

# BESTIMMUNG ENERGETISCH ZUSAMMENHÄNGENDER URBANER GEBÄUDEGRUPPEN ALS GRUNDLAGE FÜR DIE QUARTIERSPLANUNG

Verena WEILER<sup>1</sup>, Jann WEINAND<sup>2</sup>, Sally KÖHLER<sup>1</sup>, Russell McKENNA<sup>2</sup>,  
Ursula EICKER<sup>1</sup>

## Einleitung und Ziele

Mehr als 75 % der Weltbevölkerung lebt in urbanen Räumen (EEA 2010). In Europa sind Gebäude für 40 % des gesamten Energiebedarfs und für 36 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich (EU 2015). Aufgrund dieser Zusammenhänge ergibt sich ein großes Energieeinsparpotential in Städten weltweit. Zur Erreichung des CO<sub>2</sub>-Reduktionsziels der Europäischen Union von 80 % gegenüber dem Jahr 1990 bis 2050, müssen vor allem die bestehenden Gebäude in Städten energetisch ertüchtigt werden.

Für eine effektive Umsetzung der nötigen Sanierungen von sowohl der Gebäudehülle als auch dem Energieversorgungssystem, wird in der vorliegenden Untersuchung ein Vorgehen zur Identifikation von Gebäudegruppen mittels Clusteranalyse vorgestellt.

Mithilfe der Clusteranalyse werden anhand technischer Indikatoren Gebiete innerhalb eines gewählten Stadtquartiers oder Stadtteils identifiziert, deren Gebäude in verschiedene Gebäudegruppen eingeteilt werden können. Dieses Clustering der Gebäudegruppen bezieht sich dadurch nicht auf einen Indikator, sondern betrachtet die Wechselwirkungen der Indikatoren untereinander. Dadurch ergeben sich andere Gebäudegruppen als in Gebäudetypologien wie bspw. TABULA, die nur wenige Indikatoren wie Gebäudealter und Gebäudetyp zur Klassifizierung nutzen (Loga et al. 2016). Weiterhin werden bei Gebäudetypologien „durchschnittliche Gebäude“ als Klassen definiert, die für die Einteilung von Stadtquartieren zu ungenau sein könnten. Diese durchschnittlichen Gebäude werden dann meist über eine statistische Verteilung auf Stadtquartiere hochskaliert (Dall'O et al. 2012). Darüber hinaus werden die Analysen in vielen Studien zu Quartieren auf bestehende Verwaltungsgrenzen bezogen. Auch im Themenfeld der „Urban Morphology“ sind meist Einteilungen vom Zensus Grundlage für die Analyse. So wird beispielsweise in Sarralde et al. (2015) das Potential für erneuerbare Energien für vom Zensus festgelegte Quartiere in London berechnet. Hier könnte eine umgekehrte Herangehensweise vorteilhaft sein, bei der zunächst einzelne Gebäude analysiert werden und dann erst die Verwaltungsgrenzen festgelegt werden.

Das hier vorgestellte Vorgehen mittels einer Clusteranalyse kann somit zur strategischen Entscheidungsunterstützung bei der Quartiersplanung in Städten und Kommunen dienen.

## Methodik

Mit der von der HFT Stuttgart entwickelten energetischen Simulationsplattform SimStadt (Nouvel et al. 2015) können basierend auf CityGML Dateien verschiedene gebäudescharfe technische Indikatoren wie Heizwärmebedarf oder PV-Potential berechnet werden. Weitere Indikatoren, z.B. das Gebäudebaujahr oder die Gebäudenutzung, können direkt aus der GML Datei entnommen werden. Die insgesamt 13 Indikatoren, die für die Clusteranalyse verwendet werden, sind in Tabelle 1 aufgelistet. Zunächst werden die Indikatoren auf gleiche Wertebereiche skaliert, um einen einheitlichen Einfluss der Indikatoren zu gewährleisten. Die anschließende Faktorenanalyse ist notwendig, um aus den Indikatoren voneinander unabhängige Faktoren zu extrahieren. Diese Faktoren bilden die Datenbasis für die darauffolgende Clusteranalyse.

