

Abstract white lines resembling a circuit board or network diagram, with several small white circles at various points, set against a background with a blue-to-orange gradient.

SPOTLIGHT GEBÄUDEPARKMODELL

Natasa Vulic, Sven Eggimann, Matthias Sulzer,
Martin Rüdüsüli, Robin Mutschler, Kristina Orehounig

2050
Energiezukunft

Hintergrund

Die Berechnung des saisonalen Gesamtenergiebedarfs des schweizerischen Gebäudebestandes (bewohnte Gebäude und Dienstleistungsgebäude) wird mithilfe von stündlichen Simulationen basierend auf repräsentativen Archetypen vorgenommen (bottom-up). Für die Archetypen werden gebäudescharf die stündlichen Profile für die thermische Energie (Heizen, Kühlen, Warmwasser) und der Elektrizitätsbedarf berechnet und anschliessend hochskaliert, um Bedarfsspitzen und den heutigen jährlichen Verbrauch sowie den Bedarf für 2030, 2040 und 2050 auf regionaler und nationaler Ebene zu bestimmen.

Datengrundlage für die Charakterisierung aller bewohnten Gebäude

Für die Analyse des schweizerischen Gebäudebestandes wurde eine umfangreiche Datenbank erstellt basierend auf dem Zusammentragen und Kombinieren verschiedener Datenquellen. Der umfangreichste Datensatz stellt dabei das Eidgenössische Gebäude- und Wohnregister (GWR) dar, welches für bewohnte Gebäude Informationen zum Gebäudetyp, Gebäudealter und Anzahl Stockwerke liefert. Für die Gebäudegrundrisse wurde OpenStreetMap verwendet¹. Da die jeweiligen Datensätze keine vollständige Attributzuweisungen für alle analysierten Gebäude erlauben, wurde die Gebäudedatenbank mittels räumlicher Interpolation vervollständigt. Zusätzlich wurden die Informationen zu den Schweizer Klimazonen ergänzt. Somit können alle Schweizer Gebäude in eine von 6 Klimazonen, in eine von 5 Gebäudealtersklassen und in eine von 9 Gebäudetypen eingeteilt werden.

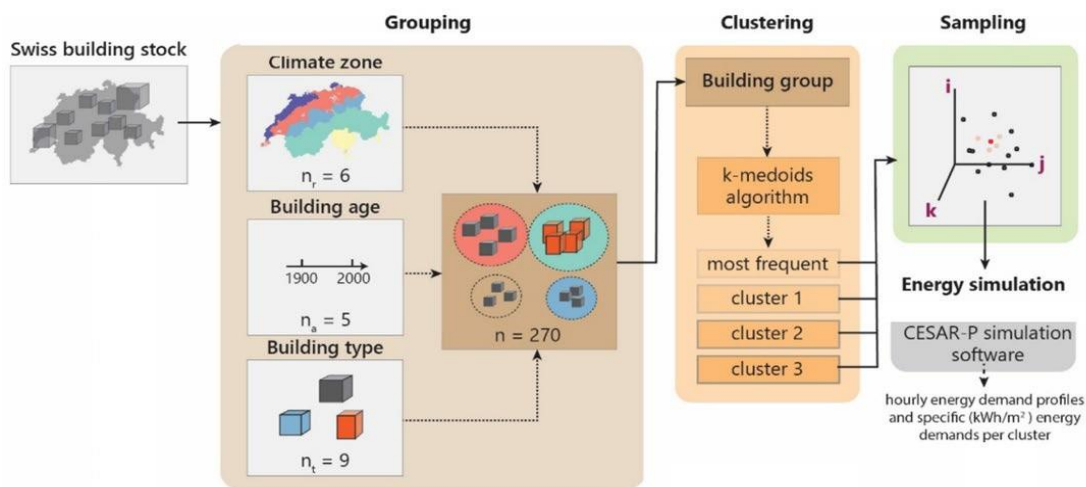
Zusammenfassung der wichtigsten verwendeten Datensätze für die Repräsentation des schweizerischen Gebäudebestandes.

