
Ein GIS-basierter Ansatz zur optimalen Standortfindung für dezentrale Speicher in Energienetzen

Tobias TÖRNROS, Günther SAGL, Bernd RESCH

Lehrstuhl für Geoinformatik/GIScience, Geographisches Institut, Universität Heidelberg
tobias.toernros;guenther.sagl;bernd.resch@geog.uni-heidelberg.de

Zusammenfassung

Die Energieproduktion unter verstärkter Einbindung erneuerbarer Energiequellen sowie der Energieverbrauch variieren zeitlich als auch räumlich. Um die resultierenden räumlichen und zeitlichen Lastschwankungen im Energienetz abzufedern, werden dezentrale Energiespeicher eingesetzt – die Bedeutung der geographischen Lage wird jedoch meist vernachlässigt. In diesem Artikel beschreiben wir einen GIS-basierten Ansatz um optimale Standorte für dezentrale Speicher in regionalen Energienetzen zu finden. Das sich in Entwicklung befindende GIS-basierte Modell beruht zurzeit auf OpenStreetMap (OSM) und anderen frei zugänglichen Daten – die Datenproblematik in der Energiesystemmodellierung wird ebenfalls kurz diskutiert. Weitere Modelleingangsparameter sind die geometrische und topologische Struktur des Energienetzes. Am Fallbeispiel der Stadt Sinsheim zeigen die Ergebnisse, dass sich die ermittelten Standorte und Kapazitäten der Wärmespeicher positiv auf das Lastverhalten im lokalen Wärmenetz und auf die zu versorgende Region auswirken können.

1 Einleitung

Aus nachhaltiger und politischer Sicht sind in der breiten Forderung nach einer „Energie-wende“ drei wesentliche Trends hinsichtlich Energieinfrastrukturplanung, Energieerzeugung und -speicherung zu erkennen: 1.) von geplanter und daher quasi-stabiler zu spontaner und fluktuierender Energieerzeugung, 2.) von zentraler zu dezentraler Erzeugung und Einspeisung und 3.) von teuren meist fossilen hin zu kostengünstigen bzw. kostenlosen erneuerbaren Energieträgern (MANFREN et al. 2011). Modifikationen in der Energieinfrastruktur wie z. B. der Ausbau von Strom- und Wärmenetzen oder der Bau von zusätzlichen Kraftwerken und Speicheranlagen sind notwendig, um einen effizienten Einsatz erneuerbarer Energien zu ermöglichen (CHICCO & MANCARELLA 2009).

Für die Planung von Bau bzw. Ausbau von Energienetzen, aber auch für die Modellierung und Simulation von bestehenden und zukünftigen Energiesystemen, muss neben der zeitlichen auch die räumliche Dimension berücksichtigt werden, um raum-zeitliche Lastspitzen aufgrund dezentraler Einspeisungen im Energienetz gezielt mittels geeigneter Speichertechnologien abzufedern. Hierzu sind die Integration von GIS und Energiesystemen sowie die Entwicklung innovativer Methoden in Form von anwendbaren Analyse- und Optimierungswerkzeugen unabdingbar. Dies wird zwar zunehmend berücksichtigt (MEDRANO et al. 2008), das Potential von GIS wird aber bei weitem noch nicht ausgeschöpft (RESCH et al. 2014).

Das Ziel des laufenden Forschungsprojektes GISOPT¹ ist die Entwicklung GIS-basierter Werkzeuge für die Potentialanalyse und die Strukturoptimierung von dezentralen Energiespeichern in regionalen Energiesystemen unter Berücksichtigung der zeitlichen und räumlichen Variabilität von Energieproduktion und Energienachfrage. In diesem Artikel stellen wir einen sich in Entwicklung befindenden GIS-basierten Ansatz zur optimalen Standortfindung dezentraler Speichern vor und präsentieren erste Ergebnisse am Fallbeispiel der Stadt Sinsheim (Baden-Württemberg, Deutschland).

