

# Energiezonenplanung Plus (EZP+): Open-Source-Tool für die Planung von Fernwärmenetzen anhand von hoch aufgelösten räumlich-zeitlichen Daten

## *Energy Planning Zones Plus (EZP+): Open-source Tool for Planning District Heating Networks Using High Resolution Spatiotemporal Data*

Luis Ramirez Camargo<sup>1,2</sup>, Wolfgang Dorner<sup>1</sup>, Paul Rauch<sup>1</sup>, Gernot Stoglehner<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Technische Hochschule Deggendorf · luis.ramirez-camargo@th-deg.de

<sup>2</sup>Institut für Raumplanung, ländliche Neuordnung, Universität für Bodenkultur, Wien

**Zusammenfassung:** Die Planung der Wärmeversorgung eines Ortsteils oder einer Stadt bringt Herausforderungen, die mithilfe eines GIS gelöst werden können. In der Literatur finden sich dabei zwei Themen, die bis dato separat betrachtet wurden: die räumliche Gestaltung eines Fernwärmenetzes (FWN) sowie die Nutzung von Solarthermie-Anlagen zur Versorgung von bestehende FWN. Der präsentierte Ansatz integriert diese beiden Vorgehensweisen. Aufbauend auf dem Konzept der Energiezonenplanung wird ein GIS-gestützter Planungsansatz vorgestellt, der die Potenziale und Nutzungssituation der Solarthermie auf Dachflächen bei der Planung eines FWNs einbezieht. Das System wurde als QGIS-Plug-in realisiert und wird mit Probedaten einer österreichischen Gemeinde getestet.

**Schlüsselwörter:** Räumlich-zeitliche Modellierung, erneuerbare Energien, Fernwärmenetze, QGIS, Energiezonenplanung

**Abstract:** *The planning of heat supply systems for districts and cities is a challenge that can be addressed with the aid of a GIS. In the scientific literature there are two topics that have been handled separately so far: the planning of a district heating network (DHN) and the use of solar thermal systems to supply heat for already operating DHNs. In this paper a GIS-based planning approach that integrates these two procedures is presented. This is based on the energy planning zones concept and incorporates the consideration of the current and potential use of roof-top solar thermal systems in the planning of DHNs. The approach has been implemented as a QGIS plug-in and was tested with trial data from an Austrian municipality.*

**Keywords:** *Spatiotemporal modelling, renewable energies, district heating, QGIS, Energiezonenplanung*

## 1 Einleitung

Die Betrachtung des räumlichen Aspektes spielt eine fundamentale Rolle in der Planung von Fernwärmenetzen (FWN). FWN sind eine Basis für effiziente und CO<sub>2</sub>-arme Wärmeversorgungssysteme, deren Wirtschaftlichkeit stark von der räumlichen Verteilung der Nachfrage abhängt. Eine hohe Wärmebedarfsdichte per Längeneinheit eines FWNs ist eine wesentliche Voraussetzung für die Realisierbarkeit und den wirtschaftlichen Betrieb. Die Bestimmung dieses Indikators ist jedoch nicht trivial und wird in der wissenschaftlichen Literatur umfassend untersucht. Mithilfe von Geoinformationssystem (GIS)-basierten Verfahren werden sogenannte „Wärmebedarfskataster“ erstellt, mit deren Hilfe Gebiete mit hohem Wärmebedarf

in einem Ortsteil oder einer Stadt identifiziert werden können. Etablierte Verfahren für die Generierung dieser Kataster in Abhängigkeit von der Datenlage können z. B. in Ascione et al. (2013) und BSTMUV et al. (2011) gefunden werden. Im Allgemeinen werden Energiebedarfskennzahlen (EBK) pro Gebäude/Siedlung mit georeferenzierten Informationen der Nutzung und Geometrie von Gebäuden oder Siedlungen verschnitten. Die EBKs werden aus Messungen, Gebäudetypologien oder aus physikalischen Modellen gewonnen. In der Regel werden auch EBKs unterschiedlicher Szenarien von Gebäudesanierungsmaßnahmen berücksichtigt (vgl. Delmastro et al., 2015). Auf dieser Basis können schließlich mögliche FWN-Verläufe geplant, verglichen und bewertet werden (vgl. Girardin et al., 2010; Stoeglehner et al., 2011).

Die Planung von FWN, die mit Wärme aus Solarthermie und Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) versorgt werden, erfordert nicht nur Informationen über die räumliche Verteilung der Nachfrage, sondern auch über ihren zeitlichen Verlauf. Solarthermieanlagen können effizient Solarstrahlung in nutzbare Wärme umwandeln, Sie können aber nicht nach Bedarf gesteuert werden und ihr Beitrag zur Deckung der Nachfrage hängt von der Gleichzeitigkeit von Ressourcenverfügbarkeit und Nachfrage ab. Dahingegen können KWK-Anlagen gesteuert werden. Deren Auslegung und effizienter Betrieb können nur geplant werden, wenn genaue Informationen über die Nachfrage vorliegen.

