



## Master Thesis

im Rahmen des  
Universitätslehrganges „Geographical Information Science & Systems“  
(UNIGIS MSc) am Interfakultären Fachbereich für GeoInformatik (Z\_GIS)  
der Paris Lodron-Universität Salzburg

zum Thema

### „Ermittlung der räumlich differenzierten Wärmebedarfsentwicklung auf Basis eines probabilistischen Sanierungsmodells“

vorgelegt von

**Bsc. Martin Senn**

104899, UNIGIS MSc Jahrgang 2017

Betreuer/Gutachter:  
Ao. Univ. Prof. Dr. Josef Strobl

Zur Erlangung des Grades  
„Master of Science (Geographical Information Science & Systems) – MSc(GIS)“

Bern, 29. Februar 2020

---

## Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, diese Master Thesis ohne fremde Hilfe und ohne Verwendung anderer als der angeführten Quellen angefertigt zu haben, und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen hat. Alle Ausführungen der Arbeit, die wörtlich oder sinngemäss übernommen wurden, sind entsprechend mit der Urheberschaft gekennzeichnet.

Martin Senn

Bern, 29. Februar 2020

---

## Zusammenfassung

Der Schweizer Bundesrat hat beschlossen, dass die Schweiz bis 2050 nicht mehr Treibhausgase ausstossen soll, als natürliche und technische Speicher aufnehmen können. Ein effizienter Gebäudepark und eine erneuerbare Energieversorgung sind wichtige Bausteine eines wirksamen Klimaschutzes.

Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, eine auf einem probabilistischen Modell beruhende Methode zu entwickeln, mit der die räumliche und zeitliche Entwicklung von energierelevanten Sanierungen an Gebäuden sowie der davon abhängende räumliche Wärmebedarf modelliert und dargestellt werden kann. Mit den Simulationsresultaten sollen die räumliche Energieplanung von Behörden und privatwirtschaftlichen Akteuren unterstützt werden, um damit den Ausstoss von CO<sub>2</sub>-Emissionen zu mindern und den Klimaschutz zu stärken.

Für die Simulation wurden in einem zweistufigen Bewertungsverfahren vier Merkmale ausgewählt, aufgrund deren Eigenschaften Aussagen zur Sanierungswahrscheinlichkeit von Gebäuden getroffen werden können. Zentrale Datensätze sind das Gebäude- und Wohnungsregister (GWR) sowie die Gebäudeenergieausweise der Kantone (GEAK). Die relevanten Merkmale sind die Bauperiode (Gebäudealter), die Gebäudekategorie, der Gemeindetyp und das mittlere Reineinkommen pro Gemeinde.

Auf Basis dieser vier Merkmale und einer Monte-Carlo-Simulation werden aus dem Gesamtgebäudepark des Kantons Bern die Gebäude ausgewählt, welche in den nächsten 15 Jahren saniert werden. Der Output der Simulation ist ein 100 x 100 Meter Raster auf welchem die gemittelte Anzahl der zu sanierenden Gebäude ausgegeben wird. Von diesem Raster wird dann mithilfe der bestehenden Energiebedarfsberechnung des Kantons Bern der zukünftige Wärmebedarf je Rasterzelle abgeleitet und bildet ein eigentliches Wärmebedarfskataster.

Die Resultate wurden anhand eines Vergleichs von ausgewählten Gemeinden ausgewertet. Ältere (Wohn-)Gebäude in städtisch geprägten Gemeinden mit einem hohen mittleren Reineinkommen werden am häufigsten saniert. Der Vergleich des Wärmekatasters im Ist-Zustand sowie dem Zustand in 15 Jahren erlaubt es Projekte, wie kommunale Energieplanungen oder der Machbarkeits- bzw. Wirtschaftlichkeitsanalysen für die Realisierung von Wärmeverbandanlagen konkret zu unterstützen.

**Schlüsselwörter:** Gebäudesanierungen, probabilistisches Modell, Wärmebedarfsentwicklung, Energie, Gemeinden, Kanton Bern

---

## Abstract

The Swiss Federal Council has decided that by 2050 Switzerland should not emit more greenhouse gases than it can absorb from natural and technical storage facilities. An efficient building park and a renewable energy supply are important components of effective climate protection.

The aim of this work is to develop a method based on a probabilistic model with which the spatial and temporal development of energy-relevant renovations of buildings and the spatial heat demand depending on it can be modelled and represented. The simulation results are intended to support the spatial energy planning of public authorities and private sector actors in order to reduce CO<sub>2</sub> emissions and strengthen climate protection.

For the simulation, four characteristics were selected in a two-stage evaluation procedure, on the basis of which statements can be made about the probability of refurbishment of buildings. Central data sets are the building and housing register and the cantonal building energy certificates. The relevant characteristics are the construction period (building age), the building category, the municipality type and the average net income per municipality.

On the basis of these four characteristics and a Monte Carlo simulation, the buildings that will be renovated in the next 15 years are selected from the entire building stock of the Canton of Berne. The output of the simulation is a 100 x 100 meter grid on which the average number of buildings to be renovated is displayed. From this grid, the future heat demand per grid cell is derived using the existing energy demand calculation of the Canton of Berne and forms an actual heat demand register.

The results were evaluated by comparing selected municipalities. Older (residential) buildings in urban communities with a high average net income are most frequently renovated. The comparison of the heat demand register in its actual state as well as the state in 15 years allows to support projects such as municipal energy planning or the feasibility or economic efficiency analysis for the realisation of combined heat and local heating systems.

**Keywords:** building renovation, probabilistic model, heat demand development, energy, municipalities, Canton of Bern

---

## Inhaltsverzeichnis

<b>Eidesstattliche Erklärung</b> .....	<b>I</b>
<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>II</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>III</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>VI</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Motivation .....	1
1.2 Fragestellung und Zielsetzung .....	2
1.3 Literaturüberblick .....	3
1.3.1 Klimaerwärmung, CO <sub>2</sub> -Emissionen aus Gebäuden und Klimaschutz .....	3
1.3.2 Räumlicher Energiebedarf + Gebäudeenergieausweise (GEAK) .....	5
1.3.3 Gebäudemodelle + Gebäude- und Wohnungsregister (GWR) .....	6
1.3.4 Zukünftige Entwicklung.....	7
1.3.5 Monte-Carlo-Ansatz .....	7
1.4 Abgrenzung .....	8
1.5 Gliederung, Vorgehen und verwendete Software .....	9
<b>2 Methodik I (Aufbau Erklärungsmodell / Simulation)</b> .....	<b>11</b>
2.1 Datenauswahl.....	11
2.1.1 Gebäudeenergieausweis der Kantone (GEAK).....	11
2.1.2 Eidgenössisches Gebäude und Wohnungsregister (GWR) .....	12
2.1.3 Ergänzende Datengrundlagen.....	12
2.1.4 Energiebedarfsberechnung Kanton Bern (EBBE) .....	15
2.1.5 Nicht erhältliche oder nutzbare Daten .....	17
2.2 Datenaufbereitung .....	18
2.2.1 Aufbereitung und Ergänzung GWR -Datensatz.....	18
2.2.2 Aufbereitung GEAK-Datensatz und Ermittlung von energetisch sanierten Gebäuden .....	19
2.3 Erklärungsmodell.....	20
2.3.1 Vergleich und Auswahl von Merkmalen .....	20
2.3.2 Detailbetrachtung verwendete Merkmale .....	24
2.3.3 Detailbetrachtung nicht verwendete Merkmale .....	31
2.4 Simulation .....	33
2.4.1 Vorgehen und Rahmenbedingen.....	33
2.4.2 Ablauf Simulation.....	34

---

<b>3</b>	<b>Methodik II (Auswertung und Variantenentscheid)</b> .....	<b>38</b>
3.1	Analyse Resultate / Variantenvergleich.....	38
3.1.1	Kennzahlenvergleich .....	38
3.1.2	Räumlicher Vergleich.....	41
3.2	Detail Betrachtung Variante 2.2 .....	46
3.2.1	Merkmal Bauperiode (Gbaup) .....	46
3.2.2	Merkmal Gebäudekategorie (GKAT) .....	47
3.2.3	Analyse Merkmale Gemeindetyp und mittleres Reineinkommen.....	49
3.3	Berechnung des zukünftigen räumlichen Wärmebedarfs .....	51
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>52</b>
4.1	Vergleich Testgemeinden.....	52
4.1.1	Bern .....	52
4.1.2	Münsingen .....	53
4.1.3	Lenk .....	54
4.1.4	Täuffelen .....	55
<b>5</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>57</b>
5.1	Beantwortung Fragestellung und Zielsetzungen .....	57
5.2	Beurteilung Ergebnisse .....	58
5.3	Vergleich mit anderen Studien / Arbeiten .....	58
<b>6</b>	<b>Schlussfolgerungen und Ausblick</b> .....	<b>59</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>61</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>64</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>65</b>
	<b>Anhang</b> .....	<b>66</b>

---

## Abkürzungsverzeichnis

---

<b>Abkürzung</b>	<b>Beschreibung</b>
AGI	Amt für Geoinformation (Kt. Bern)
AGR	Amt für Gemeinden und Raumordnung (Kt. Bern)
BAUINV	Bauinventar
BFS	Bundesamt für Statistik
BK (1/2)	Bewertungskriterium (1/2)
DHM	Digitales Höhenmodell
DS	Denkmalschutz
ERDSOND	Bewilligung von Erdwärmesonden (Geodatensatz, AGI Kt. Bern)
GBAUP	Gebäudebauperiode
GEAK	Gebäudeenergieausweis der Kantone
GKAT	Gebäudekategorie
gmA	Gewichtete mittlere Abweichung
GWN	Grundwassernutzung (Geodatensatz, AGI Kt. Bern)
GWR	Gebäude- und Wohnungsregister
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
MREINE	Mittleres Reineinkommen
UZP	Übersicht Bauzonen (Geodatensatz, AGI Kt. Bern)

---

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation

Ein effizienter Gebäudepark und eine erneuerbare Energieversorgung sind wichtige Bausteine eines wirksamen Klimaschutzes. Gemäss dem IPCC (2014) stellt die Minimierung der Treibhausgasemissionen eine zentrale Massnahme dar, um die globale Erwärmung und den Klimawandel zu begrenzen. Findet keine Begrenzung statt, wird der Klimawandel gravierende Folgen für die Menschen und die Umwelt haben.

Um den Klimawandel zu begrenzen, haben sich 197 Staaten an der UNO-Klimakonferenz in Paris auf ein neues globales Klimaschutzabkommen geeinigt (United Nations, 2015). Der Bundesrat (2019) hat die auf dem Abkommen von Paris basierenden Zielsetzungen im Jahr 2019 verschärft und beschlossen, dass "die Schweiz bis 2050 nicht mehr Treibhausgase ausstossen soll, als natürliche und technische Speicher aufnehmen können".

Um die definierten Klimaschutzziele zu erreichen, müssen der Bund und auch der Kanton Bern, welcher im Rahmen dieser Arbeit untersucht wird, die Energieeffizienz steigern und fossile Energieträger durch erneuerbare ersetzen. Konkrete Massnahmen sind z.B. Gebäudehüllensanierungen und die Wärmenutzung von auf erneuerbaren Energieträgern basierenden Heizanlagen oder Wärmeverbunden. Ein Wärmeverbund ist jedoch nicht überall gleich effizient, die Effizienz hängt direkt von der lokalen Wärmebedarfsdichte ab. Aus dieser Situation ergibt sich eine Konkurrenzsituation, da sanierte und energiesparende Gebäudehüllen der Effizienz und schlussendlich der Wirtschaftlichkeit eines Wärmeverbundes entgegenstehen.

Es stellt sich nun die Frage, wie Kantone, Gemeinden und weitere Akteure bei der räumlichen Prognose der Entwicklung des Energiebedarfs zuhanden des Klimaschutzes sowie bei der Förderung bzw. der Umsetzung von Gebäudehüllensanierungen und Wärmeverbund-Projekten mit einer GIS-basierten Methode unterstützt werden können. Dies, damit prognostiziert werden kann, wie sich der Energieverbrauch durch Gebäudehüllensanierungen gesamthaft als auch räumlich über die Zeit verändert und neue, auf erneuerbaren Energieträgern basierende Wärmeverbunde nur an Orten realisiert werden, die auch in Zukunft wirtschaftlich und effizient sind.

Zur Prognose und Abschätzung des Schadenpotenzials an Gebäuden durch Überflutungen wurde von Mani P. et al. (2018) ein zweckdienlicher Monte-Carlo-Ansatz angewandt. Ein solcher Ansatz sollte auch für die räumlich differenzierte Wärmebedarfsentwicklung einen Mehrwert bieten und wird entsprechend berücksichtigt.

## 1.2 Fragestellung und Zielsetzung

Im Rahmen dieser Arbeit soll eine auf einer Monte-Carlo-Simulation beruhende Methode entwickelt werden, mit der die räumliche und zeitliche Entwicklung von energierelevanten Sanierungen an Gebäuden sowie der davon abhängende räumliche Wärmebedarf modelliert und dargestellt werden kann. Die Ergebnisse der Simulation sollen es ermöglichen, die räumliche Energieplanung von Behörden und privatwirtschaftlichen Akteuren z.B. bei der Einführung von Fördermassnahmen oder bei der Planung von Wärmeverbunden (basierend auf erneuerbaren Energien) zu unterstützen, um damit den Ausstoss von CO<sub>2</sub>-Emissionen zu mindern und den Klimaschutz zu stärken.

Aus der formulierten Fragestellung lassen sich die folgenden Teilziele ableiten:

### Operativ

- Die Auswahl und Nutzung relevanter Datengrundlagen zur Bestimmung von zentralen Merkmalen, die auf Gebäudesanierungen hinweisen (→ Erklärungsmodell).
- Die probabilistische Modellierung von Gebäudesanierungen auf Basis des Erklärungsmodells.
- Vergleiche zu unterschiedlichen Varianten und Inputparametern durchführen.
- Das Ableiten der räumlichen und zeitlichen Entwicklung des Wärmebedarfs aufgrund der Sanierungstätigkeit anhand von Rasteranalysen.
- Der räumliche Vergleich der Ergebnisse in ausgewählten Gemeinden.

### Strategisch

- Das neue Modell soll wenig komplex auf standardisierten Datensätzen berechnet werden können und modular aufgebaut sein.

### 1.3 Literaturüberblick

Der Literaturüberblick greift die für diese Arbeit relevante Literatur in den Bereichen Klimaschutz, Energie- und Wärmebedarf von Gebäuden sowie dessen zukünftige Entwicklung auf.

#### 1.3.1 Klimaerwärmung, CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Gebäuden und Klimaschutz

Wie vom IPCC (2014) in seinem letzten Synthesebericht (AR5) festgehalten wird, haben die durch den Menschen verursachten Treibhausgase das Klimasystem weltweit wesentlich beeinflusst und es kann eine Erwärmung nachgewiesen werden, wie sie seit Jahrtausenden nicht vorhanden war. Den grössten Anteil an den menschenverursachten Treibhausgasen machen die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus, welche aus der Verbrennung von fossilen Treibstoffen und industriellen Prozessen resultieren.

Der Endenergieverbrauch in Gebäuden in der Schweiz betrug im Jahr 2017 etwa 31 % für die Erzeugung von Raumwärme. Wird die Warmwasseraufbereitung (6 %) hinzugezählt, sind es sogar 37 % des gesamten Endenergieverbrauch (vgl. Abbildung 1), welche die Gebäude in der Schweiz ausmachen (Bundesamt für Energie, 2018).

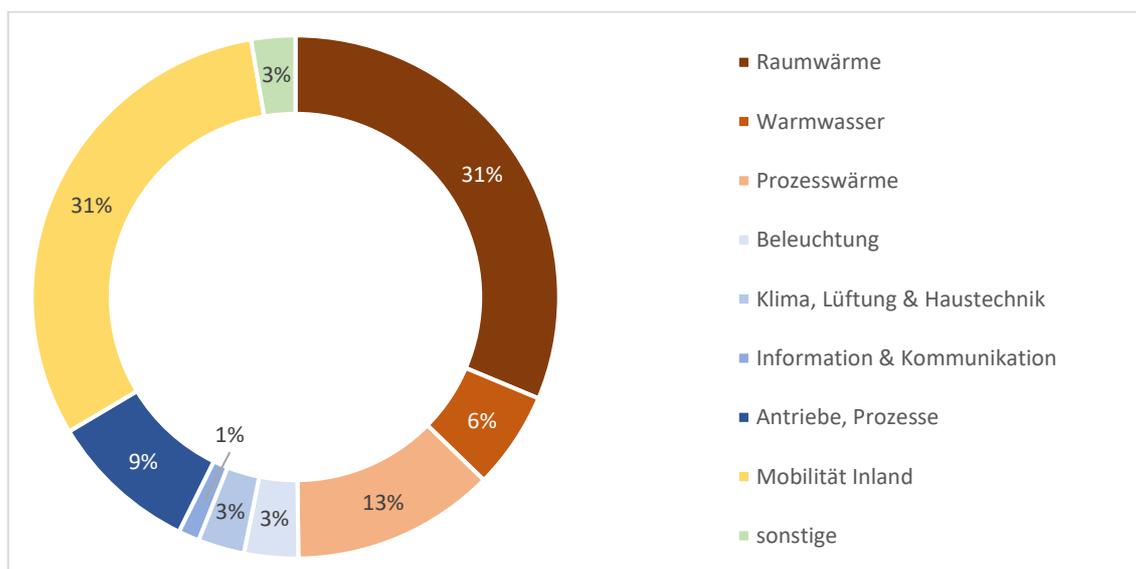


Abbildung 1: Endenergieverbrauch nach Verbrauchergruppen in der Schweiz im Jahr 2017 (Bundesamt für Energie, 2018, Abb. 7)

Die durch Gebäude verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen betragen gemäss der schweizerischen CO<sub>2</sub>-Statistik im Jahr 2017 rund 12.6 Millionen Tonnen (Bundesamt für Umwelt, 2019). In Abbildung 2 ist die Entwicklung seit 1990 dargestellt, der Verlauf der Kurve ist stark durch die Witterung beeinflusst. Allgemein ist im linearen Trend eine Absenkung zu erkennen, der Zielwert im Jahr 2020 wird dabei jedoch verfehlt.

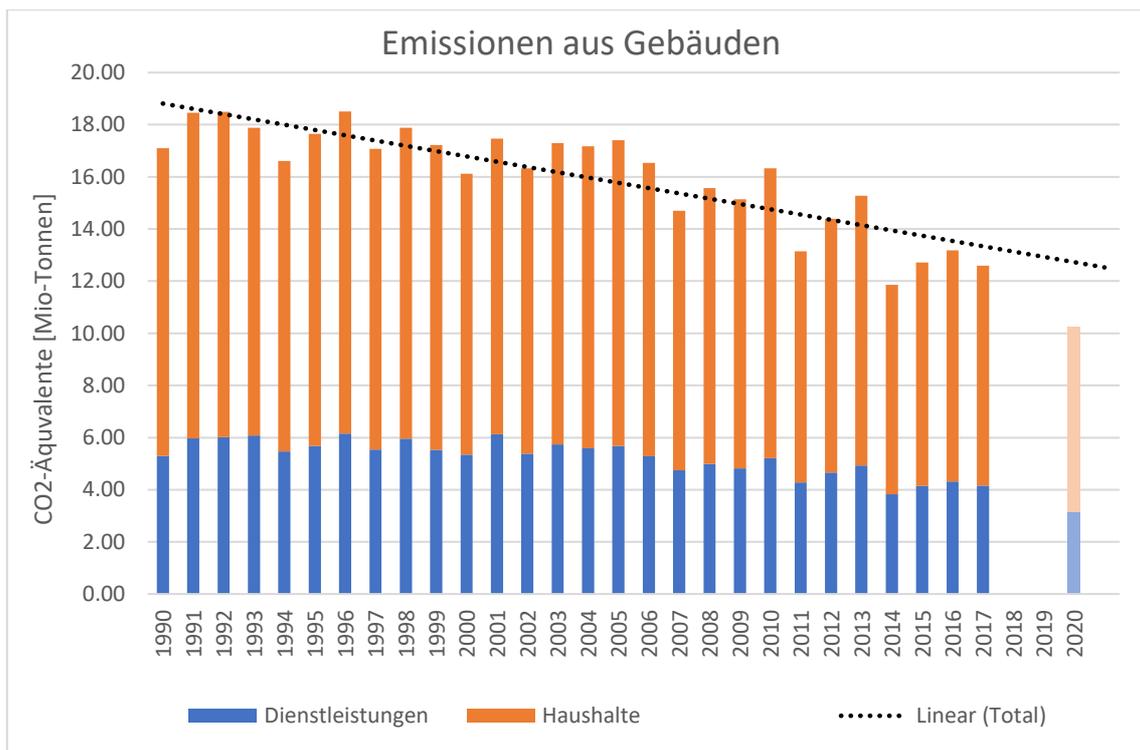


Abbildung 2: Treibhausgasemissionen aus Gebäuden gemäss CO2-Gesetz und Kyoto-Protokoll nach Bundesamt für Umwelt (2019, Tab. 4))

### Massnahmen zur Senkung der CO2-Emissionen

Um die CO2-Emissionen in der Schweiz zu senken, wurden auf Bundesebene verschiedenen Massnahmen definiert, unter anderem sollen mit dem revidierten Bundesgesetz über die Reduktion der CO2-Emissionen (CO2-Gesetz) (2011, Art. 1) die CO2-Emissionen aus fossilen Energieträgern reduziert werden und es besteht ein Aktionsplan zur Anpassung an den Klimawandel. Die Hoheit über die in dieser Arbeit relevanten Massnahmen im Gebäudebereich obliegt in der Schweiz den Kantonen, diese haben den im CO2-Gesetz definierten Auftrag, die Emissionen aus fossilen Energieträgern aus Gebäuden zielkonform zu senken (ebd. Art. 9).

Der Kanton Bern setzt dies, wie alle Kantone, mittels Vorschriften in den kantonalen Energiegesetzen sowie Fördermassnahmen um. Damit Neubauten weniger Energie verbrauchen, werden im kantonalen Energiegesetz (2012) und der dazugehörenden kantonalen Energieverordnung (2016) Grenzwerte für die Gebäudehülleneffizienz festgelegt. Im Bereich der bestehenden Gebäude wird in erster Linie mit der finanziellen Förderung von effektiven Sanierungsmassnahmen an der Senkung der CO2-Emissionen gearbeitet.

Für diese Arbeit ebenfalls relevant ist, die im kantonalen Energiegesetz (2012, Art. 10) definierte Aufgabe zur Erstellung von räumlichen Energieplanungen. Eine kommunale Richtplanung Energie muss dabei den räumlichen Energiebedarf im Ist-Zustand

ausweisen und die zukünftige Entwicklung prognostizieren. Davon ausgehend müssen Massnahmen formuliert werden, welche die räumliche Abstimmung von Angebot und Nutzung lokal vorhandener Energieträger (insbesondere durch Wärmeverbunde) verbessert.

### **1.3.2 Räumlicher Energiebedarf + Gebäudeenergieausweise (GEAK)**

Um den Energiebedarf sowie die Entwicklung des Anteils der erneuerbaren Energieträger aufzuzeigen, braucht es sogenannte Gebäudeparkmodelle. Ein solches Modell zeigt auf der Basisstufe den Energiebedarf pro Gebäude, den verwendeten Energieträger sowie weitere energierelevante Aspekte eines Gebäudes auf und lässt sich beliebig z.B. auf Gemeindeebene aggregieren.