---

<sup>1</sup> Hochschule für Technik Stuttgart, Institut für angewandte Forschung nachhaltige Energietechnik, Schellingstraße 24, 70174 Stuttgart, Tel.: +49 711 8926 2950, {verena.weiler|sally.koehler|ursula.eicker}@hft-stuttgart.de, [www.hft-stuttgart.de/forschung/kompetenzen/zaff/index.html/de](http://www.hft-stuttgart.de/forschung/kompetenzen/zaff/index.html/de)

<sup>2</sup> Karlsruhe Institut für Technologie, Lehrstuhl für Energiewirtschaft / Institut für Industriebetriebslehre und industrielle Produktion, Hertzstraße 16, 76187 Karlsruhe, Tel.: +49 721 608 44444, {jann.weinand|russel.mckenna}@kit.edu, [www.iip.kit.edu/86\\_3602.php](http://www.iip.kit.edu/86_3602.php)

Als Clusteranalyseverfahren wird das hierarchisch-agglomerative Verfahren ausgewählt, das qualitativ hochwertige Cluster erzeugt (Bouguettaya et al. 2015). Bei diesem Verfahren muss jedoch die Clusteranzahl exogen vorgegeben werden. Diese Anzahl wird in dieser Studie mit Hilfe von 26 Validationsindizes, dem Ellenbogen-Kriterium sowie weitergehenden Analysen bestimmt.

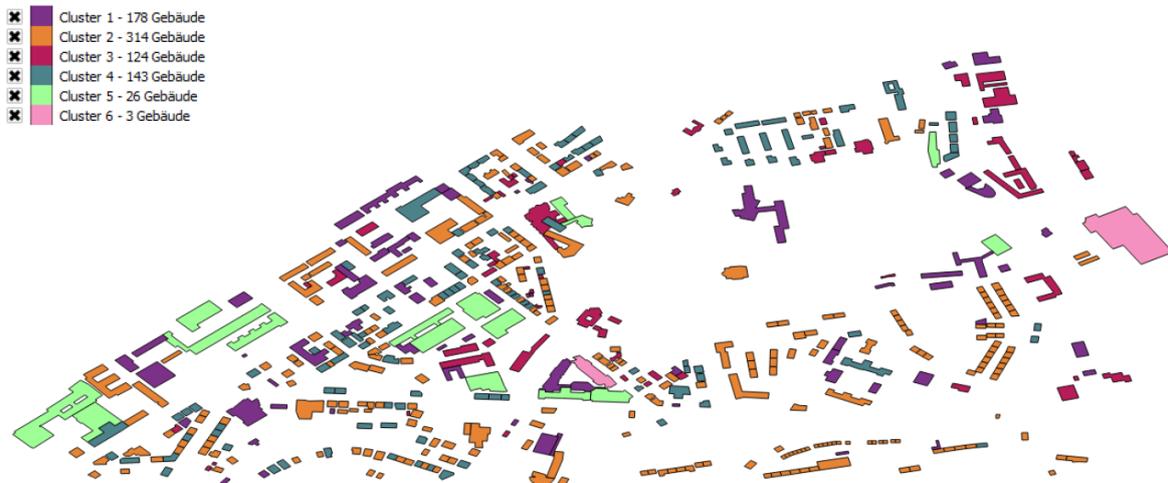
Gebäudeeigenschaften	Verbrauchswerte	Potential für Photovoltaik
Baujahr	Jährlicher spezifischer Raumwärme- und Warmwasserbedarf [kWh/m <sup>2</sup> ]	Nennleistung der platzierbaren Module [kW <sub>p</sub> ]
Gebäudetyp (Wohngebäude/ Nichtwohngebäude)	Gesamter jährlicher Raumwärme- und Warmwasserbedarf [kWh]	Potentieller PV Ertrag [MWh/a]
Grundfläche [m <sup>2</sup> ]	Jährlicher Strombedarf pro m <sup>2</sup> [kWh]	Solare Einstrahlung auf die Dachfläche [W/m <sup>2</sup> ]
Mittlerer U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]		
Verhältnis der beheizten Fläche zur Grundfläche		
Bebauungsdichte		