Zahlreiche Ansätze zur optimalen Integration von Solarthermie- und KWK in bestehende FWN unter Berücksichtigung des zeitlichen Verlaufs der Wärmenachfrage können in der wissenschaftlichen Literatur gefunden werden. Elci et al. (2015) und Wang et al. (2015) evaluieren die Wirtschaftlichkeit von unterschiedlichen Systemkonfigurationen (nur KWK, KWK und Solarthermie, nur Solarthermie) für die Versorgung von FWN. Furbo et al. (2015) untersuchten die Nutzung großer zentraler Solarthermieanlagen für die Versorgung von FWN und Trier (2015) präsentierte, wie eine solche Anlage selbst unter den klimatischen Bedingungen Dänemarks 70 % der jährlichen Nachfrage eines FWN decken kann. Hassine & Eicker (2014) bewerteten, wie dezentrale Solarthermieanlagen in FWN integriert werden können und Carpaneto et al. (2015) entwickelten ein Optimierungsmodell auf Basis von wirtschaftlichen Indikatoren, die sowohl Solarthermieanlagen als auch Wärmespeicher für die Integration in FWN berücksichtigen. Die genannten Ansätze betrachten allerdings die räumliche Gestaltung der FWN nicht und können nur teilweise für die Planung von neuen Solarthermie gestützten FWN angewendet werden, da der Einfluss der Errichtung einzelner Solarthermieanlagen auf die Wärmebelegungsdichte nicht berücksichtigt werden kann.

Dem vorliegenden Vorfahren liegt die Überlegung zugrunde, die Planung der Solarthermie und die Versorgung über ein Wärmenetz aus einem zentralen (Biomasse-)Blockheizkraftwerk in einem GIS-gestützten Instrument zu kombinieren. Dieses verwendet als Grundstein das Konzept der Energiezonenplanung (EZP) (Stöglehner et al., 2011) und bezieht räumlich-zeitlich hoch aufgelöste Daten von Wärmebedarf und Solarstrahlung ein. Die sogenannte Energiezonenplanung-Plus (EZP+) erlaubt die interaktive Planung von FWN auf Basis von Indikatoren wie der Wärmebelegungsdichte, energetischer Netzverluste, erwartete Lastprofile und Anzahl der Betriebsstunden unter Berücksichtigung existierender und potenzieller Solarthermieanlagen sowie von möglichen Sanierungsszenarien des Gebäudebestands einer bestimmten Siedlung oder Gemeinde.

Im Weiteren wird einführend die Energiezonenplanung als zugrunde liegender Planungsansatz diskutiert und darauf aufbauend das Konzept und die Methodik des EZP+ Planungstools

entwickelt. Daten einer fiktiven Siedlung auf Basis von Daten der Gemeinde Eggenburg in Niederösterreich liefern das Planungsbeispiel, das herangezogen wird, um ein QGIS-Plug-in als konkrete Implementierung des methodischen Ansatzes zu testen.

## 2 Energiezonenplanung-Plus (EZP+)

Das Konzept der Energiezonenplanung als räumliches Planungsinstrument in Verbindung mit GIS wurde durch Stöglehner et al. (2011, 163) eingeführt. Dies basiert auf dem Ansatz, Energieverbrauchsdaten adressgenau zu ermitteln und damit auch die genaue räumliche Verteilung für die weiterführende Planung sowohl auf Einzelobjektebene (z. B. Maßnahmen zur Energieeffizienz) als auch auf Ebene zusammenhängender Quartiere zu betrachten und zu analysieren. Neben einer räumlichen Analyse- und Planungsmethodik wurde ein ArcGIS-basiertes Plug-in als Tool entwickelt.

Berücksichtigt die EZP rein die Wärmeversorgung und Schaffung einer Grundlage für die Konzeption eines Versorgungsnetzes mit der Einbindung zentraler Blockheizkraftwerke oder Abwärmequellen, so fehlen in der Praxis oftmals Konzepte und Hilfsmittel, um die Wärmeversorgung durch Solarthermie zu berücksichtigen (Bestandsanlagen und verfügbare Potenziale auf Dachflächen) und damit deren Potenziale und Beitrag auch in der Planung eines FWNs zu betrachten. Zwar wurde von Schroll (2015) das Thema Solarthermie aufgegriffen, allerdings nur auf Basis von Jahresenergiebilanzen. Energiezonenplanung Plus als konzeptioneller räumlicher Planungsansatz und GIS basiertes Planungstool greift deshalb die Vorarbeiten von Stöglehner et al. (2011) und Schroll (2015) auf. Es erweitert diese einerseits bezüglich der Nutzung von Dachflächen für Solarthermie und Photovoltaik und bei der Integration der zeitlich hoch aufgelösten Betrachtung von Energienachfrage und -erzeugung andererseits. Weiterhin, wird das EZP+ als Open-Source-Anwendung auf Grundlage von QGIS realisiert und damit wird, im Gegenteil zum originalen EZP, die freie Zugänglichkeit und Nutzung der Software und des Quellcodes gewährleistet