Die GIS-basierte Modellierung von Energieverbräuchen ist kein neues Feld, sondern wird in verschiedenen Arbeiten beschrieben (Swan und Ugursal, 2009; Kavgić et al., 2010; Lim und Zhai, 2017). Diese Arbeiten analysieren und vergleichen jeweils verschiedene Modellierungsmethoden. Eine zentrale Erkenntnis aus diesen Vergleichen ist, dass die Methoden, welche für die Modellierung des Energiebedarfs aus Wohngebäuden entstehen, grundsätzlich in einen Bottom-Up oder Top-Down-Ansatz unterschieden werden. Zur räumlichen Beurteilung von Veränderungen kommt jedoch nur ein Bottom-Up-Ansatz in Frage, da nur so die gebäudespezifischen Eigenheiten räumlich modelliert und ausgewertet werden können

Eine weitere detaillierte Analyse zu verschiedenen Ansätzen wurde von Reinhardt und Cerezo Davila (2016) vorgenommen. Eine wesentliche Erkenntnis dieser Arbeit ist, dass es gemessene Verbrauchsdaten sowie geprüfte Angaben zur Effizienz der Gebäudehülle braucht, um Fehler und Unsicherheiten abschätzen zu können. Der grösste einheitliche Datensatz mit geprüften Angaben zu der Gebäudehülleneffizienz in der Schweiz findet sich in der Datenbank mit den Gebäudeenergieausweisen der Kantone (GEAK), welche durch den Verein "GEAK" geführt wird. Hintergrundinformationen zum GEAK sind dem Kapitel 2.1.1 zu entnehmen.

Die Nutzung der Gebäudeenergieausweise in Studien, welche den Zustand bzw. das Sanierungspotenzial des schweizerischen Gebäudeparks untersuchen, kommt häufig vor. Streicher et al. (2018) verwenden den GEAK um eine Beurteilung des aktuellen thermischen Leistungsniveaus des Schweizer Wohngebäudebestandes zu ermitteln. Wang et al. (2018) sowie Schneider et al. (2017a) nutzen den GEAK als zentralen Input zur Abschätzung des Energiebedarfs in einem schweizweiten Gebäudeparkmodell.

### 1.3.3 Gebäudemodelle + Gebäude- und Wohnungsregister (GWR)

In der Folge werden verschiedene GIS-basierte Gebäudemodelle zur Ermittlung des Wärmebedarfs aus der Schweiz vorgestellt. Diese Modelle greifen immer auf das nationale Gebäude- und Wohnungsregister (GWR) als Basisdatensatz zurück. Die wissenschaftlich geprägten Varianten sind in der Tabelle 1 zusammengefasst. Hintergrundinformationen zum GWR sind dem Kapitel 2.1.2 zu entnehmen

Tabelle 1: Übersicht nationaler Bottom-Up Gebäudemodellierungen

Bezeichnung	Autoren/Quelle	Datengrundlagen
Geo-abhängiges Wärmebedarfsmodell des schweizerischen Gebäudebestandes	Schneider et al. (2017b)	GWR, GEAK
Gebäudemodell CESAR (Combined Energy Simulation and Retrofitting)	Wang et al. (2018)	GWR
Gebäudeparkmodell (TEP)	Jakob et al. (2013)	GWR
Analyse des Raumwärmebedarfs im schweizerischen Wohngebäudebestand: Elementbasiertes Bottom-up-Modell von archetypischen Gebäuden	Streicher et al. (2019)	GWR, GEAK

Ausserdem stellen verschiedene Kantone Daten aus GIS-basierten Modellierungen z.H. kommunaler und regionaler Energieplanungen zur Verfügung. Verfasser sind meist privatwirtschaftliche Unternehmen, welche eher einfache Ansätze bei der Modellierung gewählt haben. Konkrete Umsetzungen bestehen in den Kantonen Bern, Luzern und St. Gallen. Dokumentiert sind diese Verfahren im Bericht "Kantonale Beispiele zur Erhebung der CO2-Emissionen aus Gebäuden" des Bundesamtes für Umwelt (2017). Diese Erhebungen beschränken sich jeweils auf die Erfassung des Ist-Zustandes.

#### Gebäudetypologie als Merkmal

Basis für diese Modellierungen bilden jeweils spezifische Gebäudeeigenschaften wie das Alter, die Gebäudeart, die Gebäudenutzung oder das lokale Klima. Vielfach werden aufgrund dieser Eigenschaften sogenannte Archetypen gebildet und der Gesamtbestand entsprechend gruppiert (Reinhart und Cerezo Davila, 2016).

Aksoezen et al. (2015) haben in Ihrer Studie detaillierte Untersuchungen zum Zusammenhang des Alters eines Gebäudes sowie seiner Kompaktheit in Bezug zum Energiebedarf durchgeführt. Untersuchungsgebiet war die Stadt Basel (Schweiz). Das Gebäudealter und die Gebäudeoberfläche weisen in dieser Studie eine starke Korrelation zum Energiebedarf auf.

Räumlich relevante Faktoren werden bei Modellierungen eher weniger beachtet, eine Ausnahme bildet die Modellierung von Wang et al. (2018), welche auch die Siedlungstypen "Städtisch", "Agglomeration" und "Ländlich" unterscheidet.

Zudem reduzieren gemäss Jakob et al. (2012) denkmalgeschützten Gebäuden die Sanierungsrate bei Vorhandensein lokal zwischen 5 % und 50%.

### **1.3.4 Zukünftige Entwicklung**

Abschätzungen zur zukünftigen Entwicklung des Wärmebedarfs von Gebäuden und der daraus resultierenden CO<sub>2</sub>-Emissionen sind eine wichtige Diskussionsgrundlage. Dies gilt insbesondere bei der Verfolgung der Zielsetzungen aus der nationalen Energiestrategie mit der Minderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen und der Steigerung der Energieeffizienz. Es wurde deshalb untersucht, ob und in welcher Form die bekannten Gebäudemodelle das zukünftige Sanierungsverhalten einbeziehen.

Wang et al. (2018) nutzen für die gebäudespezifischen Sanierungsprognosen fixe Sanierungswerte je Gebäudealter. Diese werden zusätzlich nach Bauteilen differenziert und bauen auf dem Kohorten basierten Gebäudeparkmodell von Jakob et al. (2009) auf. Das erweiterte Gebäudeparkmodell von Jakob et al. (2016) verfügt über einen Repräsentanten basierten Ansatz und modelliert die bauteilspezifischen Sanierungsraten in Abhängigkeit von der Wirtschaftlichkeit und Lebensdauer der jeweiligen Bauteile. Bei einer Fallstudie zu der Stadt Zürich weisen Jakob et al. (2012) jährliche und bauteilspezifische Erneuerungsraten zwischen 0.15 % und 3 % aus.

So lässt sich festhalten, dass die bekannten Modellierungen für die Berechnung des zukünftigen Energiebedarfs in der Regel Archetypen- und Kohorten-orientierte Ansätze verfolgen. Die kantonalen Modelle fokussieren aktuell vor allem auf den Ist-Zustand des Energiebedarfs und nicht auf den zukünftigen Zustand.

### **1.3.5 Monte-Carlo-Ansatz**

Die Nutzung eines Monte-Carlo-Ansatzes für Ermittlung des zukünftigen Energiebedarfs von Gebäuden ist noch wenig erforscht. Zheng et al. (2019) nutzen eine Monte-Carlo-Simulation zur Entscheidungsfindung für Sanierungen, wobei die wirtschaftlichen Abwägungen im Vordergrund stehen. Die Inputparameter in die Simulation sind entsprechend die Investitionskosten, die Energieeinsparungen und der Energiepreis.

Mehrfache Anwendung findet die Monte-Carlo-Simulation bei der Verifikation der Resultate im Zusammenhang mit dem Energiebedarf von Gebäuden, so z.B. bei Baldi et al. (2016).

Entsprechend stellt der formulierte Ansatz eine nicht gänzlich, aber zumindest teilweise neuartige Methode für die Ermittlung der Entwicklung des räumlichen Energiebedarfes dar.

#### **1.4 Abgrenzung**

Hauptfokus der Arbeit liegt auf der Methodik für die Ermittlung der Sanierungswahrscheinlichkeiten und deren räumlicher Verteilung. Im Vordergrund stehen die gebäude- und lagespezifischen Aspekte und deren Wahrscheinlichkeiten. Sozialdemographische und wirtschaftliche Begebenheiten werden, wenn überhaupt, ausschliesslich indirekt berücksichtigt.

Als zeitliche Auflösung dient der Jahreswärmebedarf pro Gebäude, klimatische Unterschiede werden nur indirekt auf Basis der Berechnungsmethodik des Wärmebedarfs berücksichtigt.

Das Untersuchungsgebiet beschränkt sich auf den Kanton Bern. Der Untersuchungszeitraum wird auf 15 Jahre festgelegt. Dies entspricht einem Zeitraum, der für kommunale Richtplanungen z.B. einer Richtplanung Energie<sup>1</sup> relevant ist. 15 Jahre sind ungefähr auch die Zeitspanne, in welcher Hauseigentümerschaften mindestens einmal über den Ersatz ihrer Heizanlage entscheiden müssen, da diese am Ende ihrer durchschnittlichen Lebensdauer angelangt ist.

Als Grundlage für die räumliche Auswertung des Heizwärmebedarfs von Wohngebäuden wird auf Datensätze der bestehenden Energiebedarfsberechnung des Kantons Bern zurückgegriffen, welche für alle beheizten Gebäude des Kantons einen Wärmebedarf aufweist.

---

<sup>1</sup> In einer Richtplanung Energie können von den kommunalen Behörden grundeigentümergebundene Festlegungen zur Wärmeenergienutzung und -versorgung gemacht werden.

## 1.5 Gliederung, Vorgehen und verwendete Software

In diesem Unterkapitel werden die Gliederung und das Vorgehen beschrieben, um die Fragestellung zu bearbeiten und die gesuchte Methode bzw. das Modell sowie die Simulation zu erarbeiten und zu testen.

Die vorliegende Arbeit ist in sechs Kapitel gegliedert. Im ersten Kapitel werden Motivation, Zielsetzung und Abgrenzungen definiert. Im zweiten Kapitel folgen die Erläuterungen zu den Datengrundlagen und der Methodik bezüglich der Erarbeitung des Erklärungsmodells sowie der Simulation. In Kapitel Drei werden die Simulationsergebnisse beschrieben und ein Variantenentscheid getroffen. Mit den Kapiteln Vier und Fünf werden die Ergebnisse dargestellt und diskutiert. Zum Schluss folgt in Kapitel Sechs die Schlussfolgerung und ein Ausblick.

Der in Abbildung 3 dargestellte Workflow zeigt das Vorgehen und die Bearbeitungsschritte zuhanden der Ermittlung der Entwicklung des räumlich differenzierten Wärmebedarfs. Der Fokus liegt im Bereich der Modellbildung und der Simulation.

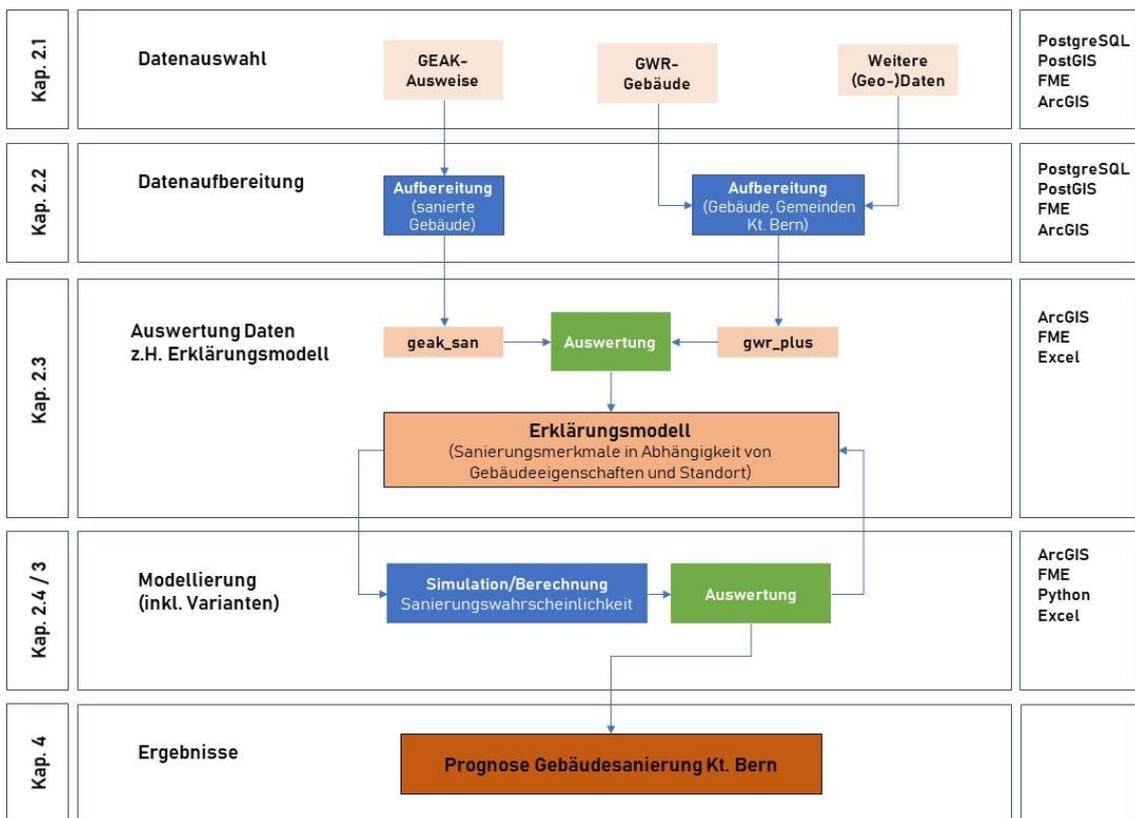


Abbildung 3: Schema, Aufbau und Vorgehen der Modellierung

Wie auf der rechten Seite der Abbildung 3 ersichtlich ist, werden zur Bearbeitung der Daten und Durchführung der Simulation unterschiedliche Programme und Software verwendet. In der Tabelle 2 sind die entsprechenden Produkte und Versionen aufgelistet.

Tabelle 2: Verwendete Software

<b>Bezeichnung (Version)</b>	<b>Hersteller/Beschreibung</b>	<b>Anwendungen/Funktionen</b>
ArcGIS Pro (2.4)	GIS-Software von Esri	Räumliche Analysen wie z.B. [Spatial-Join], [Raster Calculator] und Visualisierungen
FME (2019.2)	Safe	Datenmodellierung und -transformationen
PostgreSQL / PostGIS (11 / 2.5)	Datenbanksystem (Open Source)	Datenhaltung
Excel (2019)	Microsoft	Pivot-Auswertungen
Python (2.7 / 3.6)	Programmiersprache	Datenprozessierung und -modellierung

## 2 Methodik I (Aufbau Erklärungsmodell / Simulation)

Zu Beginn dieser Arbeit werden mögliche Grundlagendaten untersucht und die Vorgehensweise definiert, um das Erklärungsmodell und die Simulation aufzubauen. Dazu werden mit Hilfe von räumlichen und statistischen Analysen, aus den nutzbaren Datengrundlagen mögliche Erklärungsmuster für die Sanierung bzw. Nichtsanierung von Gebäuden ermittelt. Diese Muster bzw. das Erklärungsmodell bilden anschliessend den Ausgangspunkt für den Aufbau der Simulation.

### 2.1 Datenauswahl

In diesem Kapitel werden die für die Modellierungen untersuchten und zur Verwendung bestimmten Datensätze beschrieben. Bei der Auswahl der Datensätze steht im Vordergrund, dass diese einen direkten oder indirekten Bezug zu Gebäuden oder dem Energiebedarf von Gebäuden haben. Die Daten sollen zudem möglichst frei verfügbar sein.

#### 2.1.1 Gebäudeenergieausweis der Kantone (GEAK)

Mit dem Gebäudeenergieausweis der Kantone (GEAK) wird ein Gebäude anhand der Qualität der Gebäudehülle klassifiziert. Die Klassifikation entspricht der bekannten Energieetikette von A - G (sehr energieeffizient - wenig energieeffizient). Der Ausweis ermöglicht einen aussagekräftigen Vergleich verschiedener Gebäude, da er ausschliesslich die Menge an Energie vergleicht, die ein Gebäude bei einer standardisierten Nutzung benötigt. Die Berechnung basiert auf der Schweizer Norm SIA 380/1, der Standardmethodik für die Berechnung der Wärmeenergie in Gebäuden (Verein GEAK, 2019).

Gemessen an der Zahl der Ausweise verfügt der Kanton Bern schweizweit über die meisten GEAK. Dieser Umstand gründet auf einer bestehenden Verknüpfung mit dem kantonalen Förderprogramm für Gebäudesanierungen und der Nutzung von erneuerbaren Energien. Das heisst: Kann kein GEAK vorgewiesen werden, werden auch keine Fördergelder ausbezahlt.

Bezeichnung	Gebäudeenergieausweise der Kantone (GEAK)
Datenbezug	Amt für Umwelt und Energie (AUE) Kt. Bern
Datenherr	Verein GEAK / Konferenz kantonalen Energiedirektoren
Datentyp	CSV-Datei
Zeitstand	2019
Verwendet	Kantonaler Auszug / Report
Zugang	nicht öffentlich

### 2.1.2 Eidgenössisches Gebäude und Wohnungsregister (GWR)

Das eidgenössische Gebäude und Wohnungsregister wird vom Bundesamt für Statistik (BFS) bewirtschaftet. Datenlieferanten bzw. -erfasser sind die Gemeindebehörden. Es umfasst alle Gebäude mit Wohnnutzung und grösstenteils auch die Gebäude ohne Wohnnutzung. Basis bilden vergangene Volkszählungen sowie vergangene und aktuelle baupolizeiliche Bewilligungsvorgänge zu Gebäuden.

Die wesentlichen Merkmale im GWR sind der eidg. Gebäude- und Wohnungsidentifikator (EGID), die Gebäudeadresse, die Standortkoordinaten, das Baujahr, die Wohnungsfläche und Heizungsart des Gebäudes. Im GWR sind über 270'000 Datensätze zu Gebäuden im Kanton Bern erfasst.

Bezeichnung	Gebäude- und Wohnungsregister (GWR)
Datenbezug	Bundesamt für Statistik (BFS)
Datenherr	Bundesamt für Statistik (BFS) / Gemeinden (CH)
Datentyp	CSV-Datei
Zeitstand	2019
Verwendet	Kantonaler Auszug
Zugang	nicht öffentlich

### 2.1.3 Ergänzende Datengrundlagen

#### Raumgliederung

Das Bundesamt für Statistik (BFS) publiziert jährlich aktualisierte Geodaten zur Raumgliederung und der Gemeindetypologie in der Schweiz. Im Rahmen dieser Arbeit werden die Typisierung 2000 und die Typisierung 2012 auf einer Aggregationsstufe mit 9 Typen verwendet. Die Einteilung der Gemeinden erfolgt jeweils mit einem mehrstufigen Verfahren.

Typisierung 2000: 1. Stufe Zugehörigkeit zu einer Agglomeration und Unterscheidung ob Teil einer Metropolitan Region oder nicht. 2. Stufe Berücksichtigung der Kriterien Zentrumsfunktion, Arbeitsplatzdichte, Gebäudestruktur und das Einkommen der Bevölkerung zur Verwendung (Bundesamt für Statistik, 2005).

Typisierung 2012: 1. Stufe Unterscheidung nach dem städtischen Charakter. 2. Stufe Beurteilung nach Dichte und Grösse und Erreichbarkeit (Bundesamt für Statistik, 2017).

Bezeichnung	Raumgliederung / Gemeindetypologie
Datenbezug	Applikation der Schweizer Gemeinden ( <a href="http://www.agvchapp.bfs.admin.ch">www.agvchapp.bfs.admin.ch</a> )
Datenherr	Bundesamt für Statistik (BFS) / Gemeinden (CH)
Datentyp	Excel-Datei
Zeitstand	2019
Zugang	öffentlich

### Kantonales Bauinventar (Bauinv)

Das kantonale Bauinventar beinhaltet alle beschriebenen und bewerteten Baudenkmäler des Kantons Bern. Es soll Hinweise zu möglichen Erschwernissen bzw. Hindernissen für die Sanierung von Gebäudehüllen liefern, da diese unter Umständen konkreten Auflagen unterliegen.

Die wesentlichen Merkmale sind der kantonale Gebäudeidentifikator, Standortkoordinaten und ein URL-Link zum Objektbeschreibung (PDF). Die registrierten Gebäude werden in drei Kategorien unterteilt: schützenswertes Objekt, erhaltenswertes Objekt und Anhangobjekte.

Bezeichnung	Bauinventar (BAUINV_BAUINV)
Datenbezug	Geoportal des Kantons Bern ( <a href="http://www.geo.apps.be.ch">www.geo.apps.be.ch</a> )
Datenherr	Amt für Kultur des Kantons Bern, Fachstelle Denkmalpflege
Datentyp	Shapefile (Vektordaten)
Zeitstand	2019
Zugang	öffentlich

### Durchschnittliches Reineinkommen pro Gemeinde

Die Steuerverwaltung des Kantons Bern und das Amt für Geoinformation des Kantons Bern publizieren öffentlich zugängliche Geodaten zum Reineinkommen und – vermögen pro Gemeinde. Es werden ausschliesslich Personen mit voller Steuerpflicht (Domizil) betrachtet. Quellensteuerpflichtige Personen werden nicht berücksichtigt.

Das Merkmal Reineinkommen beinhaltet das Total der Einkünfte ohne die Gewinnungskosten (effektive Kosten zur Einkommenserzielung). Das Reinvermögen besteht aus der Summe der Vermögenswerte minus der Summe der Schulden.

Bezeichnung	Durchschnittliches Reineinkommen und Reinvermögen (Kantonssteuer) in CHF pro Gemeinde
Datenbezug	Geoportal des Kantons Bern ( <a href="http://www.geo.apps.be.ch">www.geo.apps.be.ch</a> )
Datenherr	Finanzverwaltung des Kantons Bern
Datentyp	Shapefile (Vektordaten)
Zeitstand	2015
Zugang	öffentlich

### Erdsondenkarte

Das Erstellen von Erdwärmesonden im Kanton Bern Bedarf einer Bewilligung des Amtes für Wasser und Abfall (AWA). Die Erdsondenkarte bzw. der entsprechende Datensatz zeigt auf, ob eine Erdwärmesonde bewilligt werden kann oder nicht, ob eine Tiefenbeschränkung besteht oder ob allenfalls genauere Abklärungen notwendig sind. Grundlage für die Karte sind die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im Untergrund.

Bezeichnung	Bewilligung Erdwärmesonden (ERDSOND)
Datenbezug	Geoportal des Kantons Bern ( <a href="http://www.geo.apps.be.ch">www.geo.apps.be.ch</a> )
Datenherr	Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern
Datentyp	Shapefile (Vektordaten)
Zeitstand	2019
Zugang	öffentlich

### Grundwassernutzungskarte

Jegliche Nutzung des Grundwassers benötigt eine Konzession des Amtes für Wasser und Abfall (AWA). Die Karte Grundwassernutzung zeigt auf, wo eine Nutzung von Grundwasser grundsätzlich möglich ist. Eine konkrete Erteilung einer Konzession bedarf jedoch einer detaillierten Abklärung zu nahegelegenen bestehenden Bezugsrechten und anderen Konzessionen. Grundlage für die Karte sind die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im Untergrund.

Bezeichnung	Grundwassernutzung (GWN)
Datenbezug	Geoportal des Kantons Bern ( <a href="http://www.geo.apps.be.ch">www.geo.apps.be.ch</a> )
Datenherr	Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern
Datentyp	Shapefile (Vektordaten)
Zeitstand	2019
Zugang	öffentlich

### Bauzonenplan

Jede Gemeinde im Kanton Bern verfügt über einen vom Kanton genehmigten Bauzonenplan. Das Kantonale Amt für Gemeinden und Raumordnung erstellt aus den genehmigten Plänen einen kantonalen Übersichtszoneplan, welcher die kommunalen Pläne generalisiert und darstellt.