**Tabelle 1: In der Clusteranalyse verwendete Indikatoren**

Als Fallstudie wird der Stuttgarter Stadtteil Stöckach ausgewählt. Es handelt sich um einen für Deutschland typischen Stadtteil mit 1175 Gebäuden. Davon gehen 779 Gebäude und Gebäudeteile als Objekte in die Clusteranalyse ein, da für die übrigen Gebäude keine vollständige Datenbasis vorliegt. Die untersuchten Gebäude teilen sich in 414 Wohngebäude und 365 Nichtwohngebäude auf.

## Ergebnisse

Für die vorliegende Untersuchung ergeben sich sechs Cluster, wie in der folgenden Abbildung dargestellt.



**Abbildung 1: Clusteraufteilung im Stadtteil Stöckach, Stuttgart**

Exemplarisch wird auf zwei Cluster aus der Clusteranalyse genauer eingegangen. Cluster 2 ist der Cluster mit den meisten Objekten, wovon die überwiegende Anzahl Wohngebäude mit dem durchschnittlichen Baujahr 1962, einem mittleren U-Wert von 1,29 W/(m<sup>2</sup>K) sowie einem spezifischen Wärmebedarf von 142 kWh/(m<sup>2</sup>a) sind. Die Bandbreite des Baujahrs bewegt sich hier z.B. von 1913 bis 2012, was deutlich macht, dass die einfache Einteilung der Gebäude nach Baujahren nicht ausreicht für eine umfassende, energetische Stadtquartiersanalyse.

Cluster 6 beinhaltet nur drei Nichtwohngebäude, die als „Ausreißer“ klassifiziert werden können. Diese Gebäudegruppe weist den mit Abstand höchsten spezifischen Heizwärmebedarf, das größte PV-Potential sowie eine sehr hohe Bebauungsdichte auf. Weiter wird als vergleichende Untersuchung die Clusteranalyse ausschließlich für Wohngebäude im Stadtteil Stöckach durchgeführt, damit die Wohngebäude in detailliertere Gebäudegruppen eingeteilt werden können. Außerdem wird eine zusätzliche Clusteranalyse ohne vorrausgehende Faktorenanalyse für beide Fälle vorgenommen, um den Einfluss der Faktorenanalyse auf die Ergebnisse zu untersuchen.

## Literatur

- [1] Bouguettaya, A.; Yu, Q.; Liu, X.; Zhou, X.; Song, A. (2015): Efficient agglomerative hierarchical clustering. In: *Expert Systems with Applications* 42 (5), S. 2785–2797. DOI: 10.1016/j.eswa.2014.09.054.
- [2] Dall’O, G.; Galante, A.; Torri, M. (2010): A methodology for the energy performance classification of residential building stock on urban scale. In: *Energy and Buildings* 48, S. 211-219. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.01.034>
- [3] EEA: „Von städtischen Räumen zu städtischen Ökosystemen,“ European Environment Agency, Kopenhagen, 2010.
- [4] EU: „EU Energy in Figures – Statistical Pocketbook 2015“, European Commission, Luxembourg, 2016
- [5] Loga, T.; Stein, B.; Diefenbach, N. (2016): TABULA building typologies in 20 European countries— Making energy-related features of residential building stocks comparable. In: *Energy and Buildings* 132, S. 4–12. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.06.094.
- [6] Nouvel, Romain; Brassel, K.-H.; Bruse, M.; Duminil, E.; Coors, V.; Eicker, U.; Robinson, D. (2015): SimStadt, a new workflow-driven urban energy simulation platform for CityGML city models. CISBAT 2015 Lausanne, Switzerland
- [7] Sarralde, J.J.; Quinn, D. J.; Wiesmann, D.; Steemers, K. (2015): Solar energy and urban morphology. Scenarios for increasing the renewable energy potential of neighbourhoods in London. In: *Renewable Energy* 73, S. 10–17. DOI: 10.1016/j.renene.2014.06.028.