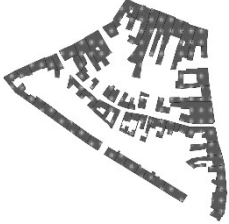
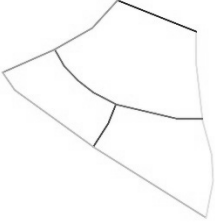

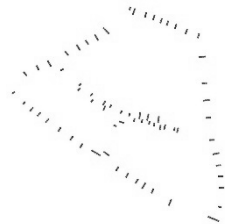

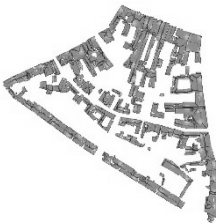


### 2.1 Notwendige Daten und Aufbau

Grundlagen stellen wie in der EZP, georeferenzierte adressgenaue Energieverbrauchsdaten des Gebäudebestands im Ist-Zustand sowie für zwei Unterschiedliche thermische Sanierungsszenarien dar. In der EZP+ werden allerdings nicht jährliche Kennwerte, sondern zeitlich hoch aufgelöste Wärmeverbrauchsdaten angewendet. Solche Daten können mithilfe von urbanen Energiemodellen gewonnen werden. Diese Modelle kombinieren in der Regel georeferenzierte Informationen der Nutzung, Geometrie und Bauqualität von Gebäuden mit physikalischen Modellen von Gebäuden, die den Wärmebedarf in hoher zeitlicher Auflösung schätzen können (Reinhart & Cerezo Davila, 2016).

Der vollständige Eingangsdatensatz der EZP wird auch in der EZP+ benötigt. Eingangsdaten bzw. Layer sind zum einen die Grundstücke (Tabelle 1a) und die Grundrisse der Gebäude mit Wärmebedarf (Tabelle 1b) in Verbindung mit den Straßenzügen und Adressdaten (Tabelle 1d). Als Planungsgrundlage dienen Straßenzüge für die Ableitung des Wärmenetzes (Tabelle 1c) sowie Adressen und Grundstücke für die Ermittlung der Hausanschlüsse des Wärmenetzes (Tabelle 1e). Zusätzliche Daten sind zum einen Grundrisse der Gebäude, die für PV-(Tabelle 1f) und Solarthermieanlagen (Tabelle 1h) geeignet sind, zum zweiten geo-

referenzierte Vektordaten der Dachteile, die die potenziellen Flächen für den Ausbau von PV- (Tabelle 1g) und Solarthermie- (Tabelle 1i) Anlagen beschreiben, und zum dritten die hoch aufgelösten Zeitreihen der Solareinstrahlung, die auf jeder einzelnen dieser Flächen in einem typischen Jahr erwartet wird. Diese Daten können, je nach Verfügbarkeit von Daten, Software Lizenzen und Rechenkapazitäten mithilfe von den Verfahren in Jakubiec & Reinhardt (2013) oder Ramirez Camargo et al. (2015) gewonnen werden.

**Tabelle 1:** Notwendige Layer und Attribute

<b>a) Parcels</b> (Parzellen)	<b>b) Heat energy need</b> (Wärmebedarf)	<b>c) District heating network</b> (Fernwärmenetz)
		
sub, belegung	buildings, sub, gesamt, zgesamt_20, zgesamt_50	sub, length
<b>d) Addressess</b> (Adressen)	<b>e) Network building links</b> (Hausanschlüsse)	<b>f) PV buildings</b> (PV Gebaeude)
		
Sub, buildings	sub, buildings, length	buildings, build_area, grund_id, haushalte
<b>g) PV roofs</b> (PV Daecher)	<b>h) Solar thermal buildings</b> (Solarthermie Gebaeude)	<b>i) Solar thermal roofs</b> (Solarthermie Daecher)
		
roof_id, buildings, grund_id, areas, slope, aspectcode	buildings, build_area, grund_id, haushalte	roof_id, grund_id, buildings areas, slope, aspectcode