Bezeichnung	Bauzonen (UZP)
Datenbezug	Geoportal des Kantons Bern ( <a href="http://www.geo.apps.be.ch">www.geo.apps.be.ch</a> )
Datenherr	Amt für Gemeinden und Raumordnung des Kantons Bern
Datentyp	Shapefile (Vektordaten)
Zeitstand	2019
Zugang	öffentlich

### SRTM Höhenmodell

Die SRTM-Daten sind aufbereitete Höhendaten aus der "Shuttle Radar Topography Mission" der NASA aus dem Jahr 2000. Dies ist ein eher grobes Raster, aber für den Vergleich von gruppierten Höhenlagen reicht dieser Datensatz aus.

Bezeichnung	SRTM - Höhemodell
Datenbezug	SRTM Webseite ( <a href="http://srtm.csi.cgiar.org">http://srtm.csi.cgiar.org</a> )
Datenherr	International Centre for Tropical Agriculture (CIAT)
Datentyp	ASCII (Rasterdaten – SRTM 90m DEM V4))
Zeitstand	2000
Zugang	öffentlich

## **2.1.4 Energiebedarfsberechnung Kanton Bern (EBBE)**

### Energiebedarf Wohnflächen

Die Energiebedarfsrechnung des Kantons Bern ist ein kantonaler Datensatz welcher als Planungsgrundlage z.B. für die Erstellung von Energie-Richtplanungen verwendet wird. Grundlage bildet eine auf dem Gebäude- und Wohnungsregister (GWR) basierende Methode, mit welcher der Energiebedarf für Wohngebäude sowie den bewohnten Teil von Gebäuden mit Mischnutzungen ermittelt werden kann. Der berechnete Energiebedarf beinhaltet sowohl Raumwärme als auch Warmwasser. Die Energiebedarfsberechnung schätzt dabei den Wärmebedarf auf Basis der verwendeten Energieträger ab.

Der Energiebedarf wird je Gebäude auf der Grundlage aktualisierter GWR-Merkmale und Energiekennzahlen berechnet. Die Aktualisierung der GWR-Daten betrifft

hauptsächlich das Merkmal Energieträger für Heizung und Warmwasser, welches aufgrund weiterer Datensätze (z.B. Feuerungskontrolle und Förderprogramme) auf den neuesten Stand gebracht wird. Die Energiekennzahlen werden für jeden Berechnungsstand auf der Grundlage der aktuell verfügbaren Gebäudeenergieausweise aktualisiert.

Bezeichnung	Energiebedarfsdaten Kt. Bern (EBBE - Wohnen)
Datenbezug	Amt für Umwelt und Energie des Kanton Bern (AUE)
Datenherr	Amt für Umwelt und Energie des Kanton Bern (AUE)
Datentyp	Shapefile (Vektordaten)
Zeitstand	2016
Zugang	nicht öffentlich

### Energiebedarf im Industrie- und Dienstleistungssektor (InDi)

Als Ergänzung bzw. Erweiterung der Energiebedarfsberechnung wurde der fehlende Energiebedarf von Industrie und Dienstleistungsgebäuden auf Basis von schweizweiten Beschäftigten- und Energiekennzahlen ermittelt. Für die Berechnung des Energiebedarfs der Betriebe werden im Hektarraster georeferenzierte Daten zur Betriebsstruktur mit Kennzahlen aus der gesamtschweizerischen "Statistik des Energieverbrauchs in der Industrie und im Dienstleistungssektor" verrechnet. Die statistischen Werte basieren auf Stichprobenerhebungen und Hochrechnungen.

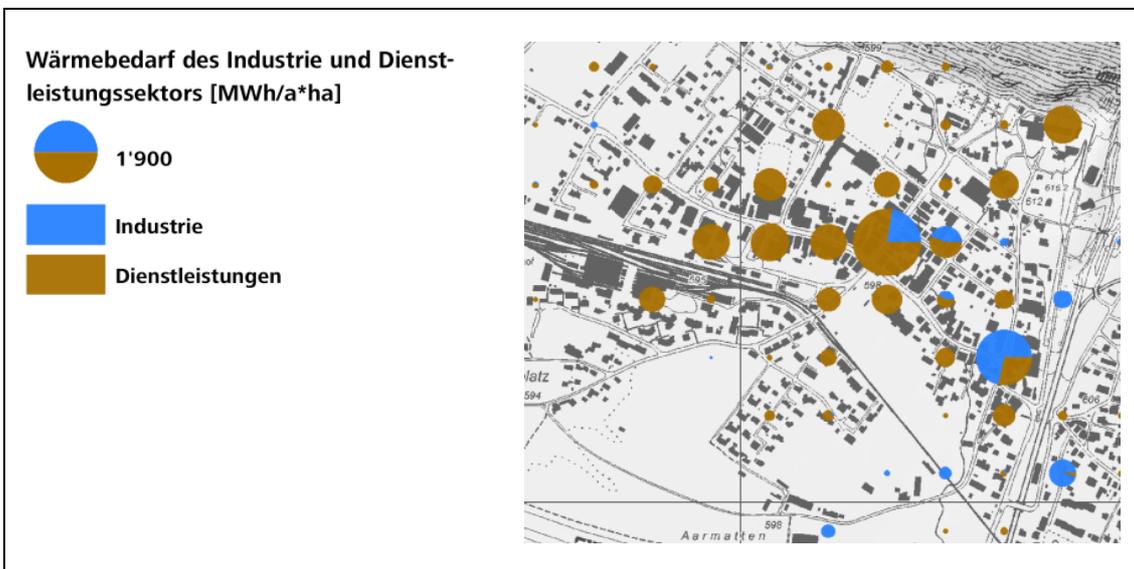


Abbildung 4: Beispiel Datenvisualisierung Energiebedarf im Industrie- und Dienstleistungssektor

Während die Daten zum Energiebedarf Wohnen (EBBE) die energetisch relevanten Gegebenheiten relativ gebäudenah abbilden und mit dem Einbezug von GEAK-Daten die

beste lokal verfügbare Datenquelle mit berücksichtigen, sind die Angaben zum Energiebedarf der Betriebe mit grösseren Unschärfen behaftet. Diese sind darauf zurückzuführen, dass die verwendeten Kennzahlen schweizerische Branchenmittelwerte abbilden und die lokalen betrieblichen Gegebenheiten bestenfalls annähern. Diese Unterschiede sind im Umgang mit den beiden Datensätzen zu berücksichtigen. Bezugsberechtigt sind in erster Linie die kommunalen Behörden im Rahmen von Energieplanungen.

Bezeichnung	Energiebedarfsdaten Kt. Bern (EBBE - Industrie und Dienstleistungen)
Datenbezug	Amt für Umwelt und Energie des Kanton Bern (AUE)
Datenherr	Amt für Umwelt und Energie des Kanton Bern (AUE)
Datentyp	Shapefile (Vektordaten)
Zeitstand	2017
Zugang	nicht öffentlich (Zugang auf Nachfrage)

### 2.1.5 Nicht erhältliche oder nutzbare Daten

Die Nutzung weiterer Datenquellen wie z.B. Daten der Gebäudeversicherung wurde abgeklärt, ist aber aufgrund des Datenschutzes nicht möglich. Ebenfalls geprüft wurde die Verwendung von OSM-Daten, diese Daten bringen jedoch, sei es als Gesamtes oder bei einzelnen Attributen, keinen Mehrwert. Deswegen wurde von einer Verwendung abgesehen.

#### Zwischenfazit

Als Grundgesamtheit für die Datenauswertung werden die in diesem Kapitel vorgestellten Daten angesehen. Jeder dieser Datensätze hat einen direkten oder indirekten Bezug zu Gebäuden oder dem Energiebedarf von Gebäuden. Falls noch nicht vorhanden, können diese Daten aufgrund eines Merkmals oder mittels Georeferenzierung einem Gebäude zugewiesen werden.

Die beiden zentralen Datensätze sind das Gebäude- und Wohnungsregister (GWR) sowie die Gebäudeenergieausweise (GEAK). Damit diese Datensätze genutzt werden können, werden sie einem "Pre-Processing" unterzogen (vgl. Kapitel 2.2.1 und 2.2.2).

## 2.2 Datenaufbereitung

Das Kapitel Datenaufbereitung und Merkmalsauswahl beschreibt die notwendigen Bearbeitungsschritte zur Nutzung der verwendeten Datensätze und der Auswahl der Merkmale z.H. des Erklärungsmodells. Hierzu werden als Zwischenschritt auch Gebäude eruiert, welche bereits saniert wurden.

### 2.2.1 Aufbereitung und Ergänzung GWR -Datensatz

Im kantonalen Auszug des Gebäude- und Wohnungsregisters (GWR) sind 274'979 Einträge enthalten. Während der Aufbereitung dieser Datensätze werden Einträge zu Gebäuden entfernt, die nicht dem Gebäudestatus "bestehend" entsprechen, dies sind z.B. Gebäude, die bereits abgerissen wurden. Die Energieträger für Warmwasser und Heizung werden mittels eines [Join] zugewiesen, dies ist notwendig, da sie in einem separaten CSV-File geliefert wurden. Abschliessend werden die verbleibenden 269'367 Datensätze in FME georeferenziert ([VertexCreator]).

In einem weiteren Schritt werden die GWR-Daten um die zu überprüfenden gemeindespezifischen und standortabhängigen Attribute ergänzt. Dies ist notwendig für die Ermittlungen z.H. des Erklärungsmodells. Die standortabhängigen Attribute werden mittels der Funktion [Spatial Join] in ArcGIS Pro zugewiesen. Dies betrifft z.B. den Bauzonenplan, die Erdsonden- und die Grundwassernutzungsgebiete, deren Flächenwerte/Attribute den GWR-Punktdateien zugewiesen werden. Beim Höhenmodell erfolgt die Verknüpfung mit der Funktion [Add Surface Information]. Zum Schluss wird eine Distanzanalyse (zum nächstgelegenen Gebäudenachbarn) mit der Funktion [Near] durchgeführt und die Werte ebenfalls den GWR-Gebäudeeinträgen übergeben.

Bei den gemeindespezifischen Datensätzen kann es sein, dass aufgrund von Gemeindefusionen und verschiedenen Zeitständen unterschiedliche Grenzperimeter oder Gemeindennamen vorliegen. Diese werden auf den neuesten Gemeindeperimeter angepasst, wobei die Daten des bevölkerungsreichsten Gemeindeteils übernommen werden und in die Berechnung einfließen.

Die gesamten aufbereiteten Daten werden mittels eines FME-Processing zusammengeführt und mit einem Export in eine PostGIS-Datenbank abgelegt. Von der Datenbank aus können die Daten anschliessend für die weiteren Auswertungen z.H. des Erklärungsmodells genutzt werden. Der neue Datensatz erhält die Bezeichnung "gwr\_plus".

## 2.2.2 Aufbereitung GEAK-Datensatz und Ermittlung von energetisch sanierten Gebäuden

Im kantonalen Auszug der Gebäudeenergieausweise (GEAK) sind 16'775 Einträge enthalten. Die Daten sind in der abgegebenen Form jedoch nicht direkt verwendbar. Der Gebäudeidentifikator (EGID) ist mit dem Identifikator des Gebäudeeingangs (EDID) verknüpft und nicht immer eindeutig. Zudem können pro Gebäude mehrere GEAK vorliegen. Auch dies wird im Rahmen eines "Pre-Processing" und eines separaten FME Workflows bearbeitet und wo nötig korrigiert (vergleiche dazu Kapitel 2.2.1).

Des Weiteren werden in diesem Prozessschritt anhand der GEAK-Ausweise die Gebäude identifiziert, welche eine Sanierung aufweisen. Die Identifikation der sanierten Gebäude erfolgt nach folgendem Grundsatz: Falls an einem Gebäude ein Bauteil saniert wurde, ist im dazugehörigen GEAK eine Jahrzahl erfasst, in dem diese Sanierung vorgenommen wurde. Es stehen dazu die Attribute Sanierungsjahr Aussenwand, Sanierungsjahr Bauteil gegen Erdreich oder Keller, Sanierungsjahr Dach, Sanierungsjahr oberste Geschossdecke und Jahr Fenstereinbau zur Verfügung. Es wird davon ausgegangen, dass ein Gebäude saniert wurde, wenn mindestens ein Bauteil eine Jahrzahl aufweist, die jünger ist als das Baujahr des Gebäudes (siehe dazu auch Abbildung 5). Die zweite Möglichkeit der Identifikation der Sanierung eines Gebäudes ist, dass ein Gebäude über mehrere GEAK verfügt und die ausgewiesene Gebäudehülleneffizienz des neuesten GEAK besser ist als die Gebäudehülleneffizienz in den vorangehenden GEAKs. Die Gebäudehülleneffizienz entspricht der gebäudespezifischen Energiekennzahl, welche den gemäss der SIA-Norm 380/1 normierten Wärmebedarf in kWh/m<sup>2</sup>\*a ausweist.

Logic	Left Value	Opera...	Right Value
	Sanierungsjahr Aussenwand	>	0
OR	Sanierungsjahr Bauteile gg. Erdreich o...	>	0
OR	Sanierungsjahr Dach	>	0
OR	Sanierungsjahr oberste Geschossdecke	>	0
OR	Jahr Fenstereinbau	>	Baujahr
OR	Sanierungsjahr Aussenwand	>	Baujahr

Abbildung 5: Ausschnitt FME-Workspace -Bedingungen Gebäudesanierung mit dem Transformer [TestFilter]

Output dieses Prozesses ist der CSV-Datensatz "geak\_San" welcher alle Gebäudeidentifikatoren (EGID) zu Gebäuden mit einer Sanierung enthält.

Insgesamt wurden im Kanton Bern 4'163 Gebäude identifiziert, die zumindest teilweise (also min. ein Bauteil davon) saniert wurden. Bei einem Gesamtgebäudebestand von 241'600 beheizten Gebäuden entspricht dies einem Anteil von 1.7 %.

Es ist zwar möglich, die sanierten Gebäude oder die Teile davon jeweils einem spezifischen Sanierungsjahr zuzuweisen, jedoch kann aufgrund der bestehenden Gebäudeenergieausweise nicht auf den Umfang und den zeitlichen Verlauf von Sanierungen beim Gesamtgebäudepark geschlossen werden.

## **2.3 Erklärungsmodell**

### **2.3.1 Vergleich und Auswahl von Merkmalen**

Das Erklärungsmodell gründet auf der Analyse sowie dem Vergleich der aufbereiteten Grundlagendatensätze sanierte Gebäude (geak\_san) und dem mit Zusatzmerkmalen angereicherten Gesamtgebäudebestand (gwr\_plus). Die Aufbereitung der Datensätze ist in Kapitel 2.2.1 und 2.2.2 beschrieben. Um die in diesen Datensätzen enthaltenen Merkmale und Muster bezüglich der energetischen Sanierung von Gebäuden zu erkennen, werden die Eigenschaften der sanierten Gebäude mit den Eigenschaften der Gebäude im Gesamtbestand des Kantons Bern verglichen. Differenzen in der Verteilung der Gegenüberstellung geben dann Aufschluss zu der möglichen Verwendung der Merkmale im Rahmen des Erklärungsmodells. Ziel ist es, Kriterien zu definieren, die Aussagen ermöglichen wie wahrscheinlich die zukünftige Sanierung eines zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht sanierten Gebäudes ist.

#### Vorgaben für Auswahl der Merkmale

Der Vergleich der beiden Datensätze erfolgt immer über den eidgenössischen Gebäudeidentifikator (EGID), über welchen die sanierten Gebäude mit dem Gesamtgebäudebestand verknüpft werden. Um als relevant ausgewählt zu werden, muss ein Merkmal folgende Kriterien erfüllen:

- Es ist ein Unterschied in der Verteilung je Merkmal zwischen dem Gesamtgebäudebestand und den sanierten Gebäuden vorhanden. Als Massstab wird hierzu die gewichtete mittlere Abweichung der Differenzen in der Verteilung der Gebäude gemäss Merkmal verglichen.
- Die Merkmale müssen thematisch und technisch unabhängig sein, das heisst, sie sollen sich thematisch und technisch nicht mit anderen Merkmalen überschneiden. Als Beispiel sei hier die Verwendung des Heizenergieträgers und des Energieträgers der Warmwasseraufbereitung genannt. Hier bestehen je nach Anlage (bei

gleichzeitiger Aufbereitung von Heizwärme und Warmwasser) klare technische Abhängigkeiten.

Die Anzahl der Merkmale wird zur programmiertechnischen Vereinfachung auf vier Merkmale festgelegt. Es sollen nach Möglichkeit zwei gebäudespezifische sowie zwei nicht gebäudespezifische Merkmale berücksichtigt werden.

#### Kriterien für Auswahl der Merkmale

Die Auswahl der Merkmale erfolgt anhand einer Bewertungsmatrix (siehe nachfolgende Tabellen) wobei zwei Kriterien BK1 und BK2 berücksichtigt werden. Das Resultat bzw. die Bewertung (M) entspricht dem Mittelwert von BK1 und BK2.

Das Bewertungs-Kriterium 1 (BK1) widerspiegelt die Bewertung der gewichteten mittleren Abweichung (gmA). Die ermittelten Werte werden dazu auf ganze Prozent gerundet und gemäss der nebenstehenden Aufstellung bewertet. 5 % gewichtete mittlere Abweichung ergeben folglich 3 Punkte beim Bewertungskriterium 1.

gmA in Prozent	Punkte
0 %	0
1-2 %	1
3-4 %	2
5-6 %	3
7-8 %	4
9-10 %	5

Das Bewertungs-Kriterium 2 (BK2) entspricht einer Bewertung sowie Abschätzung zur Eignung der Merkmale aufgrund von Abhängigkeiten untereinander sowie der allgemeinen Nutzbarkeit. Bei der Einschätzung der Nutzbarkeit steht die Eignung der Werte bzw. der Gruppierung des Merkmals im Vordergrund. Zum Beispiel wird das Merkmal Warmwasserversorgung tief bewertet, da nur die zwei Werte "mit Warmwasserversorgung" und "ohne Warmwasserversorgung" vorhanden sind und gleichzeitig der Wert "mit Warmwasserversorgung" 90 % der Einträge auf sich vereint. Hohe Bewertungen werden vergeben, wenn die Eigenschaftswerte ordinal sind und einen gegenläufigen Trend aufweisen, wie das z.B. bei der Bauperiode der Fall ist. Das BK2 hat ein höheres Gewicht als das BK1, es werden beim BK2 zwischen 1 und 10 Punkte vergeben.

Die Merkmale werden in raumspezifische Merkmale sowie Merkmale auf Gebäude- und Gemeindeebene unterschieden. Die Merkmale auf Gebäudeebene sind für jedes einzelne Gebäude im Kanton Bern bekannt und differenziert, dazu gehören die Merkmale Bauperiode und Gebäudekategorie. Die Merkmale auf Gemeindeebene bezeichnen Merkmale, die nur auf Gemeindeebene vorhanden sind, dazu gehören der Gemeindetyp und das durchschnittliche Reineinkommen. Die Merkmale auf Gemeindeebene sind folglich jeweils für alle Gebäude innerhalb einer Gemeinde gleich.

Ergebnisse zur Auswahl der Merkmale

In den nachfolgenden Tabellen werden die Resultate zur Auswahl der Merkmale dargestellt. Details zu den Eigenschaften der einzelnen Merkmale werden anschliessend in den Kapiteln 2.3.2 und 2.3.3 erörtert. Die Merkmale, welche für das Erklärungsmodell genutzt werden können, haben jeweils ein Wert höher oder gleich 4.5 bei dem von Bewertungskriterien BK1 und BK2 abgeleiteten Mittelwert (M) erreicht.

Tabelle 3: Bewertung und Übersicht analysierte raumspezifische Merkmale

Bezeichnung Merkmal	Kurzbeschreibung/ Räumlicher Vergleich ...	Quelle/ Datensatz	gmA	BK1	BK2	M
<b>Erdsonden</b>	... der Gebäudestandorte innerhalb und ausserhalb von Gebieten in welchen Erdsonden genutzt werden können	ERD-SOND	8.0 %	4	4	4
<b>Grundwasser</b>	... der Gebäudestandorte innerhalb und ausserhalb von Gebieten in welchem Grundwasser genutzt werden kann	GWN	0.1 %	0	4	2
<b>Höhenlage</b>	... der Gebäudestandorte nach Höhenlage	DHM	8.0 %	4	4	4
<b>Bauzone</b>	... der Gebäudestandorte nach Bauzonentyp	UZP	7.0 %	4	4	4
<b>Gebäudedichte</b>	... der Gebäudestandorte zueinander (Distanz in Meter und Distanz gruppiert je 10 Meter)	GWR	4.3 %	2	4	3

Die Tabelle 3 zeigt, dass keines der raumspezifischen Merkmale für das Erklärungsmodell ausgewählt wurde. Die Merkmale Erdsonden, Höhenlage und Bauzone weisen zwar gute Werte bei der gewichteten mittleren Abweichung (gmA) bzw. dem Bewertungskriterium 1 aus, haben aber beim Bewertungskriterium 2 jeweils nur 4 von möglichen 10 Punkten erhalten und kommen so knapp nicht als Merkmal für das Erklärungsmodell in Frage.

Tabelle 4: Bewertung und Übersicht analysierte gebäudespezifische Merkmale

Bezeichnung Merkmal	Kurzbeschreibung/ Vergleich der ...	Quelle/ Datensatz	gmA	BK1	BK2	M
Denkmalschutz	... Gebäude mit und ohne Denkmalschutz	DS	0.4 %	0	6	3
Warmwasser-versorgung	... Gebäude aufgrund des Systems der Warmwasserversorgung	GWR	9.3 %	5	2	3.5
Energieträger Warmwasser	... Gebäude nach dem Energieträger der Warmwasserversorgung	GWR	3.8 %	2	4	3
Heizungsart	... Gebäude nach der Heizungsart	GWR	9.7 %	5	2	3.5
Energieträger Heizung	... Gebäude aufgrund des Energieträgers der Heizung	GWR	7.3 %	4	4	4
Gebäude-kategorie	... Gebäude nach Gebäudekategorie wie z.B. Einfamilienhaus (EFH) und MFH	GWR	5.9 %	3	8	5.5
Bauperiode	... Gebäude nach Bauperiode	GWR	3.6 %	2	10	6
Stockwerke	... Gebäude nach Anzahl Stockwerke	GWR	2.9 %	2	2	2

Bei den gebäudespezifischen Merkmalen (Tabelle 4) haben sowohl die Gebäudekategorie als auch die Bauperiode mehr als 4.5 Punkte erhalten. Die Differenzen zwischen den Anteilen der sanierten und nicht sanierten Gebäude sind vorhanden, dies bestätigt die gewichtete mittlere Abweichung (gmA). Ausschlaggebend ist in beiden Fällen jedoch das Bewertungskriterium 2 (BK2), wo beide Merkmale hoch bewertet sind. Bei der Bauperiode, also dem Gebäudealter, ist die hohe Bewertung vor allem aufgrund der Relevanz des Alters in Bezug zur Gebäudehülleneffizienz erfolgt. Der entsprechende Zusammenhang wird von Aksoezen et al. (2015) bestätigt.

Tabelle 5: Bewertung und Übersicht analysierte gemeindespezifische Merkmale

Bezeichnung Merkmal	Kurzbeschreibung/ Vergleich der ...	Quelle/ Datensatz	gmA	BK1	BK2	M
Bevölkerungs- dichte	... Gebäude nach der Bevölkerungsdichte in der Standortgemeinde	AGI	9.6 %	5	2	3.5
mittleres Reineinkommen	... Gebäude nach dem mittlerem Reinein- kommen in der Standortgemeinde	AGI	5.0 %	3	8	5.5
Gemeindetyp 2000	... Gebäude nach Gemeindetyp (BFS) der Standortgemeinde	BFS	4.5 %	2	7	4.5
Gemeindetyp 2012	... Gebäude nach Gemeindezugehörigkeit	BFS	3.8 %	2	8	5
Zugehörigkeit Bezirk	... nach Zugehörigkeit Bezirk der Standortgemeinde	AGR	0.6 %	1	2	1.5

Auch der Vergleich der gemeindespezifischen Merkmale (Tabelle 5) führt zu 2 bzw. 3 relevanten Merkmalen. Das mittlere Reineinkommen sowie der Gemeindetyp (2000/2012) wurden mit 4.5 oder mehr Punkten gewertet und werden in das Erklärungsmodell übernommen. Das doppelt vorhandene Attribut Gemeindetyp wird später für einen Variantenvergleich genutzt, um anschliessend das aussagekräftigere Merkmal davon auszuwählen.

