wirkungsgrad (Effizienz) des Solarthermiesystems (inkl. Speicherung und Transport)
$Irr_{month}$	Globalstrahlung, in $kWh/m^2$ pro Monat

Die Solarenergie, die tatsächlich für die Deckung des Wärmebedarfs verwendet wird, wird folgendermaßen berechnet<sup>2</sup>:

$$EST_{month,used} = \min\{EST_{month}, HD_{month}\} \quad (6)$$

Eine analoge Berechnung wird für den monatlichen WWWB (anstatt des Wärmebedarfs) durchgeführt.

## Kombination von Heiz- und Solarthermiesystem

Diese monatlichen Werte des Solarthermieertrags werden dazu verwendet, die benötigte Wärmedeckung des primären Heizsystems zu berechnen. Das Heizsystem muss nur mehr den verbleibenden Wärmebedarf decken, was in einem geringeren Endenergieverbrauch des Heizsystems resultiert.

<sup>2</sup> Falls der monatliche Solarenergieertrag den monatlichen Wärmebedarf übertrifft, so wird die Wärmeüberproduktion nicht verwendet. Dieses Vorgehen impliziert die Verwendung kleiner bis mittlerer Wärmespeicher, jedoch keiner saisonalen Speicher.

$$EHT = \sum_{month} (HD_{month} - EST_{month}) \quad (7)$$

$$EHT_{Final} = EHT / Eff \quad (8)$$

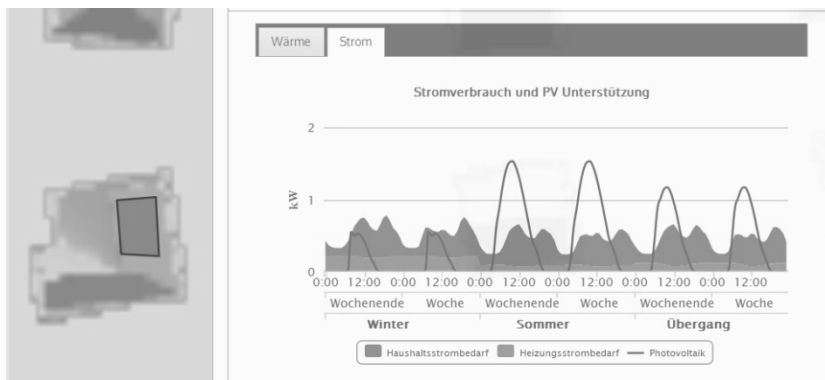
$EHT$  Wärmedeckung des Heizsystems nach Abzug der Solarthermienutzung

$EHT_{Final}$  Endenergieverbrauch des Heizsystems

### Photovoltaik

Der Vorgang zur Auswahl einer möglichen Photovoltaikfläche und die damit verbundenen Berechnungen verlaufen ähnlich zur Solarthermie, wobei zusätzlich für ökonomische Berechnungen der aktuelle Einspeisetarif für PV-Strom eingegeben wird.

Der PV-Ertrag wird mit der gleichzeitig auftretenden Stromlast stündlich verglichen (Abbildung 3), um den direkt im Gebäude verbrauchten ( $EPV_{hour,used}$ ) und den ins Stromnetz eingespeisten PV-Strom zu berechnen. Dies ist möglich, da die zugrunde liegenden Globalstrahlungsdaten mit Verschattungsdaten stündlich berechnet wurden.



**Abb. 3:** Darstellung der stündlichen PV-Erzeugung und dem simultanen Strombedarf

Wie bereits erwähnt, wird die Strommodellierung zeitlich innerhalb von 6 sog. Typtagen dargestellt. Alle stündlichen Werte (z. B.  $EPV_{hour,used}$ ) werden innerhalb des entsprechenden Typtages aufsummiert und dann mit den sog. Typtag-Faktoren (s. HAUSL & BIBERACHER 2012) multipliziert, die die Häufigkeit eines bestimmten Typtages innerhalb eines Jahres wiedergeben. Ein Sommer Werktag beispielsweise tritt etwa 84-mal innerhalb eines Jahres auf, weshalb der entsprechende Typtag-Faktor den Wert 84 aufweist.

$$EPV_{season,day,used} = \sum_{hour} EPV_{hour,used} \quad (9)$$

$$EPV_{used} = \sum_{season,day} (EPV_{season,day,used} * TD_{season,day}) \quad (10)$$