Name	Attribute	Quelle
Eidgenössisches Gebäude- und Wohnregister (GWR)	Gebäudetyp, Gebäudealter, Anzahl Stockwerke	Bundesamt für Statistik
OpenStreetMap	Gebäudegrundriss	OSM contributors
swissBUILDINGS3D2.0	Gebäudehöhe	Swisstopo
STATENT	Gebäudetyp	Bundesamt für Statistik
CH2018	Klimaregion	MeteoSchweiz

¹ Da für die Gebäudegrundrisse OpenStreetMap verwendet wurde, kann die Gebäudeidentifikation zum GWR abweichen: Ein Doppelhaus besteht zum Beispiel in GWR aus zwei Datenpunkten, in OpenStreetMap sind die beiden Gebäude in einem Gebäudegrundriss zusammengefasst.

Gruppierung und Clustering der Gebäude

In einem ersten Schritt werden alle Schweizer Gebäude (rund 2.1 Mio.) je nach Gebäudetyp, Gebäudealter und Klimazone gruppiert. Innerhalb der 270 Gruppen, die aus dieser Einteilung resultieren, werden in einem zweiten Schritt Cluster gebildet mithilfe des K-Medoids Algorithmus. Es werden jeweils maximal vier Cluster pro Gruppe erstellt. Das Resultat dieser Gruppierung und dieses Clusterings ermöglicht es, repräsentative Kennzahlen für 756 Gebäudearchetypen zu berechnen.



Innerhalb jedes Clusters werden die Energiesimulationen für jeweils 50 Gebäude vorgenommen, die das Cluster am besten repräsentieren. Diese Werte werden gemittelt, um clusterspezifische Werte zu erhalten. Für das Clustering werden drei Dimensionen verwendet: die Gebäudefläche, die Gebäudekompaktheit und die Gebäudedichte. Diese Dimensionen sind detailliert erläutert in Eggimann et al. (2022). Die Dimensionen werden für jedes Einzelgebäude berechnet vor dem Clustering normalisiert. Die Auswahl der 50 repräsentativsten Gebäude wird mittels der (virtuellen) Distanz im Dimensionsraum zum Cluster-Schwerpunkt (Zentroid) vorgenommen. Diese methodischen Schritte erlauben es, jedes Gebäude einem der total 756 Gebäudearchetypen zuzuweisen und mithilfe der Energiebezugsfläche und den simulierten spezifischen Bedarfswerte (kWh/m²) den totalen Verbrauch sowie die stündlichen Bedarfsprofilen zu bestimmen.