## Fazit

In diesem Unterkapitel wurden die 17 untersuchten Merkmale auf 4 bzw. 5 Merkmale z.H. des Erklärungsmodell reduziert. Die ausgewählten Merkmale weisen klare Differenzen beim Vergleich des Anteils sanierter Gebäude zum Gesamtgebäudepark auf. Am ausschlaggebendsten war jedoch die Einstufung der Merkmale nach der Nutzbarkeit mit dem Bewertungskriterium 2 (BK2).

In der Folge werden nun die ausgewählten Merkmale z.H. des Erklärungsmodells im Detail vorgestellt.

### **2.3.2 Detailbetrachtung verwendete Merkmale**

#### **2.3.2.1 Bauperiode (Gebäudealter)**

Von der Bauperiode eines Gebäudes lässt sich direkt auf das Alter des Gebäudes schliessen. Zu beachten ist, dass die Bauperioden nicht einheitlich sind und je Bauperiode eine unterschiedliche Anzahl Baujahre in einer Gruppe vereint sein kann.

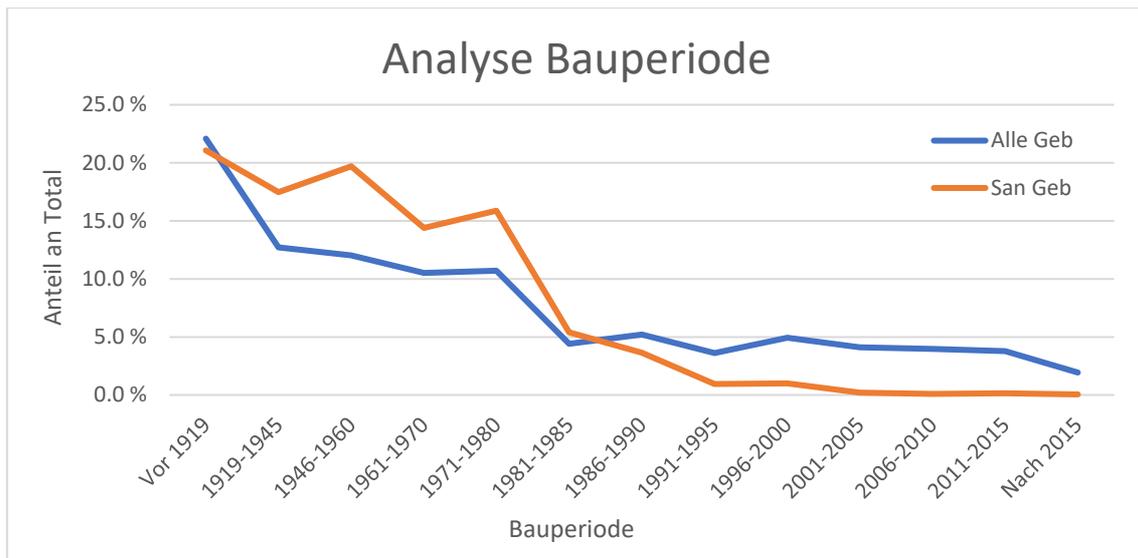


Abbildung 6: Analyse Merkmal Bauperiode (Visualisierung)

Die Visualisierung der Verteilung beim Merkmal Bauperiode zeigt deutlich, dass die Anteile der Gebäude mit einer Bauperiode bis 1985 bei den sanierten Gebäuden (San Geb) stärker vertreten sind als beim gesamten Gebäudebestand (Alle Geb). Bei den Bauperioden ab 1986 ist der Trend gegenläufig. Davon kann abgeleitet werden, dass ältere Gebäude häufiger saniert werden als Gebäude mit einer „jüngeren“ Bauperiode.

Tabelle 6: Analyse Merkmal Bauperiode (ermittelte Werte)

Zeitraum	Code	Alle Geb	San Geb	Alle Geb	San Geb	Diff
Vor 1919	8011	54'663	862	22.1 %	21.1 %	-1.0 %
1919-1945	8012	31'501	715	12.7 %	17.5 %	4.8 %
1946-1960	8013	29'744	806	12.0 %	19.7 %	7.7 %
1961-1970	8014	26'043	589	10.5 %	14.4 %	3.9 %
1971-1980	8015	26'489	649	10.7 %	15.9 %	5.2 %
1981-1985	8016	10'885	221	4.4 %	5.4 %	1.0 %
1986-1990	8017	12'903	149	5.2 %	3.6 %	-1.6 %
1991-1995	8018	8'953	39	3.6 %	1.0 %	-2.7 %
1996-2000	8019	12'229	41	4.9 %	1.0 %	-3.9 %
2001-2005	8020	10'171	8	4.1 %	0.2 %	-3.9 %
2006-2010	8021	9'810	4	4.0 %	0.1 %	-3.9 %
2011-2015	8022	9'348	6	3.8 %	0.1 %	-3.6 %
Nach 2015	8023	4'787	2	1.9 %	0.0 %	-1.9 %
<b>Total / gmAbw<sup>1</sup></b>		<b>247'526</b>	<b>4'091</b>	<b>100.0 %</b>	<b>100.0 %</b>	<b>3.6 %</b>

<sup>1</sup> gewichtete mittlere Abweichung

In der Tabelle 6 sind die detaillierten Zahlenwerte zur Abbildung 6 aufgeführt. Die Bauperiode von 1946-1960 weist mit 7.7 % für die grösste Differenz zwischen den Vergleichsgruppen aus. Die Gebäude aus dieser Zeit verfügen in der Regel über schlechte Energiekennzahlen und verfügen entsprechend über ein grosses Potenzial für

Sanierungen. Bei altersbedingten Sanierungen muss nicht einmal immer der energetische Aspekt im Vordergrund stehen, jedoch lassen sich bei allgemeinen Sanierungsarbeiten zur Erhaltung der Bausubstanz gleichzeitig auch energetische Anpassungen durch die Nutzung von Synergien wirtschaftlicher realisieren.

### 2.3.2.2 Gebäudekategorie

Mit dem Merkmal Gebäudekategorie werden die Gebäude aufgrund ihrer Nutzung nach Wohn- und nicht Wohnen und gleichzeitig aufgrund der Anzahl Wohnungen in Ein- und Mehrfamilienhäuser unterschieden.

Die Analyse des Merkmals Gebäudekategorie (siehe Abbildung 7 und Tabelle 7) zeigt, dass der Anteil der sanierten Gebäude in den Kategorien mit Wohnnutzung gegenüber den Gebäuden mit teilweiser oder ohne Wohnnutzung erhöht ist. Insbesondere bei den Mehrfamilienhäusern ist der Anteil bei den sanierten Gebäuden höher als im Gesamtgebäudebestand (+ 10%).

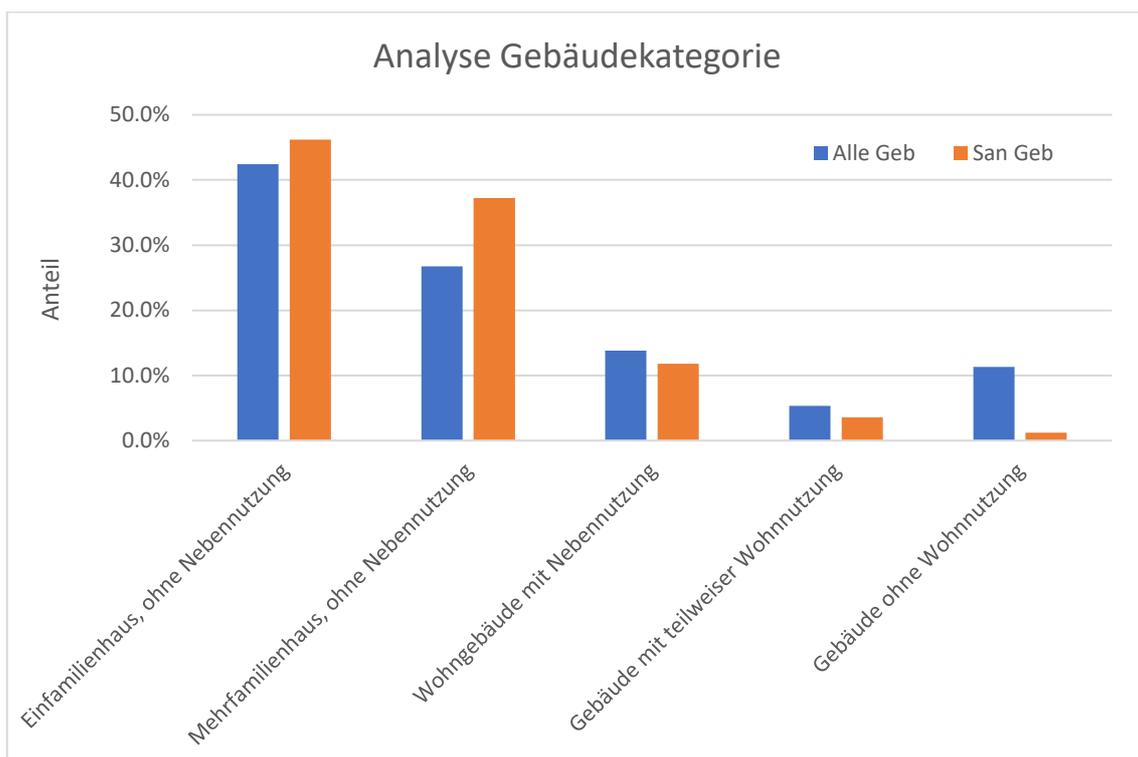


Abbildung 7: Analyse Merkmal Gebäudekategorie (Visualisierung)

Nicht abschliessend geklärt wurde, wie gross der Einfluss der Ausrichtung des Instruments GEAK auf die Gebäudekategorie ist. Bei der Lancierung des Instruments standen vor allem die Wohnbauten und einfachen Verwaltungsbauten im Fokus. Da die reinen Wohngebäude aber über 70 % des Gesamtgebäudebestandes ausmachen, wird davon ausgegangen, dass der Vergleich dennoch repräsentativ ist.

Tabelle 7: Analyse Merkmal Gebäudekategorie (ermittelte Werte)

Gebäudekategorie	Code	Alle Geb	San Geb	Alle Geb	San Geb	Diff
Provisorische Unterkunft	1010	170	-	0.1 %	0.0 %	-0.1 %
Einfamilienhaus, ohne Nebennutzung	1021	114'233	1'903	42.4 %	46.2 %	3.8 %
Mehrfamilienhaus, ohne Nebennutzung	1025	72'047	1'533	26.7 %	37.2 %	10.5 %
Wohngebäude mit Nebennutzung	1030	37'146	486	13.8 %	11.8 %	-2.0 %
Gebäude mit teilweiser Wohnnutzung	1040	14'418	147	5.4 %	3.6 %	-1.8 %
Gebäude ohne Wohnnutzung	1060	30'509	51	11.3 %	1.2 %	-10.1 %
Sonderbau	1080	819	-	0.3 %	0.0 %	-0.3 %
keine Angabe	-	25	-	0.0 %	0.0 %	0.0 %
<b>Total / gewichtete mittlere Abweichung</b>		<b>269'367</b>	<b>4'120</b>	<b>100.0 %</b>	<b>100.0 %</b>	<b>5.9 %</b>

### 2.3.2.3 Mittleres Reineinkommen (je Gemeinde)

Das von Steuererklärungsdaten abgeleitete mittlere Reineinkommen je Gemeinde zeigt die Unterschiede im Sanierungsverhalten aufgrund der finanziellen Ressourcen von Gebäudeeigentümern auf.

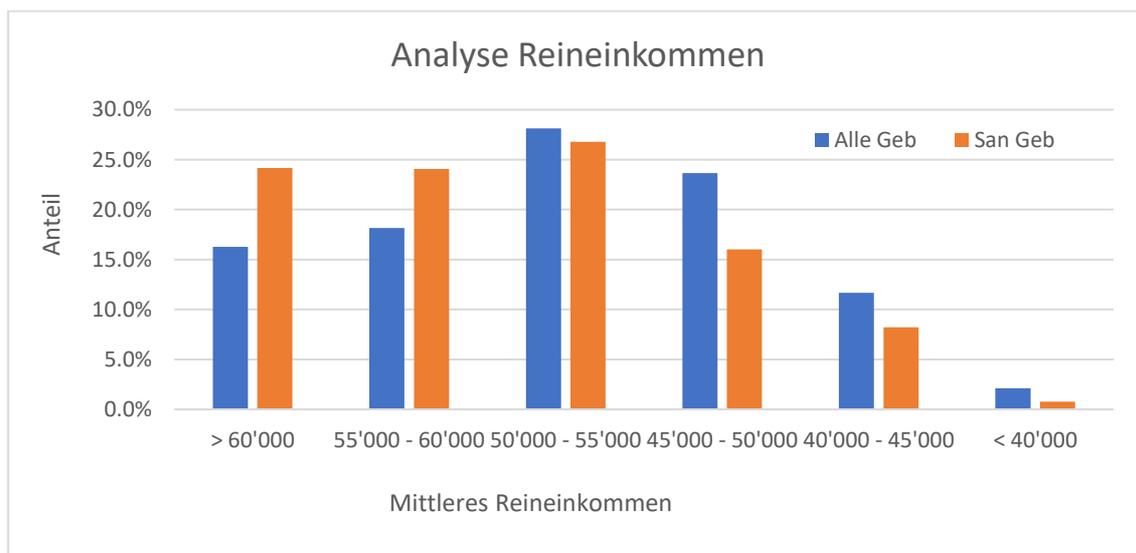


Abbildung 8: Analyse Merkmal mittleres Reineinkommen (Visualisierung)

Die Analyse des Merkmals mittleres Reineinkommen (Abbildung 8) zeigt deutlich, dass in Gemeinden mit einem höheren mittleren Einkommen im Verhältnis mehr Gebäude saniert werden als in Gemeinden mit einem tiefen mittleren Reineinkommen.

In der Tabelle 8 ist ersichtlich, dass bei den Gemeinden mit dem höchsten Reineinkommen ein Plus von 7.9 % bei den sanierten Gebäuden besteht. Ist das mittlere Einkommen tiefer als CHF 50'000.- resultieren negative Werte, das heisst der Anteil der sanierten Gebäude je Kategorie ist tiefer als der Anteil im Gesamtgebäudepark. Somit besteht bei diesem Merkmal ein klarer, gegenläufiger Trend.

Tabelle 8: Analyse Merkmal Durchschnittliches Reineinkommen (ermittelte Werte)

Ø – Reineinkommen CHF/a <sup>1</sup>	Code	Alle Geb	San Geb	Alle Geb	San Geb	Diff
> 60'000	8201	43'831	995	16.3 %	24.2 %	7.9 %
55'000 - 60'000	8202	48'927	991	18.2 %	24.1 %	5.9 %
50'000 - 55'000	8203	75'751	1'103	28.1 %	26.8 %	-1.4 %
45'000 - 50'000	8204	63'691	660	23.6 %	16.0 %	-7.6 %
40'000 - 45'000	8205	31'446	339	11.7 %	8.2 %	-3.4 %
< 40'000	8206	5'721	32	2.1 %	0.8 %	-1.3 %
<b>Total / gew. mittlere Abweichung</b>		<b>269'367</b>	<b>4'120</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>5 %</b>

<sup>1</sup> Das durchschnittliche steuerbare Reineinkommen bezieht sich jeweils auf die steuerpflichtigen Personen

### 2.3.2.4 Gemeindetyp 2000/2012

Die auf einer Einstufung des Bundesamts für Statistik basierende Aufteilung nach Gemeindetypen zeigt die Unterschiede aufgrund der Lage und Art der Gemeinde auf. Zuhanden eines Variantenvergleich werden zwei unterschiedlich kategorisierte Zeitstände dieser Typisierung von 2000 und 2012 betrachtet und übernommen.

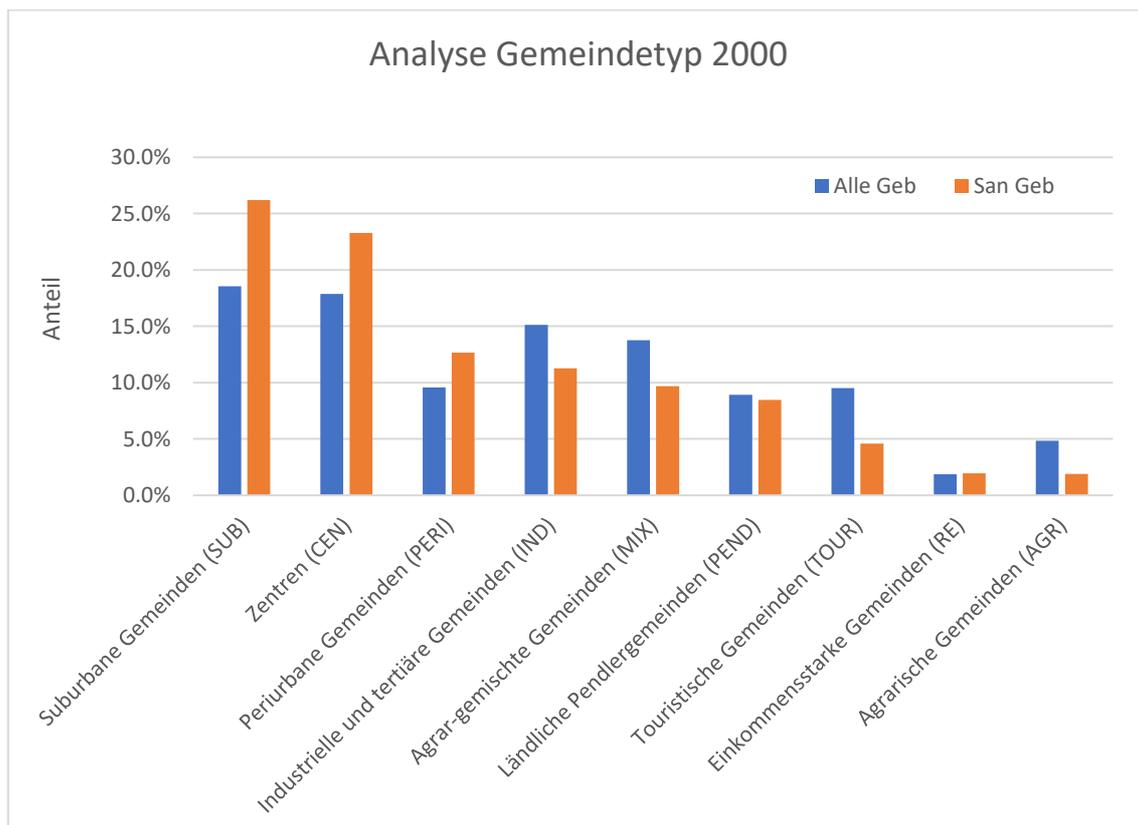


Abbildung 9: Analyse Merkmal Gemeindetyp 2000 (Visualisierung)

Die Analyse des Merkmals Gemeindetyp 2000 zeigt, dass sanierte Gebäude eher in Gemeinden mit Zentrumsfunktion (Zentren) oder in der Nähe von Zentren (Suburbane Gemeinden) als in ländlichen, agrarischen und touristischen Gemeinden zu finden sind. Etwas störend ist die Vermischung der Typisierung mit der zusätzlichen

Berücksichtigung der finanziellen Situation mit der Eigenschaft bzw. dem Wert Einkommensstarke Gemeinden.

Tabelle 9: Analyse Merkmal Gemeindetyp 2000 (ermittelte Werte)

Gemeindetyp (2000)	code	Alle Geb	San Geb	Alle Geb	San Geb	Diff
Suburbane Gemeinden	8101	49'992	1'080	18.6 %	26.2 %	7.7 %
Zentren	8102	48'152	959	17.9 %	23.3 %	5.4 %
Periurbane Gemeinden	8103	25'753	522	9.6 %	12.7 %	3.1 %
Industr. und tertiäre Gemeinden	8104	40'742	464	15.1 %	11.3 %	-3.9 %
Agrar-gemischte Gemeinden	8105	37'050	399	13.8 %	9.7 %	-4.1 %
Ländliche Pendlergemeinden	8106	24'022	349	8.9 %	8.5 %	-0.4 %
Touristische Gemeinden	8107	25'615	189	9.5 %	4.6 %	-4.9 %
Einkommensstarke Gemeinden	8108	5'031	80	1.9 %	1.9 %	0.1 %
Agrarische Gemeinden	8109	13'010	78	4.8 %	1.9 %	-2.9 %
<b>Total / gew. mittlere Abweichung</b>		<b>269'367</b>	<b>4'120</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>4.5 %</b>

Mit der Gemeindetypisierung von 2012 (siehe Abbildung 10) liegt der Fokus auf der Unterscheidung von Stadt/Land sowie der Dichte, ohne Einbezug der finanziellen Situation.

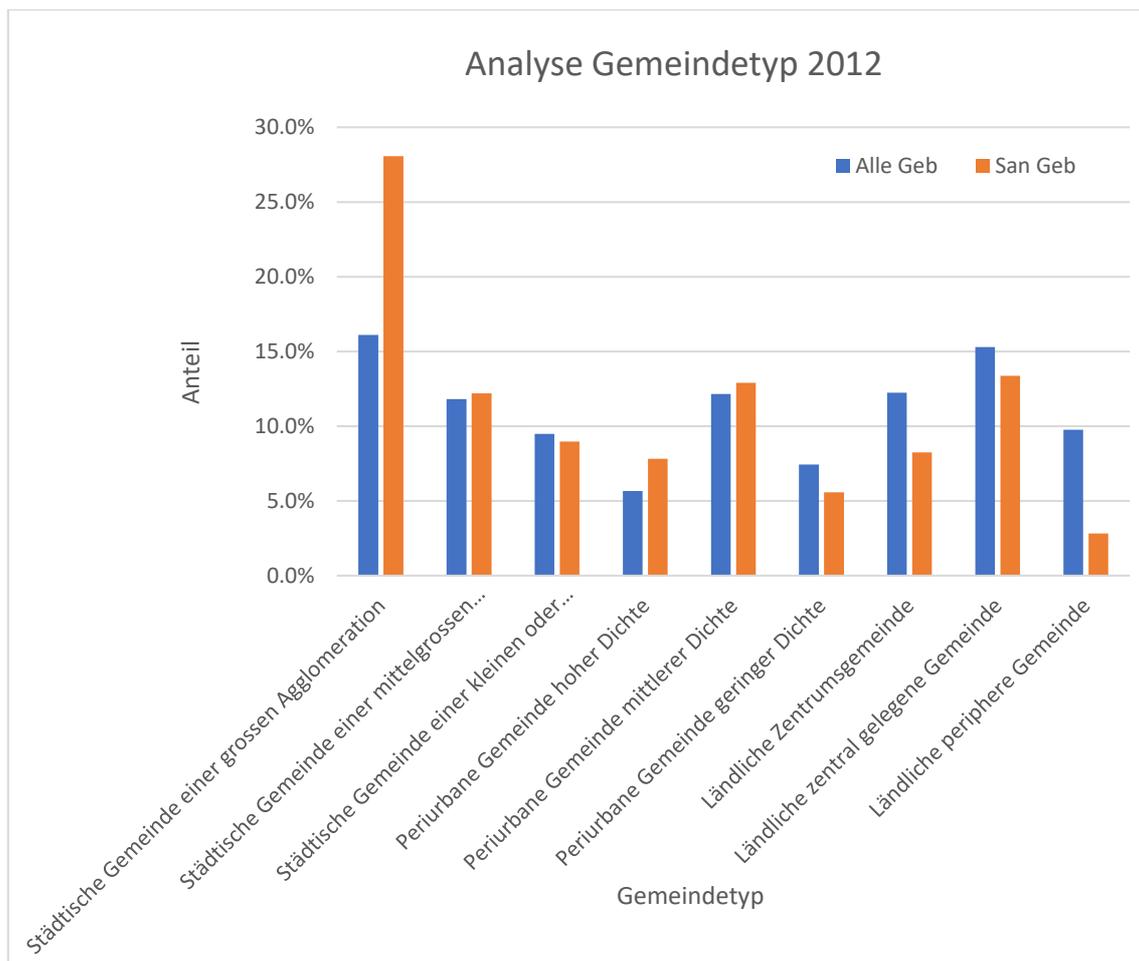


Abbildung 10: Analyse Merkmal Gemeindetyp 2012 (Visualisierung)

In der Tabelle 10 sind die Ausprägungen der Gemeindetypisierung 2012 ersichtlich. Es kann hier nicht direkt von einem gegenläufigen ordinalen Trend gesprochen werden. In der Tendenz ist jedoch ein Stadt/Land-Gefälle ersichtlich, akzentuiert mit dem fast 12 % höheren Anteil bei den sanierten Gebäuden im Vergleich zum Gesamtgebäudebestand in städtischen Gemeinden grosser Agglomerationen und dem 7 % tieferen Anteil in ländlich peripheren Gemeinden.