$EPV_{season,day,used}$  Im Gebäude verbrauchter PV-Strom pro Typtag

$TD_{season,day}$  Typtagfaktor

$EPV_{used}$  Im Gebäude verbrauchter PV-Strom pro Jahr

Mit diesen Werten kann im Folgenden der aus dem Netz bezogene Strom, wie auch der ins Netz eingespeiste Strom, berechnet werden:

$$GP = PD - EPV_{used} \quad (11)$$

$$FIP = EPV - EPV_{used} \quad (12)$$

*GP* Aus dem Netz bezogener Strom  
*PD* Strombedarf  
*FIP* In das Netz eingespeister PV-Strom

wobei EPV den gesamten jährlichen PV-Ertrag darstellt:

$$EPV = P_{PV} * PR * Irr_{year} \quad (13)$$

*EPV* Jährlicher PV-Ertrag  
*Irr<sub>year</sub>* Jährliche Globalstrahlung, in kWh/m<sup>2</sup>/a

### 3.2 Sonstige Ergebnisse und Berechnungen

#### Ökologische Ergebnisse

Nicht-erneuerbarer Primärenergieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen stellen wichtige Indikatoren für die Bewertung der Nachhaltigkeit dar. Diese werden für das alte (derzeitiges Heizsystem) und die neue Systemkonfiguration, je nach Benutzereingabe, berechnet. Hierfür werden drei Quellen berücksichtigt. Das Heizsystem (HT), bezogener Netzstrom (GP) und eingespeister Strom (FIP). Der Endenergieverbrauch des Heizsystems, wie oben berechnet, wird nach dem jeweiligen Energieträger berücksichtigt, während Strombezug und -einspeisung mit dem Primärenergieinhalt des nationalen Strommix beaufschlagt werden. Eingespeister PV-Strom ersetzt sozusagen Stromerzeugung im übergeordneten nationalen Stromsystem, weshalb dieser Faktor mit negativem Vorzeichen in die Bilanzen eingeht.

$$PE_{HT} = EHT_{final} * f_{PE,HT} \quad (14)$$

$$PE_{GP} = GP * f_{PE,el} \quad (15)$$

$$PE_{FIP} = -FIP * f_{PE,el} \quad (16)$$

$$PE_{total} = PE_{HT} + PE_{GP} + PE_{FIP} \quad (17)$$

*PE* Primärenergie (nicht-erneuerbar)  
*f<sub>PE</sub>* Primärenergiefaktor (nicht-erneuerbar)

Die Berechnung für die CO<sub>2</sub>-Emissionen erfolgt analog, wobei der Primärenergiefaktor durch den entsprechenden CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor ersetzt wird.

#### Ökonomische Ergebnisse

Investitions-, Betriebs- und Wartungs-, sowie Brennstoff- und Stromkosten werden für die finanziellen Berechnungen berücksichtigt. Zusätzlich werden für PV die Einnahmen aus der PV-Einspeisung miteinbezogen. Die installierte Leistung (Kapazität) des neuen Heizsystems (s. „Technische Ergebnisse“), der PV und Solarthermie wird mit den jeweiligen spezifischen Investitionskosten und Betriebs- und Wartungskosten multipliziert, um die anfallenden jährlichen Kosten zu berechnen. Für das bestehende Heizsystem werden keine Investitionskosten berücksichtigt, da die Anlage als bereits abbezahlt angenommen wird. Brennstoffverbrauch, bezogener Strom und eingespeister Strom werden mit den jeweiligen spezifischen Kosten verrechnet.



## Technische Ergebnisse

Bei den technischen Ergebnissen wird zwischen dem Wärme- und dem Strombereich unterschieden.

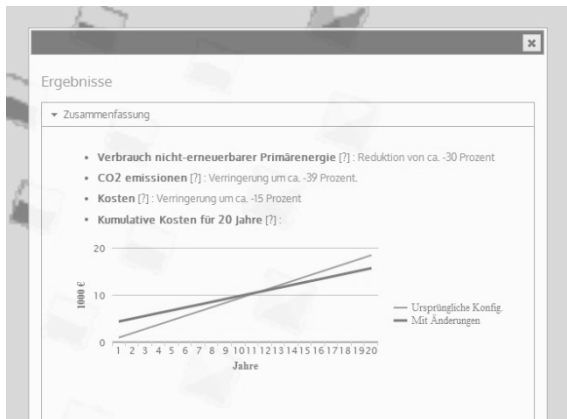
Die zu installierende Leistung des Heizsystems wird über den anfallenden Wärmebedarf und typische Volllaststunden der jeweiligen Technologie bestimmt.

$$PI = \frac{HD}{H_F} \quad (18)$$

$PI$       Installierte Leistung, in kW  
 $HD$       Wärmebedarf, wie in Schritt 1 berechnet  
 $H_F$       Volllaststunden

## Zusammenfassung Ergebnisse

Nach Abschluss der Benutzereingaben erfolgt eine sofortige Anzeige der Ergebnisse, wobei die erste Ansicht eine Zusammenfassung der wichtigsten ökologischen und ökonomischen Auswirkungen der gewählten Erneuerbaren-Energie-Technologien wiedergibt, wie in Abbildung 4 dargestellt. Ein Graph zeigt dabei die über 20 Jahre kumulierten Kosten der verglichenen Konfigurationen an und ermöglicht so eine anschauliche Einschätzung zur Rentabilität der untersuchten Maßnahmen (in Abb. 4: Amortisation nach ca. 11 Jahren).