2 Methodik

2.1 Datenbeschreibung

Räumlich hochaufgelöste Daten für die Energiesystemmodellierung sind in der Regel teuer und befinden sich im Besitz von Wärmeversorgern, Netzbetreibern oder amtlichen Behörden. Um optimale Standorte für dezentrale Speicher zu finden bzw. die räumliche Optimierung der Verteilung von Wärmespeichern durchführen zu können, sind verschiedenste Geodaten jedoch zwingend erforderlich, zum Beispiel der Liegenschaftskataster, welcher für die Abschätzung des gebäudespezifischen Wärmebedarfs herangezogen wird. Eine Alternative zu derartigen amtlichen Daten sind die frei verfügbaren Daten von OpenStreetMap (OSM) – daher ergibt sich ein dringenden Bedarf an Modellen, welche auf frei verfügbaren Daten („Open Data“) basieren (FAN et al. 2014).

In der hier präsentierten Fallstudie wird untersucht, in wie fern frei verfügbare OSM Daten als Gebäudegrundlage für die Modellierung des Wärmebedarfs im Projektgebiet Sinsheim, Baden-Württemberg, Deutschland, eingesetzt werden können. Von 590 Häusern waren 258 in OSM verfügbar, alle übrigen wurden manuell digitalisiert. Zusätzlich wurden von der Firma „AVR Energie“ grundlegende Daten über die Kapazitäten der Kraftwerke und das Fernwärmenetz der Stadt Sinsheim zur Verfügung gestellt. Diese Daten beinhalten auch die Information, für welche Häuser ein Fernwärmeanschluss möglich ist. Es wurde ein einfaches Energiesystemmodell mittels Esri ArcGIS Model Builder entwickelt. Als wichtigste Eingangsdaten werden OSM-Gebäudedaten verwendet und manuell in Gebäudetypen untergliedert. Zusätzlich werden die über das Erneuerbare-Energie-Gesetz (EEG) erfassten Daten zu Photovoltaik- und Solarthermieanlagen herangezogen, z. B. die frei zugänglichen Daten über private Solarthermieanlagen der Klimaschutz- und Energie-Beratungsagentur Heidelberg – Rhein-Neckar-Kreis GmbH (KliBA²) und Daten zur Photovoltaikeinspeisung von „Transnet BW“³.

2.2 Energiesystemmodell

Im Modell werden Zeitreihen von Wärmebedarf und Solarthermieproduktion generiert. Die erste Zeitreihe basiert auf vorhandenen Wärmebedarfssimulationen für unterschiedliche

¹ http://www.geog.uni-heidelberg.de/forschung/gis_energystorage_en.html

² <http://www.bw-co2.de>

³ <http://www.transnetbw.de/de>

Gebäudetypen – diese Simulationen wurden vom Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme durchgeführt. Eine zweite Zeitreihe basiert auf Daten zur Photovoltaikeinspeisung. Hierbei wurde in der Skalierung für die Beispielregion Sinsheim die Einspeisung für das gesamte Netz auf den Effekt der einzelnen EEG-Anlagen angepasst. Außerdem wird angenommen, dass die gesamte Wärmeproduktion des Fernwärme-Kraftwerkes dem Wärmebedarf abzüglich der Produktion der dezentralen EEG-Anlagen entspricht. Das Energiesystemmodell ist so konzipiert, dass ein „virtueller“ thermischer Speicher gefüllt wird, sobald die Produktion der EEG-Anlagen den Wärmebedarf überschreitet. Der Algorithmus sieht auch eine Füllung des Speichers im Voraus vor, sodass dessen Wärmeenergie einen möglichen erhöhten Wärmebedarf zu einem späteren Zeitpunkt decken kann.

2.3 Die Rolle von GIS im Energiesystemmodell

Für den hier beschriebenen GIS-basierten Ansatz werden zwei wesentliche räumliche Eingangsparameter berücksichtigt.

Räumliche Verteilung des Wärmebedarfs: Unterschiedliche Gebäudetypen sind mit unterschiedlichen zeitlichen Verläufen des Wärmebedarfs verknüpft. Zunächst wird der Tagesverlauf des Wärmebedarfs unterschiedlicher Gebäudetypen räumlich betrachtet da der Wärmebedarf in einem Industriegebiet sich z. B. von einem Wohngebiet unterscheidet. Aus Sicht des Energienetzbetreibers kann diese räumlich unterschiedliche Verteilung des Wärmebedarfs durch die gezielte Platzierung von Speichern kompensiert werden. In der Folge kann z. B. die Wärmeproduktion eines Kraftwerkes besser geplant werden.