Die Attribute der Layer entsprechen im Wesentlichen denen, die auch bei der EZP erforderlich waren, und werden in Tabelle 2 beschrieben. Unterschiede gibt es bei „Gesamt“, „ZGesamt\_20“ und „ZGesamt\_50“, die im Fall der EZP+ keine fixen vorgegebenen Werte sind. Diese werden jedes Mal in Abhängigkeit der Umsetzung von Solarthermieanlagen neu berechnet. Weiterhin, wurden „haushalte“, „roof\_id“ und „areas“, nicht in der EZP benötigt, sind aber Bestandteil der EZP+, um die PV und Solarthermiepotenziale zu berechnen. „slope“ und „aspectcode“ sind optionale Felder, die Informationen über die geometrischen Merkmale der potenziellen PV- und Solarthermieanlagen beinhalten.

Energieerzeugungspotenziale von PV- und Solarthermieanlagen werden jeweils nach Gleichungen in Ramirez Camargo et al. (2015) und Carpaneto et al. (2015) berechnet. Die notwendigen Eingangsdaten sind zum einen die Solarstrahlungszeitreihen der potenziellen Flächen sowie Temperaturzeitreihen und zum anderen die technischen Parameter der Anlagen. Falls vorhanden, können auch Stromverbrauchsdaten der Gebäude berücksichtigt werden.

**Tabelle 2:** Beschreibung der Attribute

Attribute	Beschreibung
Sub (Integer)	ID der Sub
Belegung (Double)	Wärmebelegungsdichte
buildings (Integer)	ID der Gebäude
Gesamt (Double)	Wärmebedarf der Ist-Gebäude
ZGesamt_20 (Double)	Wärmebedarf der Gebäude mit Standardsanierung
ZGesamt_50 (Double)	Wärmebedarf der Gebäude mit fortgeschrittener Sanierung
build_area (Double)	Gebäudefläche in Meter
grund_id (Integer)	ID der Grundstücke
haushalte (Integer)	Anzahl der Haushalte
Length (Double)[Hausanschlusse]	Länge der Hausanschlüsse in Meter
Length (Double)[Fernwärmenetz]	Länge der Fernwärmenetzteile(Sub) in Meter
roof_id (Integer)	ID der Dachteilflächen
areas (Double)	Fläche der Dachteilflächen in Quadratmeter
slope (Double)	Neigung der Dachteilflächen in Grad
aspectcode (Integer)	Ausrichtung der Dachteilflächen

Die Software EZP+ wurde als Plug-in für die Software QGIS entwickelt. Es ist ein Python-basiertes Plug-in, das seine Daten in einer lokalen Datenbank (SQLite) hinterlegt und unter Verwendung von zahlreichen mathematisch-wissenschaftlichen Python-Bibliotheken (z. B. Numpy und pandas) einen numerischen Ansatz zur Analyse zur Verfügung stellt. Dieser wird allerdings durch eine strukturierte grafische Benutzerführung sowie den Einsatz von etablierten GIS-Datenformaten und Datenquellen vor dem Nutzer weitestgehend verborgen. Im Gegensatz zu anderen Methoden (z. B. Fonseca et al., 2016) unterscheidet sich EZP+ dabei einerseits durch den integrierten Einsatz GIS-gestützter Analyseverfahren für Wärmebedarf, Wärmenetz, Solarthermie und Photovoltaik, als auch den Aspekt, dass GIS nicht als reine Visualisierung eingesetzt wird. Für Planungszwecke sind Funktionen und Methoden vorgesehen, die GIS-gestützte Interaktion zwischen Anwender und System erlauben.

## 2.2 Benutzeroberfläche und Nutzung

In einem ersten Schritt werden alle Layer in QGIS hinzugefügt und im EZP+ Plug-in registriert (siehe Abb. 1). Hinzu, werden die technische Parameter der potenziellen Anlagen sowie die maximale erwünschte Größe (in kWp für PV-Anlagen und in m<sup>2</sup> für die Solarthermieanlagen) entweder aus den Defaults übernommen oder über die jeweiligen Felder definiert. Falls keine Stromverbrauchsdaten vorhanden sind, kann der Anwender den Stromverbrauch pro Haushalt/Geschäft definieren und mithilfe von Standardlastprofilen erzeugt das Plug-in die benötigten Strombedarfszeitreihen pro Gebäude.