**Abb. 4:** Anzeige der zusammengefassten Ergebnisse

## 3.3 Anmerkungen

Die integrative Betrachtung der Wärme- und Strombedarfsdeckung ist mit einigen Besonderheiten in der Modellierung verbunden, die im Folgenden angemerkt werden, um Unklarheiten zu vermeiden.

### Gekoppelte Betrachtung des Wärme- und Strombereichs mit unterschiedlichen zeitlichen Auflösungen

Die zeitlichen Auflösungen der Wärme- und Strommodellierung unterscheiden sich, wobei dennoch eine Kopplung beider Bereiche besteht, da diese sich in manchen Konstellationen

beeinflussen, wie beispielsweise bei der Nutzung der Wärmepumpe, die wiederum den Stromverbrauch erhöht. Der Wärmebereich wird in monatlicher Auflösung wiedergegeben. Der Strombereich hingegen wird in sechs repräsentativen Typtagen modelliert, welche das typische Stromlastprofil für verschiedene Jahreszeiten (Winter, Übergang, Sommer) und Tage (Werktag, Nicht-Werktag) darstellen, um innerhalb dieser Typtage eine stündliche Auflösung zu gewährleisten und prozessierbar zu machen. Diese Unterscheidung begründet sich aus den verschiedenen Besonderheiten der Energieformen Wärme und Strom, wie beschrieben in HAUSL & BIBERACHER (2012).

### **Wärmepumpe**

Falls eine Wärmepumpe für die Wärmedeckung gewählt wird, wird der entstehende Energieverbrauch (Stromverbrauch) und die entsprechenden Kosten und Emissionen dem Strombereich zugeordnet, da es für die Bewertung entscheidend ist, ob der Strombedarf der Wärmepumpe von einer eigenen PV-Anlage erzeugt wird oder nicht. Auch das zeitliche Aufkommen zwischen Bedarf und Erzeugung sind hier zu berücksichtigen. Daher wird auch der Bedarf der Wärmepumpe dem herkömmlichen Stromlastgang hinzugefügt, wobei eine typische stündliche Lastkurve der Wärmepumpe nach SWM (2010) und BDEW (2002) verwendet wird.

## **4 Conclusio**

Die vorgestellte Webapplikation ist eine Erweiterung bisheriger Ansätze zur Darstellung und Verwertung klassischer Web-GIS-Solarpotenzialkarten. Die Verknüpfung von räumlichen Solardaten in zeitlich hoher Auflösung mit synthetischen Stromlastprofilen ist hierbei ein wesentliches Feature, das eine erweiterte Sicht auf die Nutzbarkeit von Dachflächen für Solarenergie Erzeugung erlaubt. Besonders der kombinierte Einsatz von Wärmepumpen mit Photovoltaikstromerzeugung kann hiermit dargestellt werden. Dies kann einen wertvollen Beitrag zum Verständnis und zur Akzeptanz erneuerbarer Energien insbesondere bei privaten Wohnhäusern leisten.

## **Literatur**

- BDEW (2002), Lastprofile unterbrechbare Verbrauchseinrichtungen.  
[http://www.bdew.de/bdew.nsf/id/DE\\_Lastprofile\\_unterbrechbare\\_Verbrauchseinrichtungen?open](http://www.bdew.de/bdew.nsf/id/DE_Lastprofile_unterbrechbare_Verbrauchseinrichtungen?open), (30.01.2014).
- DUFFIE, J. & BECKMAN, W. (1980), Solar engineering of thermal processes.
- HAUSL, S. & BIBERACHER, M. (2012), Räumliche Aspekte in der regionalen Energiesystemmodellierung. Symposium für Angewandte Geoinformatik 2012 (AGIT 2012).
- ŠÚRI, M., HULD, T., CEBECAUER, T. & DUNLOP, E. D. (2008), Geographic Aspects of Photovoltaics in Europe: Contribution of the PVGIS Web Site. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 1, 1, 34-41.
- SWM (2010), Stadtwerke München, Nominiertes Lastprofil Wärmepumpe.  
<http://www.swm-infrastruktur.de/strom/netzzugang/bedingungen/waermepumpe.html>  
(30.01.2014).