Topologie und Geometrie des Energienetzwerkes: Die Geschwindigkeit des Heißwassertransports richtet sich nach der Leitungslänge- und Dimensionierung des Energienetzwerkes. Mittels GIS kann anhand der topologischen und geometrischen Eigenschaften des Netzwerkes die damit verbundene Transportzeit von jedem Segment im Netzwerk, und somit auch von jedem potentiellen Speicherstandort, zu den angeschlossenen Häusern berechnet werden:

- *Topologisch:* eine typischerweise hierarchische Knoten-Kanten Struktur bildet die Topologie des Energienetzes ab. Eine Kante ist ein durch zwei Knoten eindeutig zusammenhängendes Netzwerksegment. Es kann daher angenommen werden, dass innerhalb einer Kante die zeitlichen Schwankungen von Temperatur und Wassermenge homogen sind – andererseits können Knoten als (Diss-)Aggregationspunkte dieser zeitlichen Schwankungen angesehen werden.
- *Geometrisch:* über das GIS hat jedes topologische Element (Knote, Kante) einen räumlichen Bezug. Die räumliche Ausdehnung jeder Kante bestimmt implizit die räumliche Auflösung. Durch die Leitungslänge können Transportzeiten und Leitungsverluste entsprechend berechnet werden.

Durch die Kombination aus topologischen und geometrischen Netzwerkeigenschaften und deren Verschneidung mit dem zeitlichen Wärmebedarf je Gebäude und Gebäudetyp lässt sich das raum-zeitliche Lastverhalten auf unterschiedlichen hierarchischen Ebenen des Energienetzes quantifizieren. Dies ist somit die Basis für weitere Analysen hinsichtlich optimalen Standort und Dimension eines Wärmespeichers mit dem Ziel über das segment-spezifische in der Folge das gesamte Lastverhalten im Energienetzwerk besser ausgleichen.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Datenproblematik

Der Mangel an verfügbaren Geodaten ist nach wie vor ein entscheidendes limitierendes Element für die Analysen und Optimierung von Energiesystemen. Dieser Mangel hat drei hauptsächliche Ursachen: 1.) befinden sich Geodaten über Energiesysteme (Wärmebedarfe, Energieproduktion, Leitungsnetze, etc.) größtenteils in der Hand von Energieversorgungsunternehmen und Netzbetreibern, deren Geschäftsmodell oft keine Freigabe dieser Datensätze vorsieht. 2.) haben viele Energiedatenbestände wie z. B. Netzwerktopologien keine explizite geographische Referenz. 3.) ist die Heterogenität der Daten in Bezug auf Detailgenauigkeit, zeitliche und räumliche Auflösung sowie der Aktualität eine spezielle Herausforderung für die Durchführung von GIS-basierten Energiesystemanalysen.

Als Resultat dieser Mängel haben sich in den letzten Jahren eine Reihe von Open Data Initiativen etabliert. Trotzdem zögern viele Datenproduzenten ihre Daten frei verfügbar zu machen, was überraschenderweise auch mit öffentlichen Geldern erhobene Daten betrifft (RESCH et al. 2014). Neben diesen Open Data Ansätzen gibt es auch neuartige crowdsourcing-basierte Methoden für die Generierung von energierelevanten Geodaten. Dies kann beispielsweise mittels Webplattformen oder mobiler Applikationen geschehen, wodurch eine breite Bürgerbeteiligung für offene und frei verfügbare Geodaten im Bereich Energie erfolgen kann. Diese Vorgehensweise kann potenziell zu einer weiteren „Demokratisierung“ in der Planung und Durchführung von Energieinfrastrukturprojekten führen.