Tabelle 10: Analyse Merkmal Gemeindetyp 2012 (ermittelte Werte)

Gemeindetyp (2012)	code	Alle Geb	San Geb	Alle Geb	San Geb	Diff
Städtische Gemeinde einer grossen Agglomeration	8111	43'400	1'156	16.1 %	28.1 %	11.9 %
Städtische Gemeinde einer mittelgrossen Agglomeration	8112	31'836	503	11.8 %	12.2 %	0.4 %
Städtische Gemeinde einer kleinen oder ausserhalb einer Agglomeration	8113	25'539	370	9.5 %	9.0 %	-0.5 %
Periurbane Gemeinde hoher Dichte	8121	15'276	322	5.7 %	7.8 %	2.1 %
Periurbane Gemeinde mittlerer Dichte	8122	32'768	532	12.2 %	12.9 %	0.7 %
Periurbane Gemeinde geringer Dichte	8123	20'035	230	7.4 %	5.6 %	-1.9 %
Ländliche Zentrumsgemeinde	8131	32'975	340	12.2 %	8.3 %	-4.0 %
Ländliche zentral gelegene Gemeinde	8132	41'225	551	15.3 %	13.4 %	-1.9 %
Ländliche periphere Gemeinde	8133	26'313	116	9.8 %	2.8 %	-7.0 %
<b>Total / gew. mittlere Abweichung</b>		<b>269'367</b>	<b>4'120</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>3.8 %</b>

Hinweis: Mit der Verwendung der Gemeindetypisierung 2012 ist, wie bereits erwähnt, der direkte Einbezug der finanziellen Situation nicht mehr vorhanden. Eine bestehende Korrelation zwischen dem Merkmal Gemeindetyp und dem Merkmal Reineinkommen ist trotzdem möglich, wurde aber nicht überprüft. Das Merkmal Gemeindetyp wird aber für die weitere Bearbeitung als unabhängig taxiert.

### 2.3.3 Detailbetrachtung nicht verwendete Merkmale

Es wurden verschiedene weitere Merkmale untersucht, die jedoch aufgrund ihrer Beurteilung durch die Beurteilungsmatrix nicht für das Erklärungsmodell verwendet werden. Gründe dafür sind z.B., dass keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Anteilsverhältnissen von sanierten und nicht sanierten Gebäuden festgestellt werden konnte oder zu grosse Ähnlichkeiten zu anderen Merkmalen bestehen und deren Nutzbarkeit als tief bewertet wurde. In der Folge werden ausgewählte Beispiele der nicht verwendeten Merkmale vorgestellt.

#### 2.3.3.1 Anzahl Stockwerke

Das Merkmal Stockwerke hält gebäudespezifisch die Anzahl Stockwerke fest. Die Abbildung 11 veranschaulicht, dass ein Unterschied zwischen dem Gesamtgebäudepark und den sanierten Gebäuden aufgrund der Anzahl Stockwerke besteht. Die grösste Differenz besteht bei den dreistöckigen Gebäuden. Die gewichtete mittlere Abweichung ist mit 2.9 % eher tief und zudem besteht eine gewisse Ähnlichkeit zum Merkmal Gebäudekategorie, weil Mehrfamilienhäuser in der Regel auch über mehrere Stockwerke verfügen. Dieses Merkmal wird daher bei seiner Nutzbarkeit tief bewertet und kommt für eine weitere Nutzung nicht in Frage.

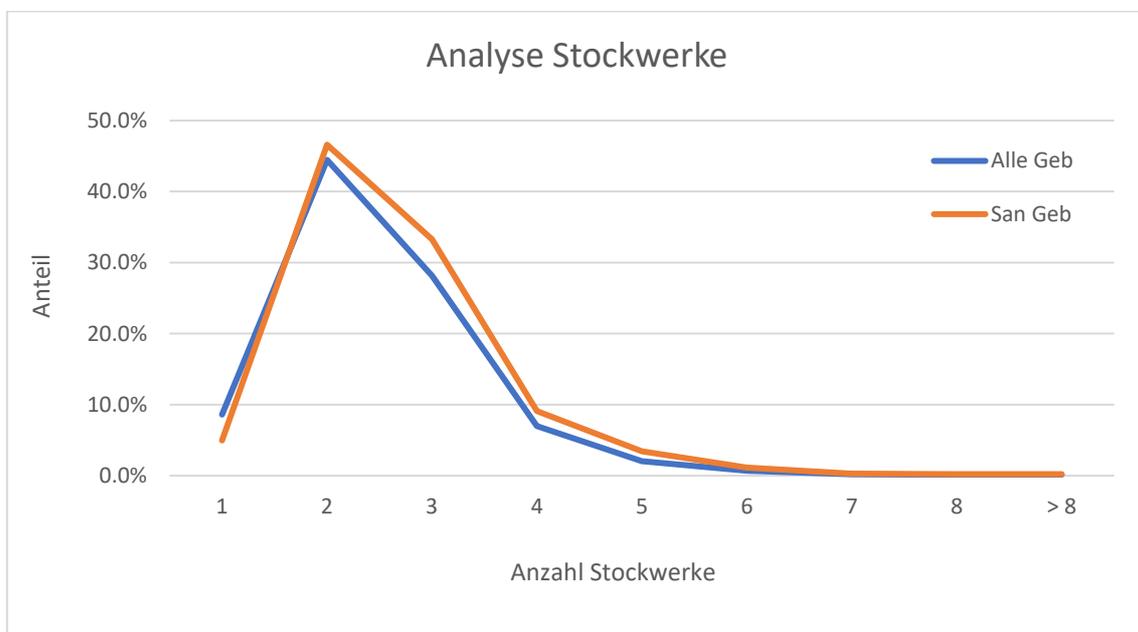


Abbildung 11: Analyse Merkmal Anzahl Stockwerke (Visualisierung)

### 2.3.3.2 Denkmalschutz

Das Merkmal Denkmalschutz basiert auf den Einträgen im kantonalen Bauinventar und unterscheidet einzig ob ein Gebäude in diesem Inventar enthalten ist oder nicht.

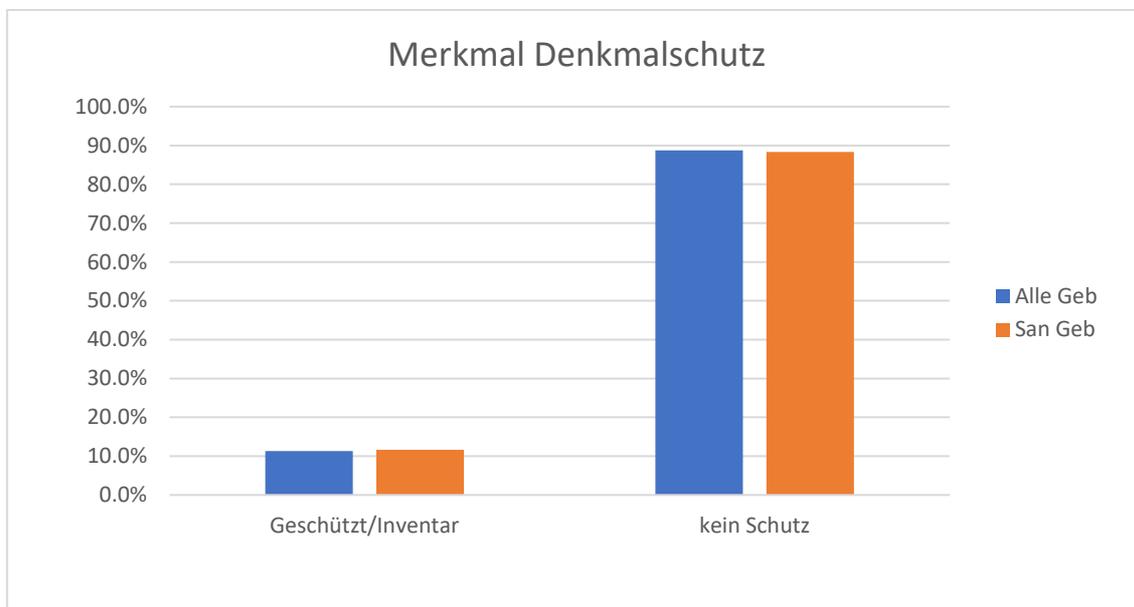


Abbildung 12: Analyse Merkmal Denkmalschutz (Visualisierung)

Überraschenderweise liefert der Vergleich des Gesamtgebäudeparks mit den sanierten Gebäuden aufgrund des bestehenden Denkmalschutzes keine Unterschiede (siehe Abbildung 12 und Tabelle 11). Unerwartet ist dies, da Jakob et al. (2012) bei Ihrer Modellierung für die Stadt Zürich dieses Merkmal als relevant einstufen. Für den Kanton Bern besteht aber auf Basis der genutzten Datengrundlagen eine andere Ausgangslage und denkmalgeschützte (sowie Inventar-) Gebäude werden im Verhältnis ebenso oft saniert wie nicht geschützte Gebäude. Die mittlere Abweichung beträgt 0.4 %. Dieses Merkmal ist daher nicht für das Erklärungsmodell nutzbar.

Tabelle 11: Analyse Merkmal Denkmalschutz (ermittelte Werte)

Denkmalschutz	code	Alle Geb	San Geb	Alle Geb	San Geb	Diff
Geschützt/Inventar	1,2,3	30'419	481	11.3 %	11.7 %	0.4 %
kein Schutz		238'948	3'639	88.7 %	88.3 %	-0.4 %
<b>Total</b>		<b>269'367</b>	<b>4'120</b>	<b>100.0 %</b>	<b>100.0 %</b>	<b>0.8 %</b>

Fazit: In diesem Kapitel wurden unter Zuhilfenahme einer Bewertungsmatrix vier Merkmale zuhanden des Erklärungsmodells ausgewählt, welche als Basis für die Simulation der zukünftig sanierten Gebäude gelten. Es sind dies die Merkmale Bauperiode, Gebäudekategorie, mittleres Reineinkommen und Gemeindetyp. Der Gemeindetyp wird zuhanden eines Variantenvergleichs in der Version 2000 /2012 übernommen.

## 2.4 Simulation

Im Unterkapitel Simulation wird der methodische Ansatz zum Simulationsprozess beschrieben.

### 2.4.1 Vorgehen und Rahmenbedingungen

Die Simulation wählt mit unterschiedlichen Varianten Gebäude zufällig aus dem Gesamtgebäudebestand auf Basis des Erklärungsmodells aus. Output aus der Simulation ist ein 100 x 100 Meter Raster in dem die mittlere Anzahl der Gebäude dargestellt wird, die zukünftig saniert werden.

Als Input in die Simulation wird der aufbereitete GWR Datensatz (→ ergänzt mit den Zusatzattributen) in ein Python-Skript eingespielen. Das Skript arbeitet mit Werkzeugen der Pandas Library insbesondere der Funktion [sample], welche eine gewichtete Filterkombination aus den Attributen Bauperiode, Gebäudekategorie, Gemeindetyp sowie Mittleres Reineinkommen ermittelt und dann anhand der entsprechenden Kombination/Gewichtung ein Gebäude zufällig auswählt. Wird ein Gebäude ausgewählt, bedeutet dies, die Wahrscheinlichkeit ist hoch, dass dieses Gebäude in Zukunft saniert wird. Der Monte-Carlo-Effekt kommt durch das mehrfache Durchführen der Simulation zustande, wobei der Mittelwert der Durchgänge als effektives Resultat gewertet wird.

#### Systemgrenzen

Es gelten folgenden Systemgrenzen für die Simulation: In den Vorhersagen für die Auswerteperiode wird immer zum aktuellen Gebäudestand (Stand 2019) Bezug genommen, Neubauten und das fortschreitende Alter bestehender Gebäude werden bei der Vorhersage nicht berücksichtigt. Für die Anzahl tatsächlicher Umsetzungen von Sanierungen wird von einem fixen Wert ausgegangen, der auf Erfahrungswerten beruht (siehe dazu auch den nächsten Absatz). Szenarien bezüglich Erhöhung der Fördermassnahmen und anderer Lenkungsmassnahmen werden nicht berücksichtigt. Der Zeitraum für die Prognose bzw. für die Auswahl von Gebäuden wird auf 15 Jahre (vgl. Kapitel 1.4) eingeschränkt.

#### Anzahl sanierte Gebäude

Die Anzahl der in Zukunft sanierten Gebäude wird vorgegeben und beträgt 2'416 Gebäude pro Jahr. Dieser Wert entspricht einem Prozent der aktuell bestehenden und beheizten Gebäude im Kanton Bern (241'600 Gebäude insgesamt). Rund ein Prozent ist die aktuelle Sanierungsrate im Schweizer Gebäudepark (Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2015). Für die betrachtete Periode von 15 Jahren kann folglich davon ausgegangen werden, dass insgesamt 36'240 Gebäude saniert werden.

## Varianten

Es werden für die Simulation folgende Varianten gemäss Tabelle 12 unterschieden.

Tabelle 12: Varianten für die Simulation

Variante	Wahrscheinlichkeit	Monte-Carlo	Gemeindetyp	Iterationen
0	statisch	nein	2000	36'240
1	statisch	ja	2000	360'240
2.1	dynamisch	ja	2000	360'240
2.2	dynamisch	ja	2012	360'240

Die Variante 0 dient als Referenzvariante und basiert auf einer einmaligen gewichteten zufälligen Auswahl. Als erster Ansatz zur Simulation der zu sanierenden Gebäude wurde die Variante 1 mit einer statischen Gewichtung der Merkmale entwickelt. Die Varianten 2.x sind eine methodische Weiterentwicklung, wobei der Wechsel von einer statischen hin zu einer dynamischen Gewichtung der Merkmale erfolgt. Die Varianten 2.1 und 2.2 dienen dem Vergleich des Merkmals Gemeindetyp mit den Ausprägungen 2000 und 2012 (vgl. Kapitel 2.3.2.4)

Die Anzahl Iterationen beim Monte-Carlo-Ansatz wurde auf 360'240 festgelegt, dies entspricht 10 Durchgängen. Der Mittelwert der 10 Durchgänge wird als Resultat gewertet.

### **2.4.2 Ablauf Simulation**

#### Überblick

Der Python-Prozess importiert die benötigten Datensätze, läuft die definierte Anzahl Iterationen durch und wählt dabei aus dem Gesamtgebäude-Datensatz jeweils ein Gebäude aus, bis die gewünschte Anzahl Iterationen bzw. Anzahl eindeutiger Gebäude ausgewählt wurde.

#### Im Detail

Zur Verarbeitung im Python-Prozess werden der Gesamtgebäudedatensatz "gwr plus" und die Angaben zu den sanierten Gebäuden "geak san" eingelesen. Auf Basis der gegebenen Reihenfolge (Bauperiode, Gebäudekategorie, Gemeindetyp und Reineinkommen) wird eine zufällige, aber gewichtete Auswahl zu jedem Merkmal auf Basis seiner Wahrscheinlichkeit durchgeführt [Pandas.sample]. Die nachfolgenden Tabellen zeigen die Struktur der Input-Daten auf.

Tabelle 13: Struktur Simulationsinput "gwr plus", CSV-Datei

Attribut	Format	Wertebereich	Bemerkung
<b>egid</b>	integer	1'230'001 - 400'100'000	Gebäudeidentifikator
<b>gbaup</b>	integer	8011 - 8023	Bauperiode
<b>gkat</b>	integer	1021, 1025, 1030, 1040, 1060, 1080	Gebäudekategorie
<b>gde_typ_2000</b>	integer	8101 - 8109	Gemeindetyp
<b>gde_typ_2012</b>	integer	8111 - 8133	Gemeindetyp
<b>mreine</b>	integer	8201 - 8206	Reineinkommen Ø

Tabelle 14: Struktur Simulationsinput "geak san", CSV-Datei (Varianten 0 und 1)

Attribut	Format	Wertebereich	Bemerkung
<b>code</b>	integer	8000 -8209	-
<b>name</b>	text	0, 1	Bezeichnung Merkmal
<b>weights</b>	float	0 - 1	Gewichtung Merkmal

Tabelle 15: Struktur Simulationsinput "geak san", CSV-Datei (Varianten 2.x)

Attribut	Format	Wertebereich	Bemerkung
<b>egid</b>	integer	1'230'001-400'100'000	Identifikator
<b>san</b>	integer	0, 1	Sanierungszustand

Nach der Auswahl der vier Merkmale bzw. Filterwerte wird der Gesamtgebäude-Datensatz auf die Gebäude mit den entsprechenden Eigenschaften reduziert bzw. gefiltert. Bei der statischen Variante kann es sein, dass kein entsprechendes Gebäude vorhanden ist und der Durchgang nicht als erfolgreiche Iteration zählt. Er wird dann wiederholt. Sind mehrere Gebäude nach dem Filtern vorhanden, wird nochmals zufällig ausgewählt [Pandas.sample].

Bei der dynamischen Auswahl der Filterwerte stehen keine fixen Wahrscheinlichkeitswerte zur Verfügung, sie werden auf Basis der vorangehenden Auswahl jeweils neu berechnet. Nachfolgend wird die dazu entwickelte Python-Programmierung im Detail erläutert.

### 2.4.2.1 Python-Programmierung Varianten 0 und 1

#### Gewichtete Auswahl der Kriterien am Beispiel der Bauperiode (Block = A)

```

1. # 1. Filterwert durch gewichtete Auswahl bestimmen - gbaup
2.
3. df_gbaup_sample = df_gbaup.sample(1, weights='gbaup_weights')
4. index_gbaup_sample = int(df_gbaup_sample.index.values)
5. filter_value_gbaub = df_gbaup_sample.at[index_gbaup_sample, 'gbaup']

```

Zeile 3: Mit der Pandas Funktion [.sample] wird eine gewichtete Auswahl der Bauperiode erzeugt, dies auf Basis der Anteilswerte der sanierten Gebäude (vgl. Kapitel 2.3.2 / Tabelle 6 [Spalte "San Geb" in %]).

Zeile 4-5: Der Wert der zufällig gezogenen Bauperiode wird via den Index aus dem Pandas-Dataframe in eine Variable gespeichert. Output ist die neu erstellte Variable "filter\_value\_gbaub" also z.B. der Code [8012] das heisst die Bauperiode von 1919 bis 1945. Die Wahrscheinlichkeit, dass diese Bauperiode ausgewählt wird beträgt 17.5 %.

Diese Auswahl erfolgt nach demselben Muster für die weiteren Merkmale Gebäudekategorie, Gemeindetyp und Reineinkommen.

#### Filtern des GWR-Datensatzes und Auswahl eines Gebäudes (B)

```

1. # Filtern Datensatz "GWR" nach Filterwerten gbaup, gkat, gde_typ_mreine-> stufenweise
2.
3. select_gwr_f1 = df_gwr[df_gwr['gbaup'] == filter_value_gbaub]
4. select_gwr_f2 = select_gwr_f1[select_gwr_f1['gkat'] == filter_value_gkat]
5. select_gwr_f3 = select_gwr_f2[select_gwr_f2['gde_typ_code'] == filter_value_gde_typ]
6. select_gwr_f4 = select_gwr_f3[select_gwr_f3['mreine_code'] == filter_value_mreine]
7.
8.
9. # Auswahl eines Gebäudes bei welchem eine Sanierung wahrscheinlich ist
10.
11. if select_gwr_f4.shape[0] > 0:
12.     pick = select_gwr_f4.sample(1)
13.     df_output = df_output.append(pick, sort=True)

```

Zeilen 3-6: Der GWR-Basisdatensatz "df\_gwr" wird aufgrund der ermittelten Kriterien gefiltert, so dass nur noch die Gebäude übrigbleiben, welche den ausgewählten Kriterien entsprechen.

Zeilen 11-13: Ist diese Auswahl grösser als 0 wird aus den verbleibenden Gebäuden wiederum mit der Pandas Funktion [.sample], diesmal ungewichtet, ein Wert (egid) bzw. ein Gebäude zufällig ausgewählt.

Wurde ein Gebäude ausgewählt oder war in der Auswahl kein Gebäude vorhanden, werden die Blöcke A und B solange ausgeführt, bis die Anzahl der gewünschten Ziehungen erreicht wurde.

### 2.4.2.2 Python-Programmierung Variante 2

#### Gewichtete Auswahl der Kriterien am Beispiel der Gebäudekategorie (C)

```
1. # 2. Filterwert durch gewichtete Auswahl bestimmen gkat
2.
3. gkat_filter = df_geb_san['gbaup'] == filter_gbaup_sample
4. df_geb_san_filter_2 = df_geb_san[gkat_filter]
5.
6. df_gkat_pivot = df_geb_san_filter_2.pivot_table(values='egid', index='gkat', ag-
  gfunc=pd.Series.count, margins=True, dropna=True, margins_name='Total')
7. df_gkat_weights = df_geb_san_filter_2.pivot_table(values='egid', in-
  dex='gkat', aggfunc=lambda x: x.count() / df_geb_san['egid'].count())
8. df_gkat_sample = df_gkat_weights.sample(1, weights='egid')
9. filter_gkat_sample = int(df_gkat_sample.index.values)
```

Zeile 3-4: Es wird jeweils ein Datensatz mit allen sanierten Gebäuden "df\_geb\_san" eingelesen und dieser nach den vorangehend ausgewählten Kriterien gefiltert.

Zeile 6-7: Die vorliegende Auswahl wird mittels der Pandas Funktion [pivot\_table] gruppiert und die Wahrscheinlichkeiten für das aktuelle Merkmal Gebäudekategorie ermittelt.

Zeilen 8-9: Auf Basis der aktuell gültigen Wahrscheinlichkeiten wird eine Gebäudekategorie ausgewählt und der entsprechende Filterwert erzeugt.

Mit diesem Verfahren wird dynamisch auf die übergeordnet ausgewählten Kriterien reagiert, wodurch bei der finalen Auswahl immer mindestens ein Gebäude vorhanden ist und keine Leerdurchgänge erfolgen.

Ein Beispiel: Je nachdem ob die Bauperiode "8011" oder "8012" vorgängig ausgewählt wurde, hat die Gebäudekategorie "1021" (Einfamilienhaus) nach dem dynamischen Verfahren eine Wahrscheinlichkeit von 25.8 % oder 40.8 % um ausgewählt zu werden.

### 2.4.2.3 Output und Weiterverarbeitung

Der Output aus dem Python-Prozess ist ein Textfile pro Durchgang, in welchem die ausgewählten Gebäude (EGID) aufgelistet sind. In einem FME-Prozess werden die Dateien zusammengeführt und z.H. der Auswertung aufbereitet.