Nach der Bestätigung der vollständigen Eingabe der Daten kann der Plug-in-Anwender die Gebäude auswählen, die mit solarthermischen und Photovoltaik-Anlagen belegt werden sollen. Hierbei ermittelt das Plug-in, welche der Flächen des Dachs jedes einzelnen gewählten Gebäudes am meisten Solarstrahlung im Jahr bekommen und berechnet für diese die photovoltaische oder solarthermische Energieerzeugung als Zeitreihe. Sollte die gewählte Fläche größer als die maximal gewünschte Größe der Anlage sein, begrenzt sich das Energieerzeugungspotenzial in der weiteren Berechnung auf die gewünschte Anlagengröße. Sollte allerdings die gewählte Fläche kleiner als die gewünschte Anlagengröße sein, sucht das Plug-in weiter in den übrigen Flächen des Daches, bis die gesamte gewünschte Anlagengröße untergebracht werden kann. Das Plug-in dokumentiert auch, welche Flächen von einer bestimmten Anlage belegt sind und berücksichtigt diese nicht mehr für den Aufbau von weiteren Anlagen. Abschließend werden pro Gebäude die stündlichen Ertragswerte der Solarthermie ermittelt, die dann mit den Bedarfswerten aller drei Sanierungsszenarien abgeglichen werden. Die Zeitreihe des Wärmebedarfs jedes Gebäudes wird einerseits aufsummiert und in den Attributen „Gesamt“, „ZGesamt\_20“ und „ZGesamt\_50“ gespeichert und andererseits zwischengespeichert damit das stündliche Wärmelastprofil der FWN berechnet werden kann. Hinzu, werden auch die stündlichen Ertragswerte der PV-Anlagen pro Gebäude ermittelt und mit dem Strombedarf abgeglichen. Die Zeitreihe der übrigen Stromnachfrage wird ebenfalls zwischengespeichert und bildet zusammen mit dem Wärmelastprofil die Basis zur Bestimmung des Betriebsprofils eines Blockheizkraftwerks.

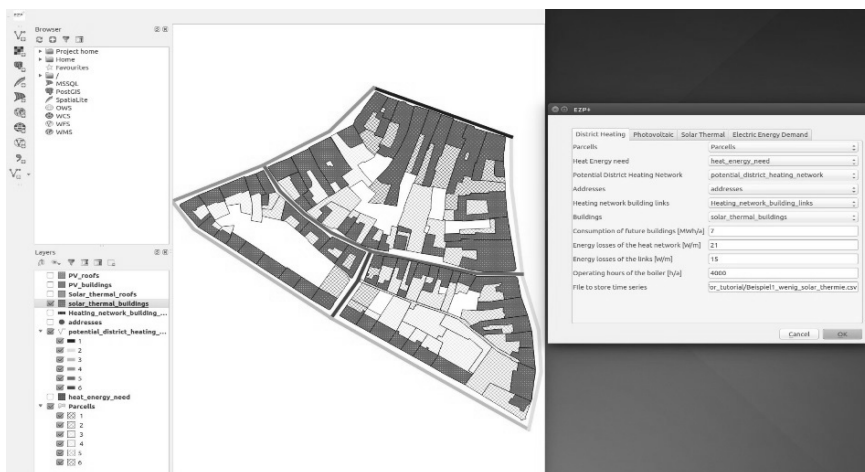


Abb. 1: EZP+ Dateneingabe

Nun kann, basierend auf dem EZP-Konzept das FWN konzipiert werden. Hierzu werden vom System für das Straßennetz Leitungsstränge vorgeschlagen und von jedem Gebäudeschwerpunkt aus die Hausanschlussleitungen ermittelt. Diese können vom Anwender interaktiv durch Auswahl zu einem oder mehreren Leitungssystemen kombiniert werden. Pro Leitungssystem werden nun stündlicher Wärmebedarf, Gesamtwärmebedarf und Wärmebedarfsdichte sowie die Verluste der Stränge in Abhängigkeit von Länge, Verzweigungen und Hausanschlüssen ermittelt.

### 3 Anwendungsbeispiel

Methodik und Funktionsweise des Plug-ins werden anhand von Daten einer fiktiven Siedlung validiert. Die Siedlung wurde auf Basis von Daten der Gemeinde Eggenburg in Niederösterreich konzipiert und besteht aus 91 Gebäuden, die in einem Gebiet von 250 m × 300 m verortet sind. Die Geodaten inkl. digitalem Gebäudekataster und digitalem Oberflächenmodell wurden von der Gemeinde zur Verfügung gestellt. Das urbane Energiemodell nach Ramirez Camargo (2012) wurde angepasst und angewendet, um den Wärme- und Warmwasserbedarf der Gebäude zu berechnen. Die notwendigen Inputdaten wurden aus den österreichischen Gebäudetypologien (Amtmann & Altmann-Mavaddat, 2014), dem österreichischen Wohnungs- und Gebäuderegister und aus einem meteorologischen Testreferenzjahr für Eggenburg generiert, das bei der österreichischen Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik erzeugt worden ist. Im Gegenteil zum ursprünglichen Modell von Ramirez Camargo (2012) wurden Standardlastprofile und kein stochastisches Modell für die Berechnung der internen Wärmegewinne eines Gebäudes angewendet. Weiterhin wurde das Verfahren von Ramirez Camargo et al. (2015) benutzt, um geeignete Flächen für PV-Anlagen zu identifizieren sowie um die entsprechenden Solarstrahlungszeitreihen zu berechnen. Solarstrahlungszeitreihen wurde auch für die Wände der Gebäude kalkuliert, um standortabhängige Solargewinne im urbanen Energiemodell zu berücksichtigen.