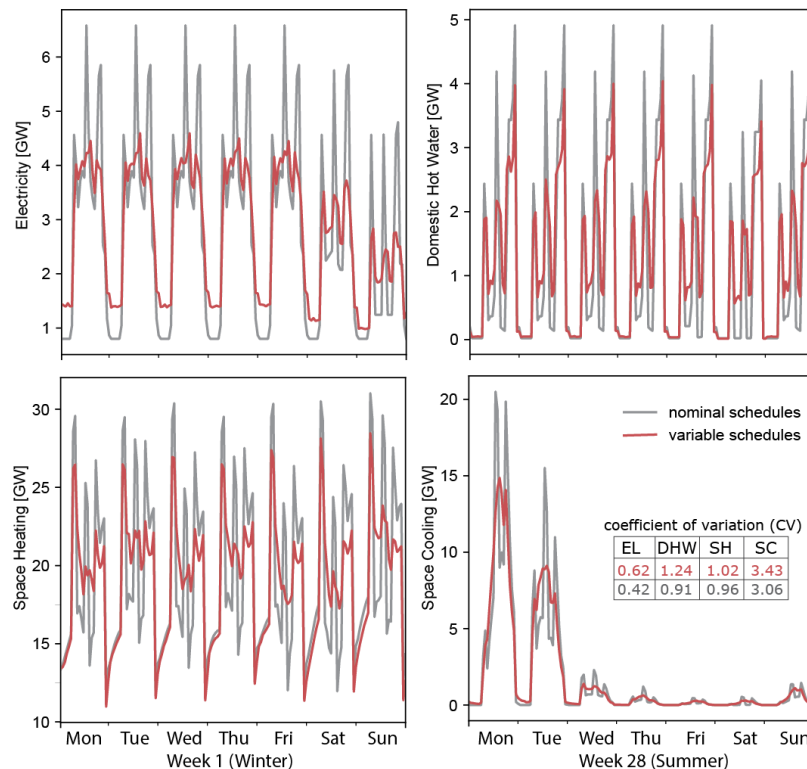
Energiesimulation

Die spezifische, stündlichen Energiebedarfswerte (thermische Heizenergie, thermische Kühlenergie Warmwasser und Elektrizität) werden mithilfe der Software CESAR-P (Orehoung et al., 2022) für jeden Archetyp berechnet. Die Abschätzungen des resultierenden nationalen Energiebedarfes wird mit den nationalen Statistiken verglichen (Abbildung 3, «without past retrofit»). Insbesondere der typischerweise überschätzte Raumwärmebedarf wird korrigiert, indem historische Sanierungen berücksichtigt werden. Annahmen zur Anzahl Gebäude, Sanierungszeitpunkt und Sanierungsart (z.B. Dach, Wand, Boden, Fenster) werden basierend auf den Erkenntnissen von Streicher et al. (2018) nach Gebäudetyp und Gebäudealter vorgenommen.

Nationaler Energiebedarf

Die stündlichen, spezifischen Bedarfsprofile werden in jedem Cluster mit der zu diesem Cluster gehörenden Energiebezugsfläche (EBF) nach dem Gebäudebestand skaliert. Dieses Hochskalieren ist für unterschiedliche räumliche Auflösungen (z.B. Gemeinde, Bezirk, Kanton oder Land) möglich. Anschliessend werden die clusterspezifischen Bedarfsprofile aggregiert, um die Bedarfsprofile für den Gebäudebestand für die jeweilige räumliche Einheit zu erhalten. Eine räumliche Auflösung auf Gebäudeebene ist prinzipiell möglich, allerdings rechenintensiver und aufgrund des gewählten Ansatzes mit höheren Unsicherheiten behaftet.

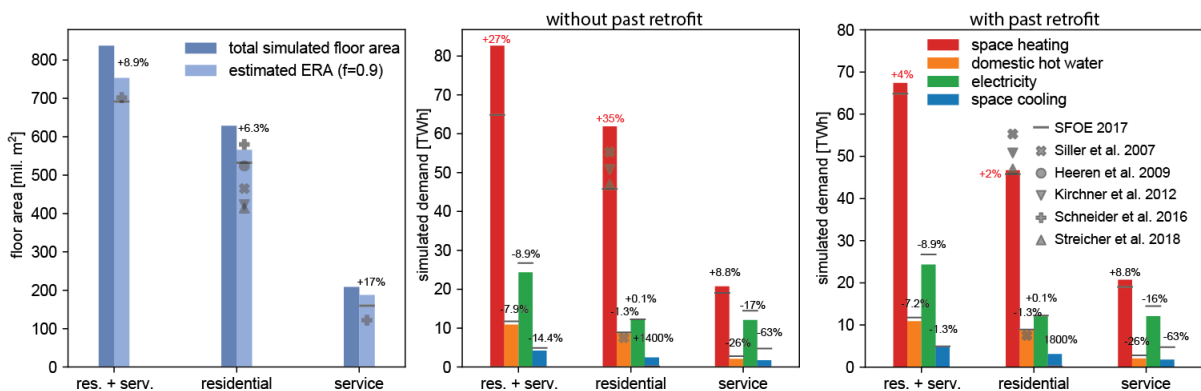
Um Aggregationseffekte der Spitzenlasten bei der Hochskalierung zu reduzieren, werden unterschiedliche Stundenprofile verwendet. Die Variabilität der Bedarfsprofile wird je Cluster aus 50 unterschiedlichen Gebäude- und Benutzerverhalten ermittelt. Abbildung 2 zeigt den stündlich aggregierten Schweizer Bedarf über einen Zeitraum von einer Woche mit nominalen und variablen Bedarfsprofilen. Dabei werden beträchtliche, unrealistische Leistungsspitzen beobachtet, falls nominale (d.h. ohne Berücksichtigung der Variabilität) Profile verwendet werden. Die Charakteristiken bei den Bedarfsprofilen bleiben erhalten, wobei die Koinzidenz der Spitzen zumindest bis zu einem gewissen Grad reduziert werden. Dieses Verhalten ist auch an den niedrigeren Werten der Variationskoeffizienten zu erkennen.