### 3 Methodik II (Auswertung und Variantenentscheid)

In diesem Kapitel werden die entwickelten Simulationsvarianten ausgewertet und ein Entscheid z.H. der finalen, für die Ermittlung der räumlich differenzierten Wärmebedarfsentwicklung geeigneten, Variante gefällt. Auf Basis der ausgewählten Variante wird schlussendlich die Wärmebedarfsberechnung durchgeführt.

#### 3.1 Analyse Resultate / Variantenvergleich

Mit den folgenden Vergleichen wird die Qualität der Gebäudeauswahl durch die Simulation untersucht. Grundlage bilden die im Python-Prozess ausgewählten Gebäude. Zuerst folgt ein Vergleich anhand ausgewählter Kennzahlen. Anschliessend folgt der kartografische Vergleich von ausgewählten Gebieten (Gemeinden).

##### 3.1.1 Kennzahlenvergleich

In einem ersten Schritt werden die Eingangsverteilung und die Ausgangsverteilung der Simulation nach Varianten verglichen. Dies betrifft jeweils die Gesamtmenge des Simulationsresultats. In einem zweiten Schritt folgt der Vergleich nach Gemeinden, also den räumlich definierten Teilmengen des Simulationsresultats.

#### Vergleich der Eingangs- und Ausgangsverteilung des Merkmals Bauperiode

Tabelle 16: Vergleich Eingangs- und Ausgangswerte Simulation (Bauperiode)

Zeitraum	Code	Alle Geb	San Geb	V0	<-Diff	V1 (Mittel)	<-Diff	V2.1 (Mittel)	<-Diff	V2.2 (Mittel)	<-Diff
vor 1919	8011	22.1 %	21.1 %	20.9 %	0.2 %	21.0 %	0.1 %	21.9 %	-0.8 %	21.8 %	-0.8 %
1919-1945	8012	12.7 %	17.5 %	17.3 %	0.2 %	17.4 %	0.0 %	17.3 %	0.2 %	17.3 %	0.1 %
1946-1960	8013	12.0 %	19.7 %	19.1 %	0.6 %	19.2 %	0.5 %	19.3 %	0.4 %	19.3 %	0.4 %
1961-1970	8014	10.5 %	14.4 %	14.7 %	-0.3 %	14.6 %	-0.2 %	14.3 %	0.1 %	14.2 %	0.2 %
1971-1980	8015	10.7 %	15.9 %	16.0 %	-0.1 %	15.8 %	0.1 %	15.6 %	0.2 %	15.6 %	0.3 %
1981-1985	8016	4.4 %	5.4 %	5.5 %	-0.1 %	5.5 %	-0.1 %	5.4 %	0.0 %	5.3 %	0.1 %
1986-1990	8017	5.2 %	3.6 %	4.0 %	-0.4 %	4.1 %	-0.5 %	3.7 %	-0.1 %	3.8 %	-0.1 %
1991-1995	8018	3.6 %	1.0 %	1.3 %	-0.3 %	1.2 %	-0.2 %	1.0 %	0.0 %	1.0 %	-0.1 %
1996-2000	8019	4.9 %	1.0 %	1.3 %	-0.2 %	1.2 %	-0.2 %	1.1 %	-0.1 %	1.1 %	-0.1 %
2001-2005	8020	4.1 %	0.2 %	0.0 %	0.2 %	0.0 %	0.2 %	0.2 %	0.0 %	0.2 %	0.0 %
2006-2010	8021	4.0 %	0.1 %	0.0 %	0.1 %	0.0 %	0.1 %	0.1 %	0.0 %	0.1 %	0.0 %
2011-2015	8022	3.8 %	0.1 %	0.0 %	0.1 %	0.0 %	0.1 %	0.2 %	0.0 %	0.1 %	0.0 %
nach 2015	8023	1.9 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.1 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
<b>Total/mA</b>	-	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>		<b>0.2 %</b>	<b>0.9 %</b>	<b>0.2 %</b>	<b>0.8 %</b>	<b>0.2 %</b>	<b>0.8 %</b>	<b>0.2 %</b>

Der Vergleich in Tabelle 16 zeigt die Eingangs- und Ausgangswerte der Simulation mit den Anteilen des Merkmals Bauperiode (Gebäudealter). Wie in Kapitel 2.3.2.1

beschrieben wird, bestehen zwischen der Verteilung bei den sanierten Gebäuden (San Geb) und dem Gesamtgebäudebestand (Alle Geb) wesentliche Differenzen bei diesem Merkmal.

Beim Output der Monte-Carlo-Simulation, also nach dem gewichteten aber zufälligen Ziehen von Einzelgebäuden mit einer hohen Sanierungswahrscheinlichkeit, wird erwartet, dass die Verteilung der Bauperioden der gezogenen Gebäude (hellblaue Spalten) wiederum der Verteilung der sanierten Gebäude (dunkelblaue Spalte) entspricht.

Es zeigt sich (vgl. Tabelle 16), dass bei allen Varianten, sogar bei der Variante 0 (mit nur einem Durchgang), nur geringe Differenzen zwischen den Eingangs- und Ausgangswerten bestehen. Z.B. hat bei der Bauperiode "1919-1945" keine der Varianten eine grössere Abweichung als 0.2 %. In der Spalte mit der Varianten-Nummer (V1-V2.2) sind jeweils die Mittelwerte der 10 Durchgänge je Variante und Bauperiode erfasst. In der dazugehörenden untersten Zeile wird zusätzlich die summierte mittlere Abweichung der 10 Durchgänge über alle Bauperioden dargestellt (grün markiert). Es resultieren Werte zwischen 0.8 % und 0.9 %, dies bedeutet, dass die Abweichung je Durchgang der Monte-Carlo-Simulation unter 0.1 % liegt, also einer sehr geringen Abweichung.

Die summierte Abweichung der Differenzen zwischen Eingangswerten (San Geb) und Ausgangswerten (jeweils zuunterst in Spalte "Diff") beträgt bei allen Varianten 0.2%. Dies bestätigt, dass die Simulation bezüglich der allgemeinen Verteilung der Merkmale über alle Varianten sehr gut funktioniert.

Dass die Verteilung vor und nach der Simulation sehr ähnlich ist, bestätigt sich auch bei den weiteren Merkmalen Gebäudekategorie, Gemeindetyp und Reineinkommen, weshalb auf separate Darstellungen von Tabellen zu diesen Merkmalen verzichtet wird.

### Vergleich des Anteils sanierter Gebäude nach Gemeinden

Mit der Tabelle 17 werden die Simulationsresultate nach Gemeinden verglichen, es wurden dazu 12 interessante Gemeinden ausgewählt und dem Gesamtbestand gegenübergestellt. Die Kennzahlen bzw. Prozentzahlen beziehen sich jeweils auf den Anteil Gebäude, welche gemäss dem Simulationsoutput in den nächsten 15 Jahren saniert werden.

Beim Vergleich der Anteilszahlen zeigen sich markante Differenzen. Bei den Varianten 0 und 1 wird die Gemeinde Täuffelen klar bevorzugt bzw. werden die Gebäude in dieser Gemeinde überdurchschnittlich ausgewählt. Mit einer Sanierungsquote von 63.7 % und 63.3 % in 15 Jahren ist die Sanierungsquote unrealistisch hoch. Dies würde bedeuten, dass in dieser Gemeinde in den nächsten 15 Jahren über die Hälfte des Gebäudeparks saniert wird. Die Gründe dafür liegen in einer Kombination von Merkmalen, die häufig

vorkommt aber nur wenige Gemeinden erfüllen. So werden bei dieser auf statischen Werten basierenden Auswahl einzelne Gemeinden mit einem hohen Reineinkommen bevorzugt. Bei den Varianten 2.1 und 2.2 auf Basis des dynamischen Ansatzes liegt das Maximum über alle Gemeinden gesehen noch bei 27.1 %, also bei weniger als der Hälfte im Vergleich zum Maximum der statischen Varianten 0 und 1.

Tabelle 17: Vergleich Anteil sanierte Gebäude nach Gemeinden und Simulations-Varianten

Gemeinde	Stadt/Land	Reineinkommen	Anz. b. Geb	V0	V1 (Mittel)	V2.1 (Mittel)	V2.2 (Mittel)
Münsingen	Städtisch	> 60'000	2'580	16.8 %	16.8 %	23.0 %	21.9 %
Kehrsatz	Städtisch	> 60'000	759	17.8 %	17.9 %	27.1 %	24.0 %
Bern	Städtisch	55'000 - 60'000	14'966	15.9 %	16.1 %	26.9 %	26.6 %
Ostermundigen	Städtisch	50'000 - 55'000	1'926	26.6 %	25.9 %	22.0 %	25.4 %
Biel/Bienne	Städtisch	40'000 - 45'000	7'252	11.7 %	11.6 %	14.3 %	14.7 %
Täuffelen	Intermediär	> 60'000	783	63.7 %	63.3 %	10.0 %	20.1 %
Mattstetten	Intermediär	> 60'000	183	13.1 %	12.0 %	24.5 %	23.5 %
Fraubrunnen	Intermediär	55'000 - 60'000	1'538	15.2 %	15.7 %	12.5 %	15.9 %
Moutier	Intermediär	40'000 - 45'000	1'632	40.6 %	40.7 %	19.7 %	14.9 %
Champroz	Ländlich	50'000 - 55'000	75	26.7 %	29.6 %	5.9 %	1.7 %
Kandersteg	Ländlich	50'000 - 55'000	764	11.1 %	10.1 %	5.7 %	4.9 %
Lenk	Ländlich	45'000 - 50'000	1'676	3.5 %	3.4 %	9.8 %	6.3 %

**Ausgewählte Gemeinden (n = 12)**

min	75	3.5 %	3.4 %	5.7 %	1.7 %
max	14'966	63.7 %	63.3 %	27.1 %	26.6 %
diff		60.3 %	59.9 %	21.3 %	24.8 %
median	1'585	16.3 %	16.5 %	17.0 %	18.0 %
mittel	2'845	21.9 %	21.9 %	16.8 %	16.7 %

**Alle Berner Gemeinden (n = 346)**

min	14	0.0 %	0.0 %	0.9 %	1.7 %
max	14'966	63.7 %	63.3 %	27.1 %	26.6 %
diff		63.7 %	63.3 %	26.2 %	24.8 %
median	407	10.8 %	10.4 %	12.2 %	12.5 %
mittel	698	14.3 %	14.1 %	12.5 %	12.6 %

Bei den dynamischen Varianten 2.1 und 2.2 zeigt sich zudem, dass sich der Anteil der Gemeinden mit einer hohen Sanierungsquote hin zu den städtisch geprägten Gemeinden bewegt. Die höchste Sanierungsquote in der Variante 2.2 weist die Stadt Bern auf.

Sie beträgt 26.6 % über 15 Jahre oder jährlich 1.8 %. Diese Quote ist fast doppelt so hoch wie das schweizerische Mittel, aber dies wird für eine Stadt, die sich in den Bereichen Förderung und Information zu Gebäudesanierungen stark engagiert, als durchaus realistisch eingeschätzt. Auffallend ist zudem, dass die Variante 2.2 im Vergleich aller Berner Gemeinden über das höchste Minimum verfügt, was bedeutet, dass die Simulation auch wirklich alle Gemeinden berücksichtigt und die Auswahl breiter verteilt als bei den anderen Varianten.

Der Vergleich der Varianten 2.1 und 2.2, welche sich aufgrund des Merkmals Gemeindetyp bzw. der Kategorisierung 2000 und 2012 unterscheiden, zeigt sowohl ähnlich gelagerte Anteilsverhältnisse als auch divergierende. Weitere Analysen zum Vergleich zwischen der Variante 2.1 und 2.2 folgen im nächsten Kapitel.

### **3.1.2 Räumlicher Vergleich**

Beim räumlichen Vergleich liegt der Fokus wiederum auf den Gebäuden, welche gemäss dem Simulationsoutput in den nächsten 15 Jahren saniert werden. Die folgenden Darstellungen zeigen den räumlichen bzw. kartografischen Vergleich nach Varianten und der Anzahl ausgewählter Gebäude auf Hektarebene. Die Anzahl Ziehungen entspricht der Anzahl Gebäude, welche in den nächsten 15 Jahren saniert werden. Bei der Auswertung der Mehrfachdurchgänge (Monte-Carlo-Ansatz) sind jeweils die Mittelwerte in einem 100 x 100 Meter Raster dargestellt. Für die Aufbereitung des Rasters werden die ausgewählten Gebäude bzw. die in einem Textfile gesammelten Gebäudeidentifikatoren mit ArcGIS Pro in einem Punktdatensatz überführt (georeferenziert). Anschliessend werden die verschiedenen Punktdatensätze (aus den 10 Durchgängen) je Merkmal mit dem Werkzeug [Point to Raster] in einzelne Raster-Layer transformiert. Abschliessend wird mit dem [Raster Calculator] der Mittelwert der 10 übereinanderliegenden Raster errechnet.

Die dargestellten Ausschnitte sind so gewählt, dass wesentliche Unterschiede des Outputs der Simulation aufgezeigt werden können. Die zusätzlich ausgewiesenen Zahlen beziehen sich jeweils auf die ganze Gemeinde zu welcher der Bildausschnitt gehört, es werden folglich auch Gebäude ausserhalb des Bildausschnitts hinzugezählt.

Die Auswertungen aus dem Kennzahlenvergleich werden mit dem räumlichen Vergleich fortgesetzt, Ziel ist es, die beste Variante der Simulation z.H. der Berechnung des Energiebedarfs zu bestimmen. Für den räumliche Vergleich ausgewählt wurden die Gemeinden Täuffelen, Münsingen, Bern und Lenk. Diese Gemeinden liefern einen guten Mix aus städtisch und ländlich geprägten Gemeinden, sowie unterschiedlichen Einkommensstufen.

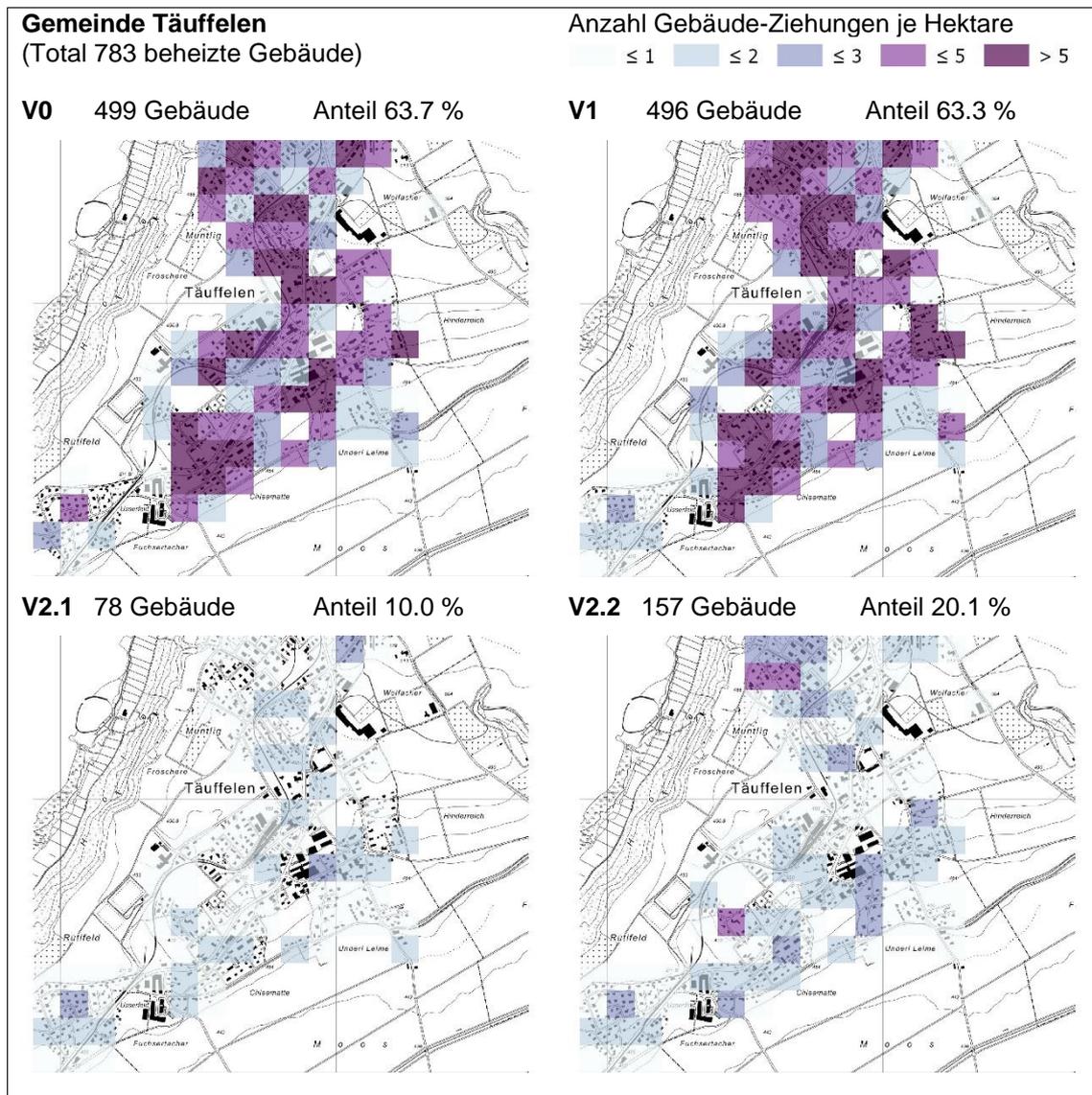


Abbildung 13: Räumlicher Vergleich Gemeinde Täuffelen

Die Gemeinde Täuffelen (siehe Abbildung 13), weist in den Simulations-Varianten 0 und 1 eine zu hohe Sanierungswahrscheinlichkeit aus. Dies zeigte schon der Kennzahlenvergleich, der räumliche Vergleich bestätigt dies. Auf einem Grossteil der Siedlungsfläche wurden bei diesen Varianten jeweils mehr als 3 Gebäude pro Hektare gezogen.

In den Varianten 2.1 und 2.2. sind zwar ähnliche Schwerpunkte auszumachen wie bei den Varianten 0 und 1, jedoch liegen sie auf einem deutlich tieferen Niveau. Die Variante 2.1 liegt mit einem Anteil von 10 % sanierten Gebäuden genau 5 % unter dem schweizerischen Mittelwert (vgl. Kapitel 2.4.1), die Variante 2.2 etwa 5 % darüber. Es scheinen grundsätzlich beide Varianten möglich, doch da es sich bei der Gemeinde Täuffelen um eine Gemeinde mit einem hohen mittleren Steuereinkommen handelt, wird die Variante 2.2 favorisiert.

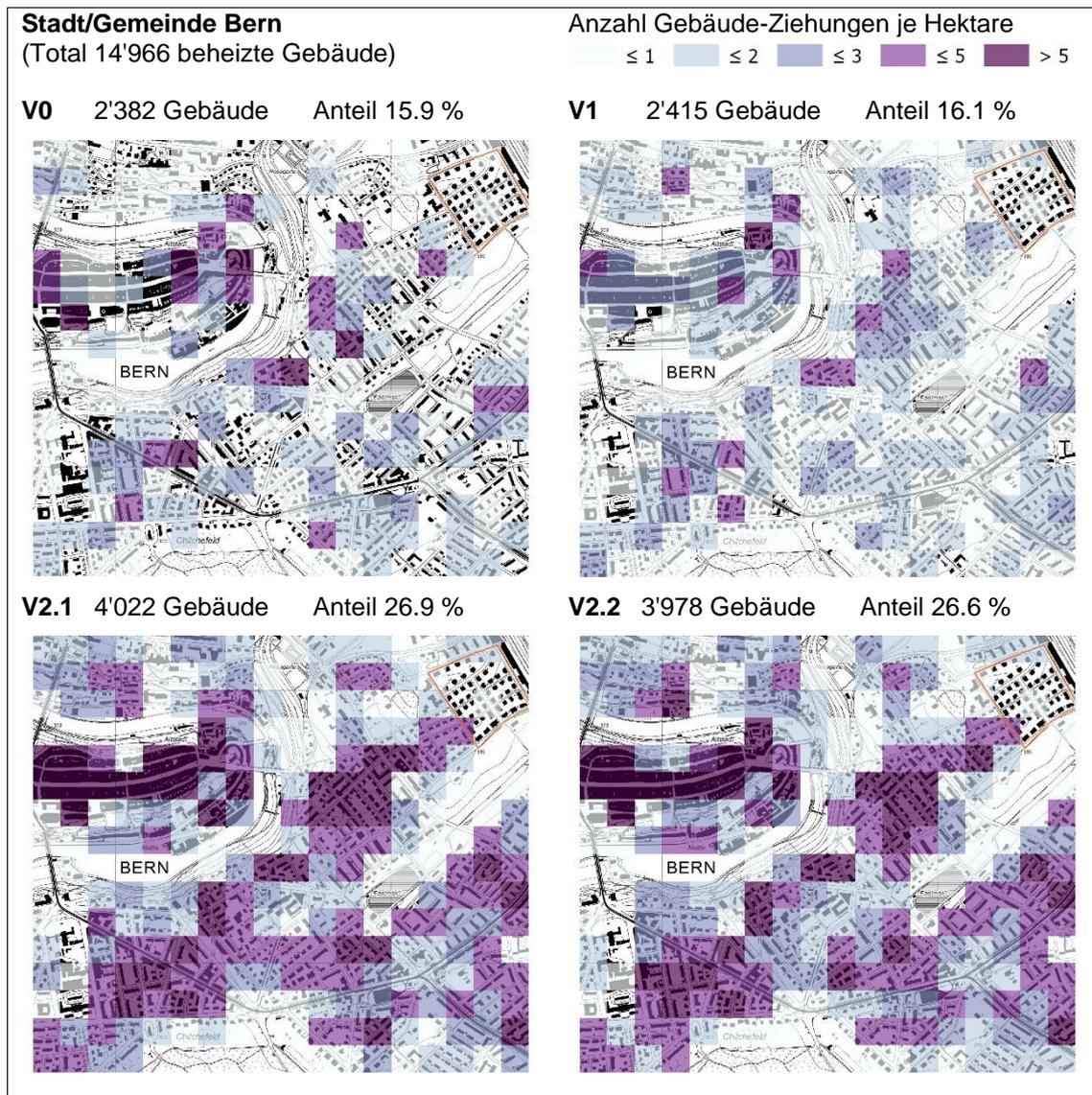


Abbildung 14: Räumlicher Vergleich Stadt/Gemeinde Bern

Die Stadt Bern ist die bevölkerungsreichste Gemeinde im Kanton Bern. Bei den Varianten 0 und 1 zeigt der räumliche Vergleich (siehe Abbildung 14), dass trotz der hohen Gebäudedichte nur wenige Hektaren mehr als 3 sanierte Gebäude aufweisen und ist entsprechend als zu tief und nicht realistisch anzusehen. Die Schwerpunkte liegen aber wiederum sehr ähnlich. Ein anderes Bild zeigt sich bei den Varianten 2.1 und 2.2: Hier sind nun grössere Gebiete auszumachen, bei welchen mehrere Gebäuden eine hohe Sanierungswahrscheinlichkeit aufweisen. Dies gilt sowohl für die dicht besiedelte Altstadt als auch die angrenzenden Wohngebiete (Diagonale in Bildmitte).

Die Hervorhebung im Ausschnitt der Stadt Bern (rechte obere Ecke) weist auf ein Neubaquartier hin. Die Simulation hat dort korrekterweise keine Gebäude mit einer hohen Sanierungswahrscheinlichkeit ausgewiesen.

Für die Stadt Bern kann sowohl die Variante 2.1 oder 2.2 favorisiert werden.