Um die Funktionsweise des Systems zu validieren, werden für die Siedlung zwei unterschiedliche FWN gebildet. Hierbei wurde in einem FWN mit zwei unterschiedlichen Belegungen der Dächer mit Solarthermie gearbeitet (Beispiel A – alle Gebäude mit Solarthermie-Anlagen und Beispiel B – nur eine Solarthermie Anlage pro Straßenzug) und in dem zweiten, welches aus allen übrigen Netzteilen besteht, wurde komplett auf Solarthermieanlagen verzichtet (Beispiel C – Alternative FWN), um einen Vergleich zwischen Teilnetzen und Nutzungsszenarien herbeizuführen. Für alle Szenarien wurden drei Sanierungsszenarien berücksichtigt.

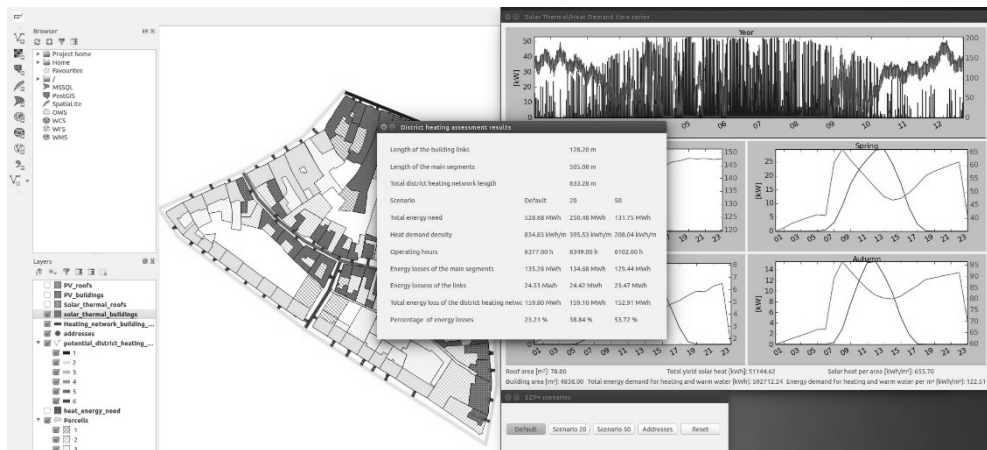
### 4 Ergebnisse

Die Ergebnisse der FWN-Beispiele (inkl. Sanierungsszenarien) werden in der Tabelle 3 zusammengefasst und ein Screenshot des Szenario A wird in Abbildung 2 präsentiert.

**Tabelle 3:** Ergebnisse der Testbeispiele

Indikator	Beispiel A Ist/Z20/Z50	Beispiel B Ist/Z20/Z50	Beispiel C Ist/Z20/Z50
Anzahl angebundene Gebäude-Haushalte	22-39	22-39	34-54
Netzlänge (m)	633	633	785
Restwärmebedarf (MWh)	528/250/131	570/292/173	1405/511/328
Wärmebelegungs-dichte (kWh/m)	834/395/208	901/461/274	1788/651/417
Betriebsstunden (h)	6377/6349/6102	7120/7107/7037	7538/7522/7442
Netzverluste in %	23/38/53	23/37/50	14/31/40
Solarthermie Energieerzeugung (MWh)	51	6	0

Das Szenario C hat die besten Bedingungen für den Ausbau eines FWNs. In dem Fall bindet ein Netz, das nur 152 m länger ist als in Szenarien A und B, 30 % mehr Gebäude und Haushalte ein. Das impliziert einen hohen Gesamtwärmebedarf und eine hohe Wärmebelegungs-dichte, was wiederum in eine hohe Anzahl an Betriebsstunden für die Wärmequelle und niedrige Netzverluste mündet. Zusätzlich erlaubt der Vergleich zwischen Beispiel A und Beispiel B die Bewertung des Einflusses des Ausbaus der Solarthermieanlagen und der Gebäudesanierung auf die Machbarkeit eines FWNs. Eine Standardsanierung (Z20) und zwei Quadratmeter Solarthermieanlagen pro Haushalt reichen bereits, um die Wärmebelegungs-dichte um 45 % zu reduzieren. Außerdem genügt die relativ niedrige Energieerzeugung der Solarthermieanlagen, um den Sommerwärmebedarf von ca. 800 Stunden zu decken. Damit verringern sich die Betriebsstunden der Wärmeversorgungsanlage signifikant.