3.2 A-räumliche Optimierung und Dimensionierung von Energiespeichern

Mit a-räumlichen, d. h. nicht-GIS-basierten Ansätzen, kann die notwendige Größe des Energiespeichers simuliert werden. Auf Basis der hier gemachten vereinfachten Annahmen zeigen die Ergebnisse, dass der Wärmebedarf die potentielle Produktion (20 MW) über zehn Mal pro Jahr übersteigt. Daher ist ein thermaler Energiespeicher notwendig, welcher die Differenzen zwischen Produktion und Wärmebedarf ausgleichen kann. Basierend auf der maximal akkumulierten Produktion über 20 MW, wird die Dimensionierung eines Energiespeichers mit einer Kapazität von 12 MW angenommen. Abb. 1 zeigt die jeweils berechneten Zeitreihen am Beispiel des Monats Januar.

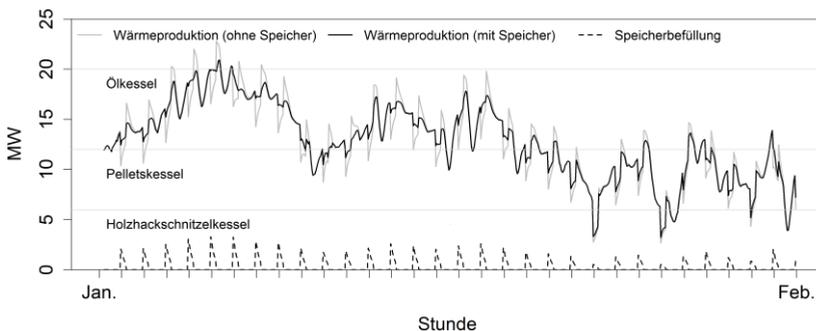


Abb. 1: Simulierte Wärmeproduktion in Megawatt (MW) ohne Speicher (graue Linie), und mit einem Speicher (schwarz Linie) mit der Kapazität von 12 MW. Die horizontalen Linien entsprechen Grenzwerte für den Betrieb von unterschiedlichen Produktionslinien.

3.3 GIS-basierte Optimierung und Dimensionierung von Energiespeichern

Abb. 2 zeigt potentielle Standorte für Wärmespeicher unter Berücksichtigung des gebäude-spezifischen Wärmebedarfs und der Netzwerkstruktur. In der Fallstudie Sinsheim befindet sich das Kraftwerk etwa 2 km nördlich des Ortes. In einem a-räumlichen Modellansatz wird die Platzierung des Speichers direkt beim Kraftwerk angenommen. Dies bedeutet im Fall Sinsheim, dass das Fernwärmenetz zwischen Kraftwerk und Stadt für ca. 20 MW dimensioniert sein sollte. Wenn sich Heißwasserspeicher in den oberen topologischen Hierarchieebenen des Netzwerkes befinden, hat dies auch Auswirkungen auf Lastschwankungen in den unteren Ebenen. Wenn ein Stadtgebiet hauptsächlich aus anderen Gebäudetypen besteht (z. B. Industrie), ergeben sich dadurch Unterschiede im Wärmebedarf und im Lastverhalten des Energienetzes – siehe potentieller Speicherort rechts unten in Abb. 2.