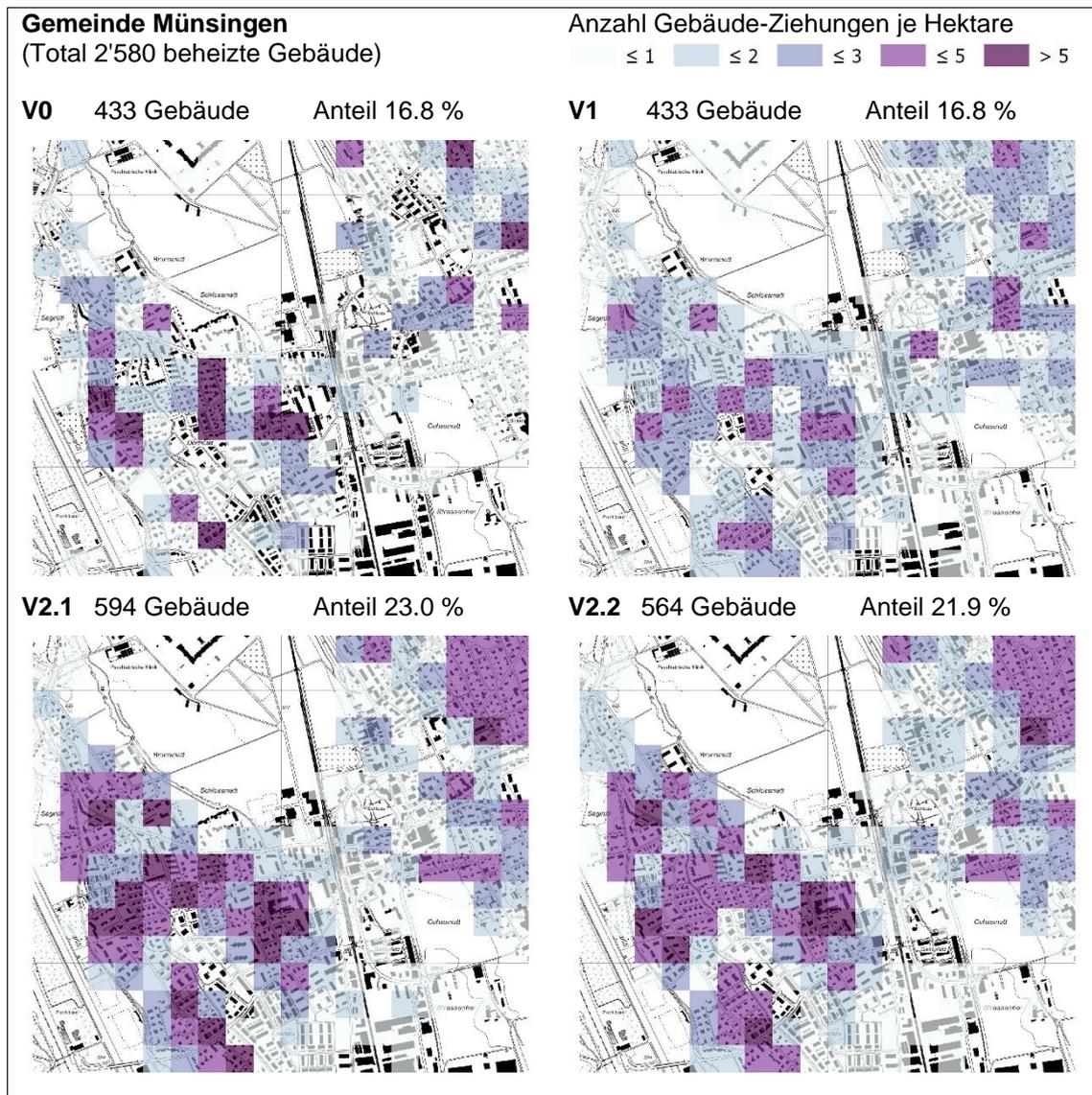


Abbildung 15: Räumlicher Vergleich Gemeinde Münsingen

Die Gemeinde Münsingen setzt sich aus den drei Ortsteilen Münsingen, Tägertschi und Trimstein zusammen. In der Abbildung 15 ist der Ortsteil Münsingen dargestellt. Ähnlich wie bei der Stadt Bern zeigen die Varianten 0 und 1 für eine städtische Gemeinde eher tiefe Werte. Das Zentrum um den Bahnhof ist geprägt von Gebäuden, die nicht nur Wohn- sondern auch Dienstleistungsnutzungen beinhalten, und weist tiefere Häufigkeiten als die südwestlich und nordöstlich vom Zentrum gelegenen Wohngebiete auf.

Mit den Varianten 2.1 und 2.2 nimmt die allgemeine Häufigkeit der Sanierungstätigkeit ausserhalb des Zentrums weiter zu. Der Anteil der Gebäude mit einer hohen Sanierungswahrscheinlichkeit steigt auf 23 % bzw. 22 %. Auch bei dieser räumlichen Auswertung zeigt sich, dass die 2. Variante zu favorisieren ist. Zwischen den Untervarianten 2.1 und 2.2 sind die Unterschiede jedoch zu gering, um eine Aussage zu treffen.

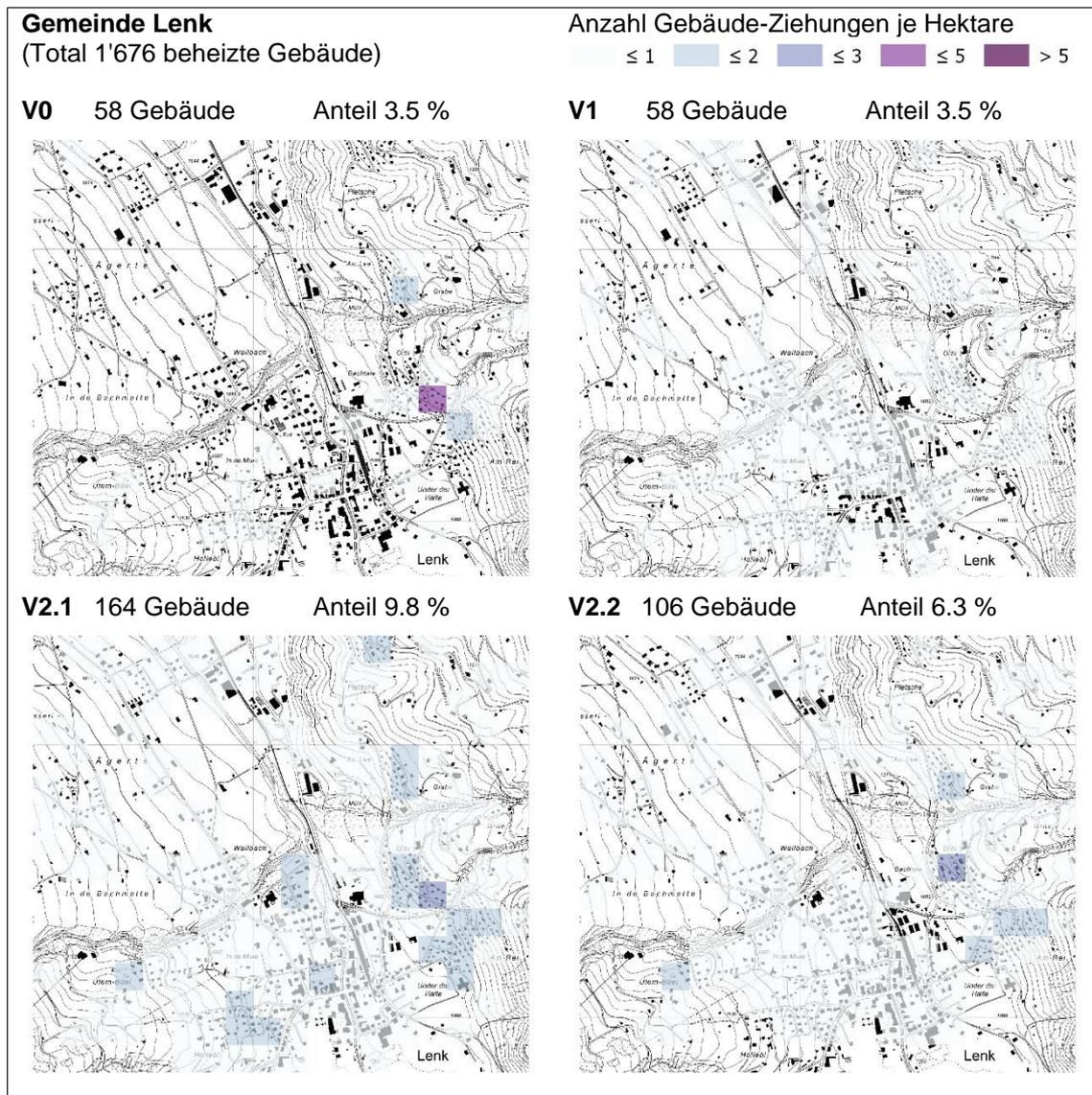


Abbildung 16: Räumlicher Vergleich Gemeinde Lenk

Mit dem ersten Blick auf die Abbildung 16 fällt auf, dass die dezentral in den Alpen gelegene Gemeinde Lenk nur über geringe Sanierungswahrscheinlichkeiten verfügt. Die Variante 0 zeigt eine gehäufte Auswahl auf einer Hektare und die Variante 1 das Gegenteil mit einzelnen ausgewählten Gebäuden auf vielen verschiedenen Hektaren. Der Anteil von 3.5 % ist dabei sehr tief.

Höhere Werte zeigen wiederum die Varianten 2.1 und 2.2, wobei die Variante 2.2 für eine ländliche Gemeinde mit tiefen mittleren Reineinkommen als wahrscheinlicher betrachtet wird.

### Fazit Kennzahlen und räumlicher Vergleich

Die räumliche Verteilung der Varianten 2.1 und 2.2 ist bezüglich der Gemeindetypisierung deutlich besser und mit weniger Ausreißern behaftet als die Varianten 0 und 1. Die

Variante 2.2 ist der Variante 2.1 aufgrund der geringeren Varianz und der besseren Berücksichtigung von kleinen Gemeinden überlegen. Deshalb wird in der Folge die Variante 2.2 für die weiteren Auswertungen favorisiert.

### 3.2 Detail Betrachtung Variante 2.2

Mit der Auswahl der Variante 2.2 stehen die Merkmale Bauperiode, Gebäudekategorie, mittleres Reineinkommen und Gemeindetyp (2012) für die Auswertung der räumlichen Entwicklung des Wärmebedarfs im Vordergrund, weshalb diese Merkmale in der Folge detaillierter betrachtet und mögliche Schwachpunkte im Detail eruiert werden.

#### 3.2.1 Merkmal Bauperiode (Gbaup)

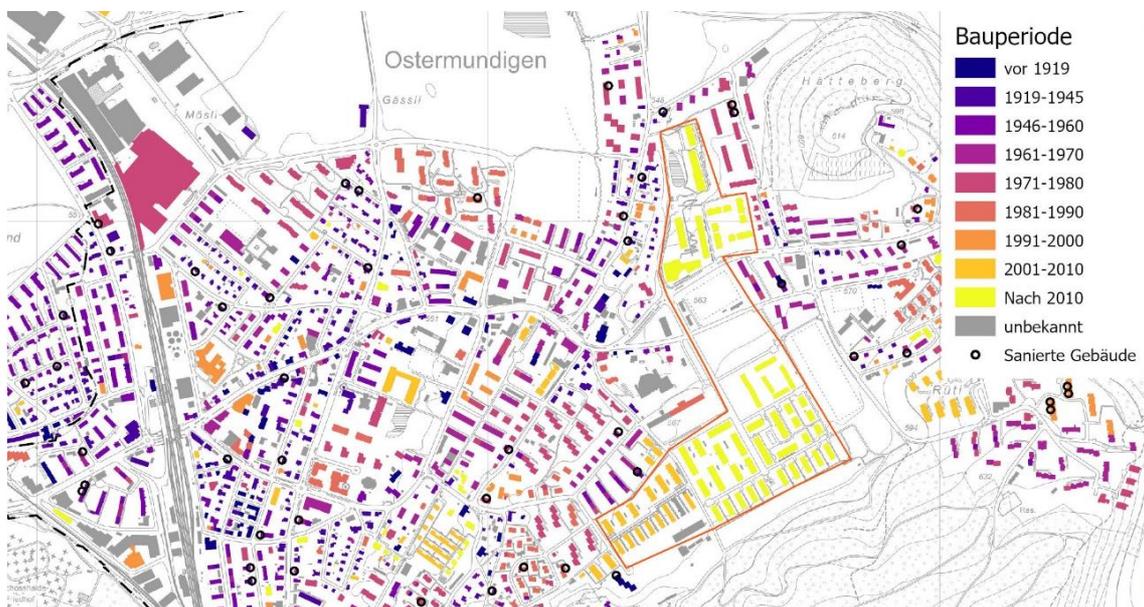


Abbildung 17: Visualisierung Gebäudealter (Ausschnitt Gemeinde Ostermundigen)

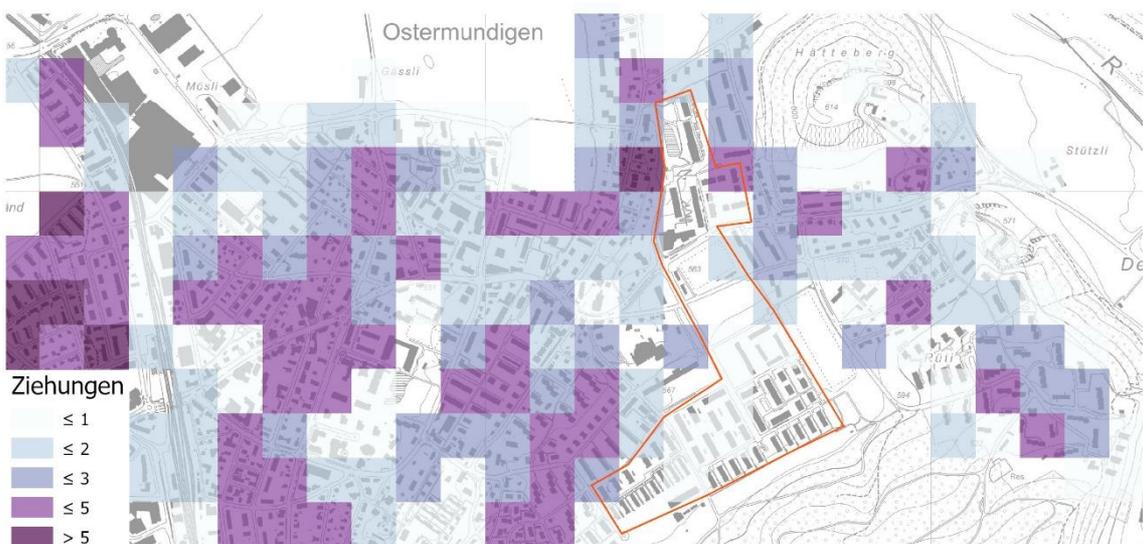


Abbildung 18: Visualisierung Simulationsresultat V2.2 (Ausschnitt Gemeinde Ostermundigen)

Im Rahmen der Erarbeitung des Erklärungsmodells (vgl. Kapitel 2.3.2.1) wurde aufgezeigt, dass die Bauperiode bzw. das Gebäudealter ein wichtiges Merkmal bezüglich der Sanierung von Gebäuden ist. Ob dies bei der Simulation der zukünftig zu sanierenden Gebäude auch wirklich berücksichtigt wird, zeigt der Vergleich der Abbildung 17 mit der Abbildung 18. Es wurde dazu ein Ausschnitt der an die Stadt Bern angrenzende Gemeinde Ostermundigen ausgewählt, welche über grössere Neubaugebiete verfügt. Erwartet wird, dass in Gebieten mit vielen Gebäuden neuerer Bauperiode keine oder nur wenige Sanierungen stattfinden.

In der Abbildung 17 sind die Gebäudegrundrisse gemäss der Bauperiode des Gebäudes eingefärbt. Je heller die Farbe ist, desto jünger ist die Bauperiode. In der Abbildung 18 ist das Simulationsergebnis der Variante 2.2 in Form des bekannten Hektarrasters nach der Anzahl Ziehungen des gleichen Ausschnitts dargestellt. Die Anzahl Ziehungen entspricht der Anzahl Gebäude, welche in den nächsten 15 Jahren saniert werden. Der Vergleich der beiden Abbildungen zeigt sehr gut, dass die Gebäude mit einer neueren Bauperiode nicht oder nur vereinzelt für eine Sanierung gezogen wurden. Klar erkenntlich ist dies im hervorgehobenen (markierten) Bereich. Daraus kann gefolgert werden, dass das Merkmal Bauperiode durch die Simulation sehr gut berücksichtigt wird.

### 3.2.2 Merkmal Gebäudekategorie (GKAT)

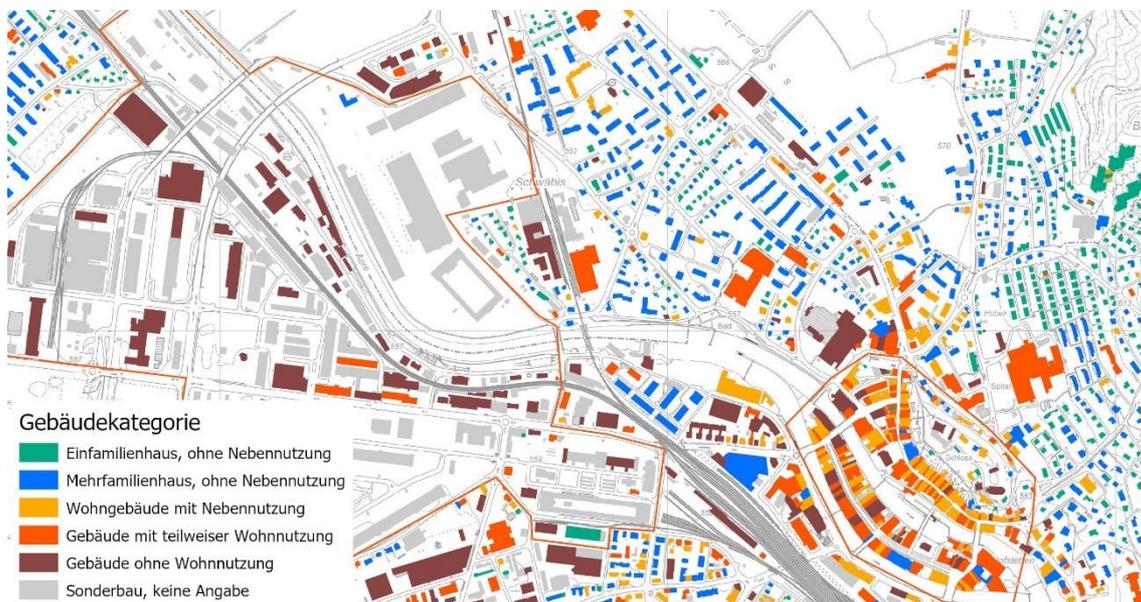


Abbildung 19: Visualisierung Gebäudekategorie (Ausschnitt Stadt Thun)

Die Detailbetrachtung zum Merkmal Gebäudekategorie (Abbildung 19) zeigt einen Ausschnitt der Stadt Thun. In der Abbildung sind die Gebäudegrundrisse gemäss der Gebäudekategorie eingefärbt. Am oberen und am rechten Bildrand befinden sich mehrheitlich Wohngebäude (blau und grün). Rechts unten befindet sich die Altstadt. In diesem

Bereich sind Nebennutzungen (Geschäfte, Büros, etc.) häufig vertreten und reine Wohnnutzungen eher selten. Im Zentrum und hin zum linken Rand befinden sich mehrere Bundesbauten (grosses Armeegelände).

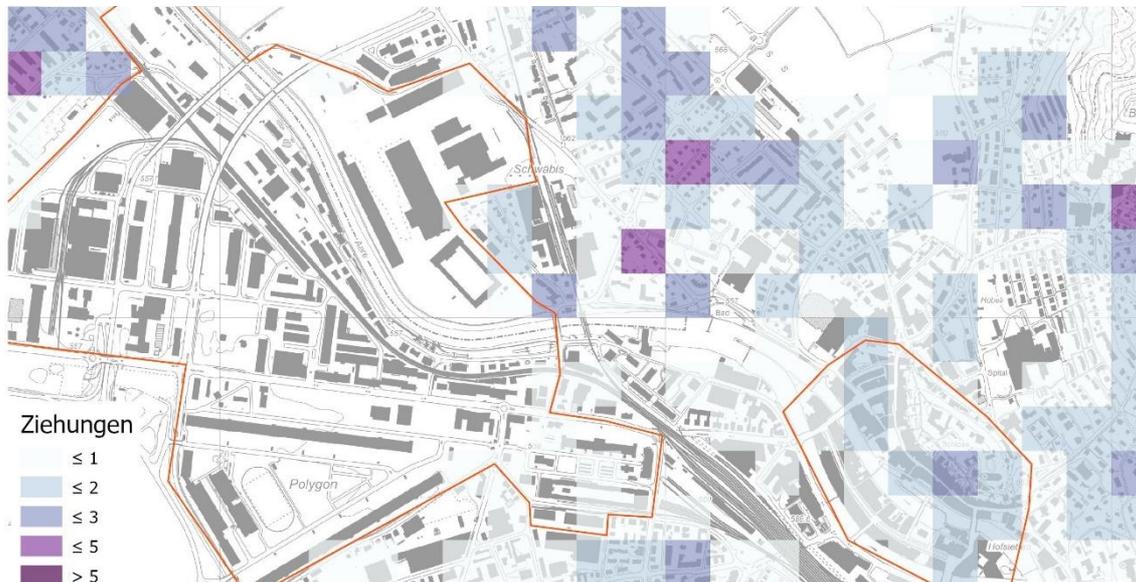


Abbildung 20: Visualisierung Simulationsresultat V2.2 (Ausschnitt Stadt Thun)

Die Abbildung 20 zeigt die mittlere Anzahl Ziehungen von Gebäuden je Hektare in diesem Ausschnitt. Es werden dabei zwei Problemfälle erkenntlich.

Erstens in der Altstadt (Markierung re. u.), also in Gebieten, in denen die Gebäudekategorien mit teilweiser oder ohne Wohnnutzung vorherrschen, werden deutlich weniger Gebäude saniert als in Gebieten, in denen Wohngebäude dominieren. Dies obwohl die Gebäude in der Altstadt sehr dicht beieinanderstehen sowie älteren Baujahres sind und so grundsätzlich viele Gebäude je Hektare vorhanden sind, die saniert werden könnten.

Zweitens sind für die Gebäude des Bundes, in diesem Fall vor allem der Schweizer Armee (Markierung li. Seite), sind keine oder nur eingeschränkte Angaben zur Gebäudekategorie vorhanden. Dies führt dazu, dass nur sehr wenige Gebäude im Rahmen der Modellierung gezogen wurden. Diese Gebäude sind in der Regel zwar beheizt und verfügen auch über ein Sanierungspotenzial werden von der Simulation aber aufgrund der fehlenden Merkmale in den Grundlagen-Datensätzen nicht berücksichtigt.

Es stellt sich hier die Frage ob durch die Verwendung des Merkmals Gebäudekategorie, die Gebäude, welche nicht nur oder gar nicht der Wohnnutzung dienen, systematisch unterschätzt werden, oder ob allenfalls noch weitere Gründe für die geringe Berücksichtigung vorliegen. Dies wird im Rahmen dieser Arbeit nicht restlos geklärt, aber in der Diskussion nochmals aufgegriffen.

### 3.2.3 Analyse Merkmale Gemeindetyp und mittleres Reineinkommen

Der Gemeindetyp ist das zentrale Merkmal zur Unterscheidung der Standortgemeinden der Gebäude. Differenziert wird in die drei Hauptkategorien Ländlich, Periurban und Städtisch. Die Tabelle 18 zeigt die Kennwerte zu den Anteilen der sanierten Gebäude pro Gemeinde bei der Simulations-Variante 2.2. Es zeigt sich, dass der Anteil der sanierten Gebäude bei den ländlichen Gemeinden erwartungsgemäss am tiefsten ist, der Median beträgt 12.3 % und das Maximum 17.3 %. Bei den periurbanen Gemeinden liegt der Median bei 12.5 % und das Maximum bei 23.5 %. In städtischen Gemeinden liegt der Anteil der sanierten Gebäude noch etwas höher, der Median bei 15.2 % und das Maximum bei 26.6 %.