**Abb. 2:** Screenshot der Ergebnisse des Beispiels A



## 5 Fazit

Die auf dem Energiezonenplan entwickelte Open-Source-Anwendung macht ein interaktives GIS-gestütztes System für Planer verfügbar, das – einfach in der Anwendung – einen integrierten Ansatz zur Planung eines Wärmenetzes bietet sowie dabei die Berücksichtigung von solarthermischen Anlagen im Bestand bzw. die Potenziale verfügbarer Dachflächen für Solarthermie und PV erlaubt. Für die Dachflächen war damit das Ziel erreicht, eine wirtschaftlich-technische optimierte Auslegung der Systeme betrachten zu können, die mit einem hohen Automatisierungsgrad des Verfahrens für den Anwender Freiheitsgrade in der Entscheidung bietet. Im Wärmenetz sollten Leitungsstränge für das vorhandene Straßennetz untersucht werden und durch interaktive Auswahl unterschiedliche Strangkombinationen analysierbar gemacht werden. Durch die Koppelung von Wärmenetzplanung in Verbindung mit der Analyse der Solarthermie sowie Abgleich mit den Wärmebedarfen liefert das Modell auch die Dispatch-/Betriebsprofile für die Auslegung eines Blockheizkraftwerks zur Wärme- und ggf. auch Stromversorgung. Auch Sanierungsansätze für Gebäude und deren Berücksichtigung bei der Planung der Wärmeversorgung können herangezogen und damit mitbewertet werden.

Die Fallstudie in Verbindung mit der vorgestellten Methodik zeigt, dass ein GIS-gestützter Ansatz einer Energiezonenplanung sowohl solarthermische als auch Wärmenetze und Photovoltaik berücksichtigen kann und damit GIS als Instrument mehr leisten kann, als die Visualisierung von Daten, sondern als interaktives Planungs- und Analysetool eingesetzt werden kann. Mittels der Fallstudie konnte auch gezeigt werden, welchen Einfluss der Ausbau von Solarthermieanlagen und Sanierungsmaßnahmen auf übergeordnete Planungen eines FWN haben können.

In der vorgeschlagenen Lösung wurde an einigen Stellen auf die Nutzung automatisierter Verfahren verzichtet und ein manuelles Auswahlverfahren durch den Anwender zugrunde gelegt. So erfolgt die Auswahl der Dachflächen für die Belegung durch PV und Solarthermie durch den Anwender, um einerseits zu berücksichtigen, dass Dachflächen bereits genutzt werden und damit in der Systemplanung zu berücksichtigen sind und andererseits das Hintergrundwissen des Planers hinsichtlich der Bereitschaft der GebäudeeigentümerInnen zur Installation solcher Anlagen einfließen kann. Auch bei der Planung des Nahwärmenetzes wurde auf Verfahren der automatisierten und optimierten Planung des Netzes durch Algorithmen verzichtet. Die Automation dieser Verfahren bzw. die Einbindung bekannter Verfahren hierzu (z. B. Fonseca et al., 2016) wären nächste Schritt in der Weiterentwicklung des Tools, damit dieses auch im Vorfeld Empfehlungen zur Gestaltung eines optimalen Wärmeversorgungssystems anbieten kann. Um zu einem integrierten Planungsansatz auch unter besserer Berücksichtigung der PV-Potenziale in Verbindung mit Batteriespeichern zu gelangen, könnten auch Verfahren zur Konzeption und Optimierung von PV-Batteriespeicher-Systemen, wie von Ramirez Camargo et al. (2015) entwickelt und beschrieben, einbezogen werden.