Vergleich der aggregierten (d.h. hochskalierten) stündlichen Bedarfsprofile für den Schweizer Gebäudebestand mit variablen (rote Linien) und nominalen (graue Linien) Lastprofilen. Die Tabelle in der Grafik fasst die Variationskoeffizienten (VK) für jedes der Profile zusammen: Elektrizität (EL), Warmwasser (DHW), Raumheizung (SH) und Raumkühlung (SC). Der jährliche Energiebedarf ist identisch für das nominale und variable Profil.

Validierung

Der nationale Energiebedarf für Elektrizität, Kühlung und Heizung wird auf der Grundlage der Gruppierungs- und Clusteranalyse und des jeweiligen simulierten gebäudespezifischen Energiebedarfs berechnet. Das Hochskalieren des Energiebedarfs basiert auf 36'616 simulierten Einzelgebäuden, was rund 2% aller betrachteten Gebäude entspricht. Abbildung 3 vergleicht die berechnete Schweizer Geschossfläche mit Schätzungen zur Energiebezugsfläche (EBF) aus anderen Studien. Zur Validierung der Bottom-up-Ergebnisse werden die vom BFE bereitgestellten nationalen Energiestatistiken verwendet. Die EBF wird von der gesamten simulierten Fläche abgeleitet, wobei ein durchschnittlicher beheizter Flächenfaktor von 0.9 angenommen wird. Für das Simulationsjahr 2016 entspricht der kombinierte jährliche Bedarf für Wohn- und Dienstleistungsgebäude 67.9 TWh fürs Heizen, 10.9 TWh für Warmwasser, 4.8 TWh für Kühlung und 24.4 TWh für Elektrizität ("with past retrofit"). Der dargestellte Strombedarf berücksichtigt dabei nur die Prozesse in den Gebäuden (Licht, Kochen, Geräte und ICT). Der Bedarf für elektrische Raumheizung, Brauchwarmwasser und Raumkühlung ist in den entsprechenden Verbrauchskategorien, Raumheizung, Warmwasser und Raumkühlung, berücksichtigt. Der BFE-Strombedarf für die Kühlung wird in Raumkühlungsbedarf umgerechnet unter Annahme eines COP-Wert von 3 der Kältemaschine.



Vergleich der geschätzten Energiebezugsflächen (ERA) und des Gesamtbedarfs der Schweiz mit der Literatur mit und ohne Berücksichtigung vergangener Sanierungen des Wohngebäudebestands. Die prozentualen Differenzen zwischen unserer Studie und dem Bundesamt für Energie sind markiert (Quelle: BFE, 2017, Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 - 2016 nach Verwendungszwecken).

Zukünftiger nationaler Energiebedarf

Der zukünftige Energiebedarf für Raumwärme, Warmwasser, Raumkälte und Elektrizität in Gebäuden wird basierend auf deren Entwicklung in den "Energieperspektiven 2050+" (EP2050+) hergeleitet. Analog zum Vorgehen bei der Bestimmung des Basisstrombedarfs, werden die Bedarfswerte der EP2050+ mit aktuellen Werten zur Bevölkerungsentwicklung angepasst. Daraus resultiert die jeweilige prozentuale Änderung des zukünftigen jährlichen Gebäudeenergiebedarfs gegenüber dem heutigen Bedarf (2018). Die im Gebäudemodell erhaltenen stündlichen Profile werden anhand der prozentualen Abweichung linear skaliert. Für die offensiven Szenarien wird dabei eine Energiebedarfsentwicklung gemäss Szenario ES2050+ ZERO BASIS und für die defensiven Szenarien entsprechend dem Mittelwert aus den Szenarien ZERO BASIS und Weiter-wie-bisher (WWB) gewählt.

Mehr Informationen

Das Gebäudebestandesmodell und die räumlich-zeitliche Validierung des verwendeten Ansatzes ist ausführlich dokumentiert in Eggimann, S., Vulic, N., Rüdisüli, M., Mutschler, R., Orehounig, K., Sulzer, M., 2022. Spatiotemporal upscaling errors of building stock clustering for energy demand simulation. Energy Build. 258, 111844. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111844>