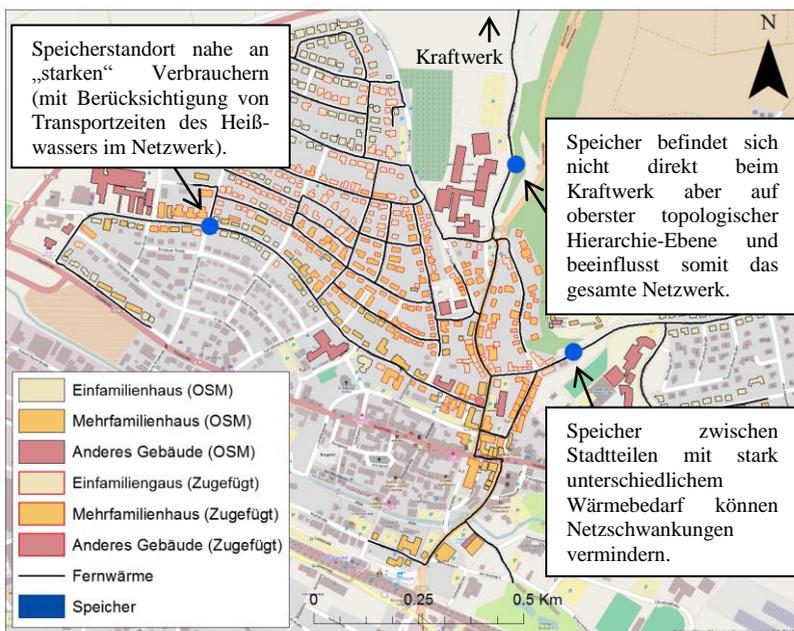


Abb. 2: Bespielergebnis der Modellierung auf Basis von „Open Data“: potentielle räumlich optimierte Standorte von Energiespeicher in der Projektregion Sinsheim.

4 Fazit und Ausblick

In diesem Artikel wurde ein GIS-basierter Ansatz zur optimalen Standortfindung für dezentralen Speicher in regionalen Energienetzen präsentiert. Die Verwendung von frei verfügbaren Daten wie z. B. OSM für gebäudetypologische Eigenschaften sowie einer innovativen Methodik, welche die geometrischen und topologischen Eigenschaften des Energienetzes berücksichtigt, ermöglichen realistische räumliche und zeitliche Simulationen eines Energiesystems. Das Potential dieses Ansatzes wurde am Beispiel einer Fallstudie in der Stadt Sinsheim (Baden-Württemberg, Deutschland), demonstriert.

Um die Modellierung weiter zu verbessern, sollten zusätzliche Eingangsparameter evaluiert und weitere Fragen adressiert werden. Zum Beispiel, wie können detailliertere technische Daten über private Solarthermieanlagen, welche den Wärmebedarf aus dem Fernwärmenetz punktuell stark beeinflussen können, möglichst flächendeckend erhoben werden? Durch die Einfachheit der getroffenen Annahmen, zum Beispiel, dass jedes Haus im Netzgebiet an das Fernwärmenetz angeschlossen ist, ist eine Überschätzung des Wärmebedarfs anzunehmen.

Abschließend kann festgehalten werden, dass der hier vorgestellte GIS-basierte Ansatz innovative Möglichkeiten für die Ermittlung optimaler Standorte bzw. die Optimierung der räumlichen Verteilung dezentraler Energiespeicher zeigt. Durch die Einbindung offener und frei verfügbarer Geodaten trägt dieser Ansatz wesentlich zur Integration von GIS in die Energiesystemmodellierung bei.

5 Danksagung

Die Autoren bedanken sich beim Fraunhofer Institut für Solare Energiesystem für die Modellierung des Wärmebedarfs. Das Forschungsprojekt GISOPT wird vom Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg (Baden-Württemberg Programm "Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung - BWPLUS") gefördert.

Literatur

- CHICCO, G. & P. MANCARELLA (2009), Distributed multi-generation: A comprehensive view. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Nr. 13(3), p. 535-551.
- FAN, H., A. ZIPF, Q. FU & P. NEIS (2014), Quality assessment for building footprints data on OpenStreetMap. *International Journal of Geographical Information Science* Nr. 28(4), p. 700-719.
- MANFREN, M., P. CAPUTO & G. COSTA (2011), Paradigm shift in urban energy systems through distributed generation: Methods and models. *Applied Energy* Nr. 88(4), p. 1032-1048.
- MEDRANO, M., BROUWER, J., CARRERAS-SOSPEDRA, M., RODRIGUEZ, M.A., DABDUB, D. & SAMUELSEN, G.S. (2008), A methodology for developing distributed generation scenarios in urban areas using Geographical Information Systems. *International Journal of Energy Technology and Policy*, 6(4), p. 413-434.
- RESCH, B., SAGL, G., TÖRNROS, T., BACHMAIER, A., EGGERS, J.-B., HERKEL, S., NARMSARA, S. & GÜNDRA, H. (in press), GIS-based Planning and Modelling for Renewable Energy: Challenges and Future Research Avenues. *ISPRS International Journal for Geo-Information (IJGI) – Special Issue on GIS for Renewable Energy*.