## Literatur

- Amtmann, M., & Altmann-Mavaddat, N. (2014). *Eine Typologie Österreichischer Wohngebäude*. Vienna, Austria: Austrian Energy Agency. Retrieved Mar 20, 2015, from [http://episcopo.eu/fileadmin/tabula/public/docs/brochure/AT\\_TABULA\\_TypologyBrochure\\_AEA.pdf](http://episcopo.eu/fileadmin/tabula/public/docs/brochure/AT_TABULA_TypologyBrochure_AEA.pdf).
- Ascione, F., De Masi, R. F., de Rossi, F., Fistola, R., Sasso, M., & Vanoli, G. P. (2013). Analysis and diagnosis of the energy performance of buildings and districts: Methodology, validation and development of Urban Energy Maps. *Cities*, 35, 270–283. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2013.04.012>.
- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit, Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie, & Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern. (2011). *Leitfaden Energienutzungsplan*. Retrieved Apr 18, 2012, from [http://www.stmi.bayern.de/imperia/md/content/stmi/bauen/rechtundtechnikundbauplanung/\\_staedtebau/veroeffentlichungen/oeko/leitfaden\\_enp.pdf](http://www.stmi.bayern.de/imperia/md/content/stmi/bauen/rechtundtechnikundbauplanung/_staedtebau/veroeffentlichungen/oeko/leitfaden_enp.pdf).
- Carpaneto, E., Lazzeroni, P., & Repetto, M. (2015). Optimal integration of solar energy in a district heating network. *Renewable Energy*, 75, 714–721. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.10.055>.
- Delmastro, C., Mutani, G., & Schranz, L. (2015). The evaluation of buildings energy consumption and the optimization of district heating networks: a GIS-based model. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 1–9. <https://doi.org/10.1007/s40095-015-0161-5>.
- Elci, M., Oliva, A., Herkel, S., Klein, K., & Ripka, A. (2015). Grid-interactivity of a Solar Combined Heat and Power District Heating System. *Energy Procedia*, 70, 560–567. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.02.161>.
- Fonseca, J. A., Nguyen, T.-A., Schlueter, A., & Marechal, F. (2016). City Energy Analyst (CEA): Integrated framework for analysis and optimization of building energy systems in neighborhoods and city districts. *Energy and Buildings*, 113, 202–226. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.11.055>.
- Furbo, S., Fan, J., Perers, B., Kong, W., Trier, D., & From, N. (2015). Testing, Development and Demonstration of Large Scale Solar District Heating Systems. *Energy Procedia*, 70, 568–573. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.02.162>.
- Girardin, L., Marechal, F., Dubuis, M., Calame-Darbellay, N., & Favrat, D. (2010). EnerGis: A geographical information based system for the evaluation of integrated energy conversion systems in urban areas. *Energy*, 35(2), 830–840. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.08.018>.
- Hassine, I. B., & Eicker, U. (2014). Control Aspects of Decentralized Solar Thermal Integration into District Heating Networks. *Energy Procedia*, 48, 1055–1064. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.02.120>.
- Jakubiec, J. A., & Reinhart, C. F. (2013). A method for predicting city-wide electricity gains from photovoltaic panels based on LiDAR and GIS data combined with hourly Daysim simulations. *Solar Energy*, 93, 127–143. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.03.022>.
- Ramirez Camargo, L. (2012). *A GIS-Based Method for Predicting Hourly Domestic Energy Need for Space Conditioning and Water Heating of Districts and Municipalities*. Retrieved Feb 27, 2015, from [https://zidapps.boku.ac.at/abstracts/download.php?dataset\\_id=10859&property\\_id=107](https://zidapps.boku.ac.at/abstracts/download.php?dataset_id=10859&property_id=107).

- Ramirez Camargo, L., Zink, R., Dorner, W., & Stoeglehner, G. (2015). Spatio-temporal modeling of roof-top photovoltaic panels for improved technical potential assessment and electricity peak load offsetting at the municipal scale. *Computers, Environment and Urban Systems*, 52, 58–69. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2015.03.002>.
- Reinhart, C. F., & Cerezo Davila, C. (2016). Urban building energy modeling – A review of a nascent field. *Building and Environment*, 97, 196–202. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.12.001>.
- Schroll, K. (2015). Erweiterte Energiezonenplanung als Grundlage der kommunalen Energieraumplanung – dargestellt am Beispiel der Marktgemeinde Yspertal (Niederösterreich). *UVP Report*, 29(2), 60–65.
- Stöglehner, G., Narodoslowsky, M., Steinmüller, H., Steininger, K., Weiss, M. et al. (2011). *PlanVision – Visionen für eine energieoptimierte Raumplanung. Projektendbericht. Gefördert aus Mitteln des Klima- und Energiefonds*. Wien. Retrieved Jan 15, 2013, from [https://www.boku.ac.at/fileadmin/\\_/H85/H855/materialien/planvision/Endbericht\\_PlanVision.pdf](https://www.boku.ac.at/fileadmin/_/H85/H855/materialien/planvision/Endbericht_PlanVision.pdf).
- Trier, D. (2015). Towards Solar District Heating with More than 70% Solar Fraction. *Energy Procedia*, 70, 580–586. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.02.163>.
- Wang, H., Yin, W., Abdollahi, E., Lahdelma, R., & Jiao, W. (2015). Modelling and optimization of CHP based district heating system with renewable energy production and energy storage. *Applied Energy*, 159, 401–421. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.09.020>.