Tabelle 18: Anteil sanierter Gebäude je Gemeindetyp (2012) V2.2

Gemeindetyp	Min	Median	Max	Anzahl Gemeinden
Ländlich	1.7 %	12.3 %	17.3 %	176
Periurban	2.5 %	12.5 %	23.5 %	135
Städtisch	9.7 %	15.2 %	26.6 %	53

Die ermittelten Werte scheinen plausibel, da die ländlichen Gemeinden in der Regel weniger finanzielle Mittel für die Information und die Förderung von Gebäudesanierungen aufwenden oder zur Verfügung haben als grössere Gemeinden. Der Kanton Bern verfügt über sehr viele ländliche Gemeinden, aber auch in diesen ist der Median des Anteils sanierter Gebäude nahe am Referenzdurchschnitt von 15 %<sup>2</sup>.

Das zweite gemeindespezifischen Merkmal ist der Gemeindetyp. Die Abbildung 21 zeigt drei Kartogramme, welche die räumliche Übereinstimmung zwischen den Eingangsdaten Gemeindetyp und mittleres Reineinkommen mit dem Output aus der Simulation der Variante 2.2. aufzeigen. Wie in Kapitel 2.3.2.3 und 2.3.2.4 dargestellt wurde, ist die Sanierungsrate in städtischen Gemeinden oder Gemeinden mit einer hohen Dichte effektiv höher als in ländlichen peripheren Gemeinden. Verstärkt wird dieser Umstand durch die Tatsache, dass die Gemeinden mit einem höheren mittleren Reinkommen gleichzeitig städtisch oder stadtnah liegen.

Eine Problematik bei der Verwendung des Merkmals mittleres Reineinkommen könnte zudem sein, dass einzelne sehr hohe Einkommen den Mittelwert stark beeinflussen und das Vermögen bzw. die Möglichkeit Sanierungen anzugehen innerhalb einer Gemeinde sehr unterschiedlich verteilt sind.

<sup>2</sup> Der schweizerische Durchschnitt beträgt 1 % pro Jahr, dies entspricht 15 % in 15 Jahren.

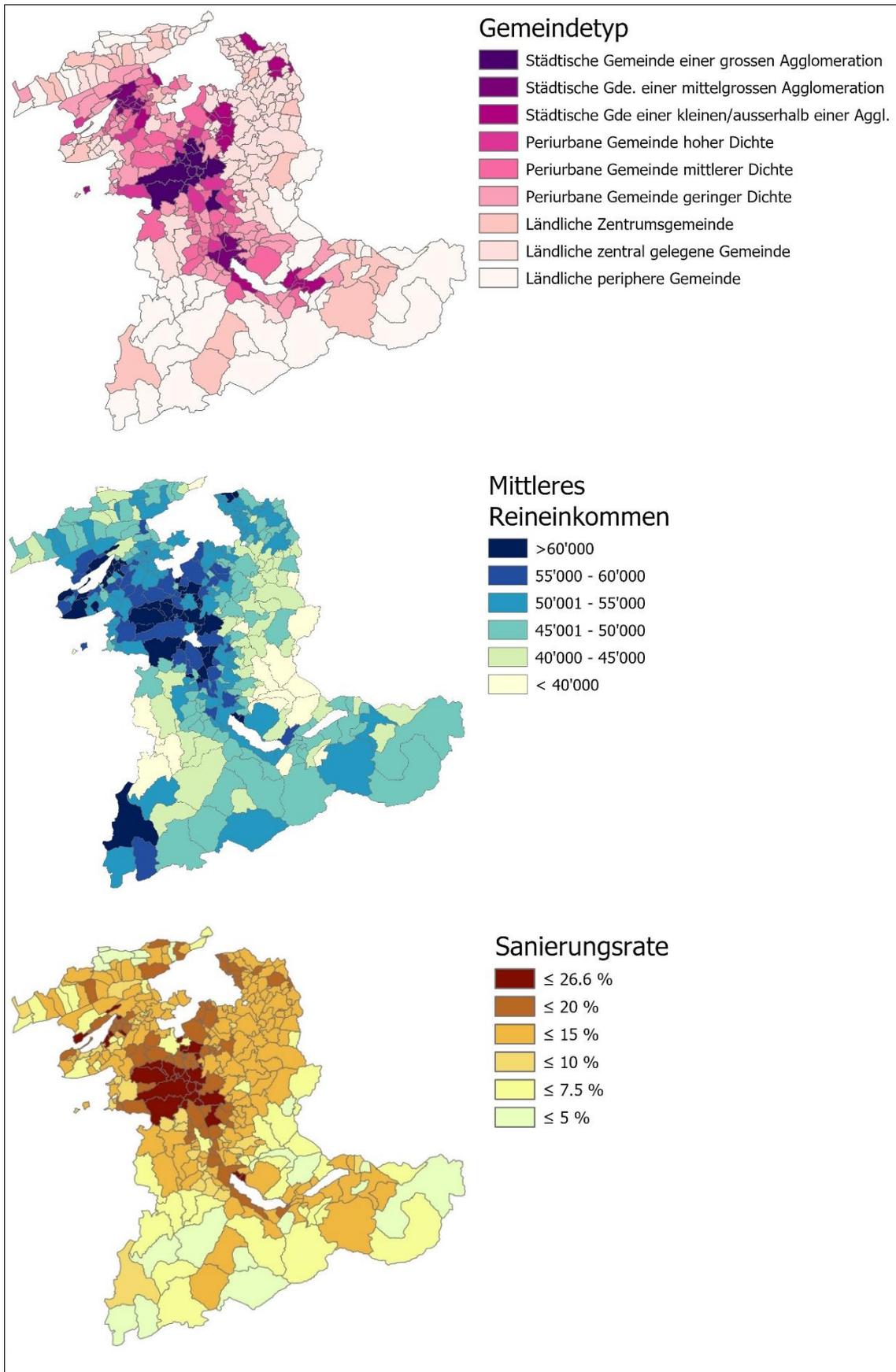


Abbildung 21: Kartendarstellungen zum Vergleich von Gemeindetyp, Mittleres Reineinkommen und Sanierungsrate

## Fazit

In der Detailbetrachtung zur Variante 2.2 wurde aufgezeigt, dass die verwendeten Merkmale verschiedene Schwächen und Stärken haben. Die Bauperiode bzw. das Gebäudealter funktionieren sehr gut, da die hohen Sanierungsraten bei den älteren Gebäuden liegen und neuere Gebäude gar nicht oder nur sehr wenig ausgewählt werden.

Die Gebäudekategorie ist eher problematisch, da Gebäude mit teilweiser Wohnnutzung oder ohne Wohnnutzung bei den Gebäuden mit einer hohen Sanierungsrate wahrscheinlich nicht genügend repräsentiert sind und so zu wenig berücksichtigt werden.

Die gemeindespezifischen Merkmale widerspiegeln sich gut in Simulationsresultaten, eine zusätzliche Verbesserung könnte allenfalls mit kleineren räumlichen Einheiten zum mittleren Reineinkommen erreicht werden.

Auf dieser Grundlage folgt nun der letzte Bearbeitungsschritt mit dem auf der Basis der sanierten Gebäude die räumliche Veränderung des Energiebedarfs ermittelt wird.

### **3.3 Berechnung des zukünftigen räumlichen Wärmebedarfs**

Von dem aktuell bestehenden gebäudespezifische Wärmebedarf aus der kantonalen Energiebedarfsberechnung (vgl. Kapitel 2.1.4) und der modellierten Sanierungstätigkeit wird der zukünftige Wärmebedarf berechnet. Die Berechnung findet vollständig in einem FME Workflow statt, wobei FME mittels eines [PythonCaller]-Transformers auch auf die arcpy-Funktionalitäten aus ArcGIS zurückgreift.

Aus den Punktdaten der Energiebedarfsberechnung wird ein Wärmebedarfsraster bzw. ein Wärmekataster mit dem IST-Zustand berechnet. Dies beinhaltet den Wärmebedarf aus Wohnflächen und den von den Beschäftigtenzahlen abgeleiteten Wärmebedarf für Dienstleistungsbetriebe.

Für die in den 10 Durchgängen der Monte-Carlo-Simulation ausgewählten Gebäude wird jeweils ein separates Wärmebedarfsraster berechnet. Dazu wird vorgängig der gebäudespezifischen Wärmebedarf an die zu sanierenden Gebäude angehängt [Join] und mit dem Faktor 0.5 multipliziert. Der Faktor 0.5 wurde als Sanierungsfaktor festgelegt und führt entsprechend dazu, dass ein Gebäude, welches saniert wird, einen um 50 % reduzierten Wärmebedarf aufweist. Die erstellten Raster werden mit dem [Raster Calculator] summiert und durch 10 dividiert, also gemittelt. Dabei muss berücksichtigt werden, dass auch die "leeren" Rasterzellen beachtet werden, was mit der Map Algebra-Funktion [Con] erfolgt. Das berechnete Raster beinhaltet die Effizienzgewinne durch die modellierten Sanierungen. Die Subtraktion des IST-Zustand-Rasters mit dem Sanierungs raster ergibt das finale Raster mit dem zukünftigen Wärmebedarf.

## 4 Ergebnisse

Gemäss den vorangehenden Arbeiten und der Ermittlung der Variante 2.2 als beste der untersuchten Methoden, um die räumliche Entwicklung der Energieeffizienz zu modellieren, zeigt dieses Kapitel die davon abgeleiteten Resultate auf. Der Fokus liegt dabei auf den vier ausgewählten Gemeinden, Bern, Täuffelen, Lenk und Münsingen (vgl. Kapitel 3.1.2).

Betrachtet wird die Entwicklung des räumlichen Energiebedarfs nach Hektaren in zwei Wärmekatastern, welche die aktuelle Situation und die Situation in 15 Jahren darstellen (vgl. Kapitel 3.3). Von grossem Interesse ist die Veränderung von Gebieten mit Wärmebedarfsdichten über 600 MWh/ha\*a, denn dies sind die interessanten Flächen für die Erstellung von Wärmeverbunden (QM Holzheizwerke, 2008 zitiert in Bundesamt für Energie, 2017, Tab. 6.3).

### 4.1 Vergleich Testgemeinden

#### 4.1.1 Bern

Die Gemeinde bzw. Stadt Bern ist die bevölkerungsreichste Gemeinde im Kanton Bern.

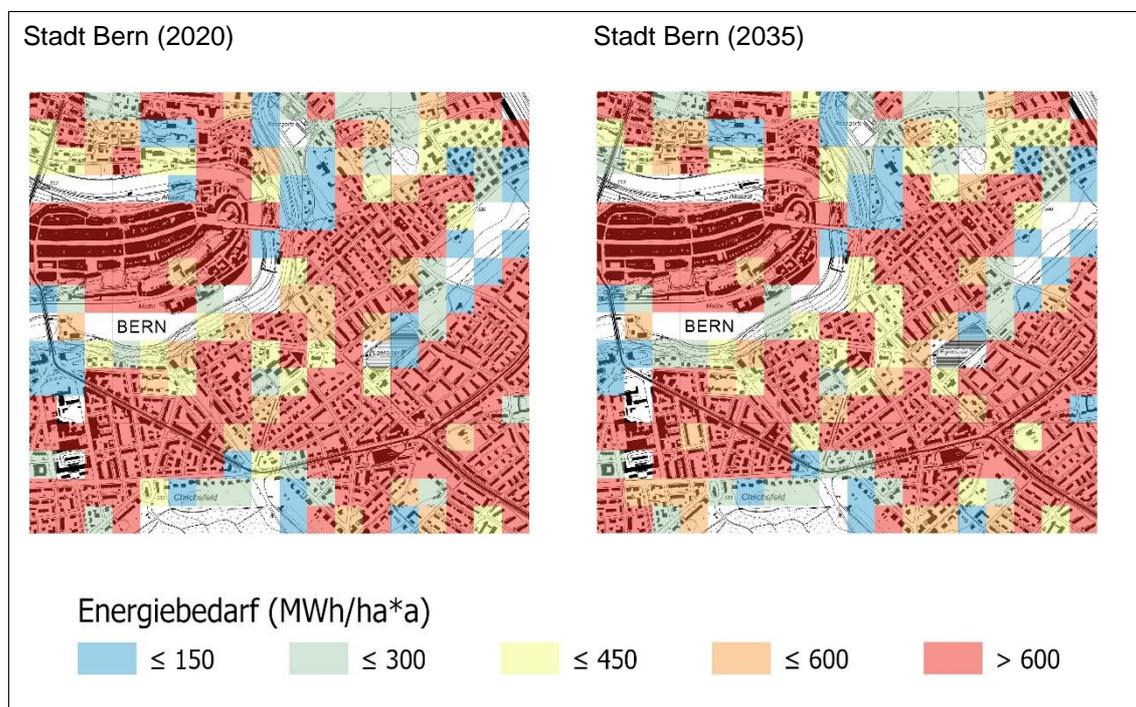


Abbildung 22: Entwicklung Energiebedarf bis 2035 in der Stadt Bern (Ausschnitt)

Die Abbildung 22 und die Tabelle 19 zeigen die Veränderungen in Bezug zur Wärmebedarfsdichte in der Stadt Bern. Der Wärmebedarf wird gemäss der Modellierung um 12.2 % abnehmen. Die Verteilung der für einen Wärmeverbund interessanten Gebiete verändert sich nur wenig. Einzelne Hektaren weisen, nach Abzug der durch Sanierungen

eingesparten Wärmeenergie, tiefere Werte auf, es bleiben jedoch weiterhin viele grössere und zusammenhängende Gebiete mit einer hohen Energiebedarfsdichte (rot eingefärbt) bestehen.

Tabelle 19: Ermittelte Werte Stadt Bern

Ermittelte Werte	Bern	[Einheit]
Wärmeenergiebedarf (Wohnen, IST-Zustand)	1'154'263	MWh/a
Einsparungen durch Sanierungen (bis 2035)	140'660	MWh/a
Wärmeenergiebedarf (Wohnen, 2035)	1'013'603	MWh/a
Veränderungen Energiebedarf	-12.2	%
Anzahl sanierte Gebäude	3'978	
Anteil sanierte Gebäude	26.6	%
Anteil sanierte Gebäude (pro Jahr)	1.8	%

#### 4.1.2 Münsingen

Die Gemeinde Münsingen ist eine ländliche Zentrumsgemeinde

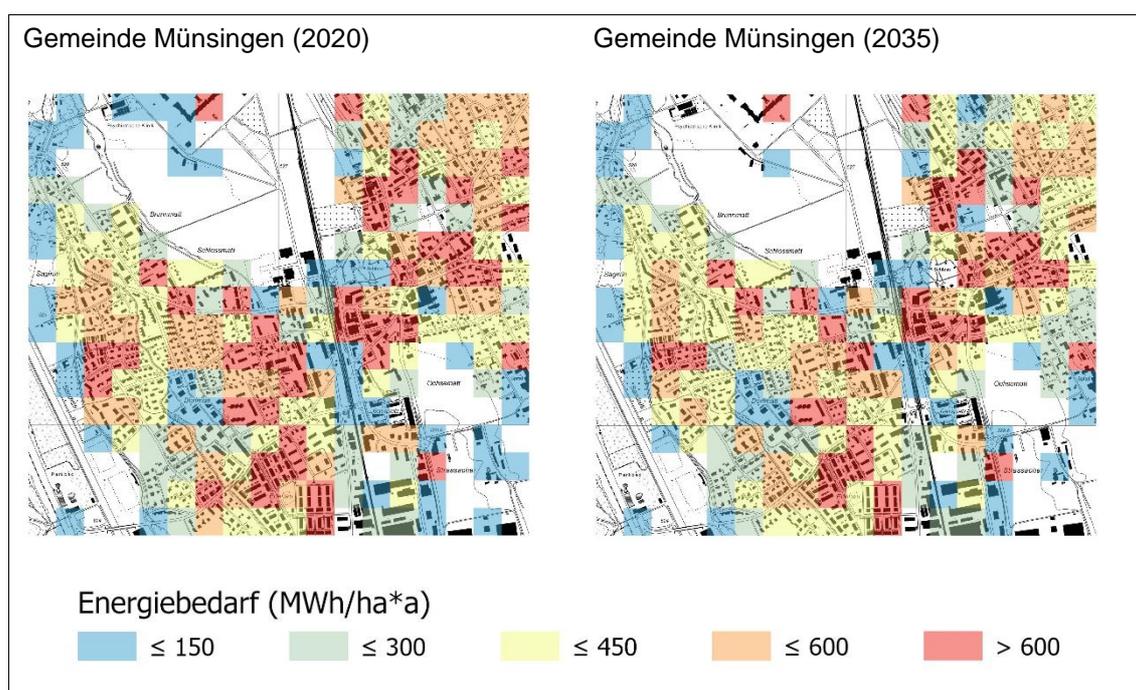


Abbildung 23: Entwicklung Energiebedarf bis 2035 in der Gemeinde Münsingen (Ausschnitt Zentrum Ortsteil Münsingen)

Der Vergleich der beiden Zeitstände 2020 und 2035 (vgl. Abbildung 23) zeigt, dass in der Mitte des gewählten Ausschnitts eine leichte Abnahme der Wärmebedarfsdichte zu verzeichnen ist, die Anzahl der rot eingefärbten Hektaren hat dort am meisten abgenommen. Es bestehen jedoch immer noch mehrere kleinere interessante Gebiete, welche für die zukünftige Erschliessung mittels Wärmeverbunden interessant sind.

Tabelle 20: Ermittelte Werte Gemeinde Münsingen

Ermittelte Werte	Münsingen	[Einheit]
Wärmeenergiebedarf (Wohnen, IST-Zustand)	96'061	MWh/a
Einsparungen durch Sanierungen (bis 2035)	10'125	MWh/a
Wärmeenergiebedarf (Wohnen, 2035)	85'936	MWh/a
Veränderungen Energiebedarf	-10.5	%
Anzahl sanierte Gebäude	564	
Anteil sanierte Gebäude	21.9	%
Anteil sanierte Gebäude (pro Jahr)	1.5	%

In der Gemeinde Münsingen werden gemäss dem Simulationsresultat jährlich mehr als 1.5 % der Gebäude saniert (vgl. Tabelle 20). Die durch Sanierungen prognostizierte Abnahme des Wärmebedarfs beträgt rund 10.5 %.

#### 4.1.3 Lenk

Die Gemeinde Lenk ist eine touristische/ländliche Gemeinden in einer Bergregion

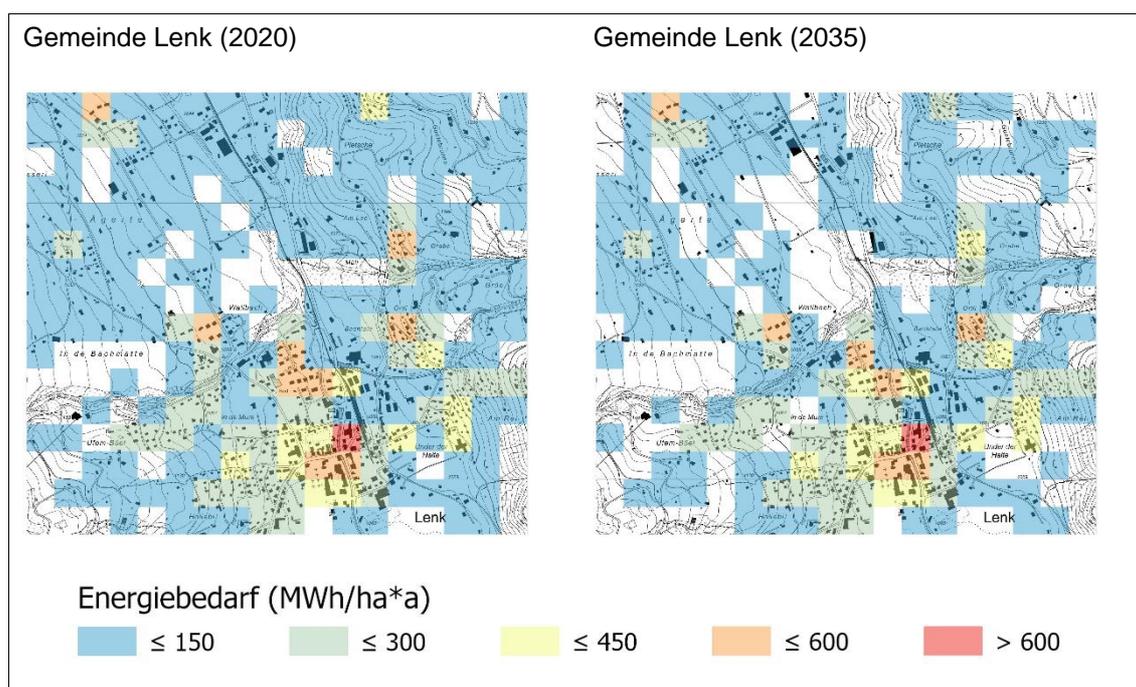


Abbildung 24: Entwicklung Energiebedarf bis 2035 in der Gemeinde Lenk (Ausschnitt)

In der Gemeinde Lenk werden gemäss der Simulation in den nächsten 15 Jahren mit durchschnittlich sieben Gebäuden pro Jahr (von insgesamt 106) am wenigsten Sanierungen aller vorgestellten Gemeinden vorgenommen. Die räumliche Verteilung des Energiebedarfs wird sich entsprechend nur sehr wenig verändern. Dies geht auch aus der Abbildung 24 hervor, in der keine wesentlichen Veränderung in den beiden Rastern erkenntlich sind.

Tabelle 21: Ermittelte Werte Gemeinde Lenk

<b>Ermittelte Werte</b>	<b>Lenk</b>	<b>[Einheit]</b>
Wärmeenergiebedarf (Wohnen, IST-Zustand)	46'599	MWh/a
Einsparungen durch Sanierungen (bis 2035)	1'370	MWh/a
Wärmeenergiebedarf (Wohnen, 2035)	45'229	MWh/a
Veränderungen Energiebedarf	-2.9	%
Anzahl sanierte Gebäude	106	
Anteil sanierte Gebäude	6.3	%
Anteil sanierte Gebäude (pro Jahr)	0.4	%

Wie die Tabelle 21 aufzeigt, sinkt der Energiebedarf durch Sanierungen um 2.6 %. Wie bereits in Kapitel 3.2.3 beleuchtet wurde, ist der Sanierungstrend in den Land- und in den Bergregionen allgemein geringer als den Zentrums- oder zentrumsnahen Gemeinden.

#### 4.1.4 Täuffelen

Die Gemeinde Täuffelen ist eine ländliche Gemeinde mit hohem Steuereinkommen.

Tabelle 22: Ermittelte Werte Gemeinde Täuffelen

<b>Ermittelte Werte</b>	<b>Täuffelen</b>	<b>[Einheit]</b>
Wärmeenergiebedarf (Wohnen, IST-Zustand)	25'255	MWh/a
Einsparungen durch Sanierungen (bis 2035)	2'550	MWh/a
Wärmeenergiebedarf (Wohnen, 2035)	22'706	MWh/a
Veränderungen Energiebedarf	-10.1	%
Anzahl sanierte Gebäude	157	
Anteil sanierte Gebäude	20.1	%
Anteil sanierte Gebäude (pro Jahr)	1.3	%

Wie in der Tabelle 22 ersichtlich ist, weist die Gemeinde Täuffelen eine jährliche Sanierungsquote von 1.3 % Prozent auf. Dies führt zu 157 Gebäuden, die in den nächsten 15 Jahren saniert werden, und so den Energiebedarf um rund 2'550 MWh/a senken werden.

In der Abbildung 25 ist ersichtlich, dass die die bis anhin bereits eher tiefe Wärmebedarfsdichte keine wesentlichen Veränderungen erfährt. Am südlichen Rand des Ausschnitts geht eine orange eingefärbte Hektare "verloren", ansonsten bleibt die Verteilung des Wärmebedarfs in etwa gleich.

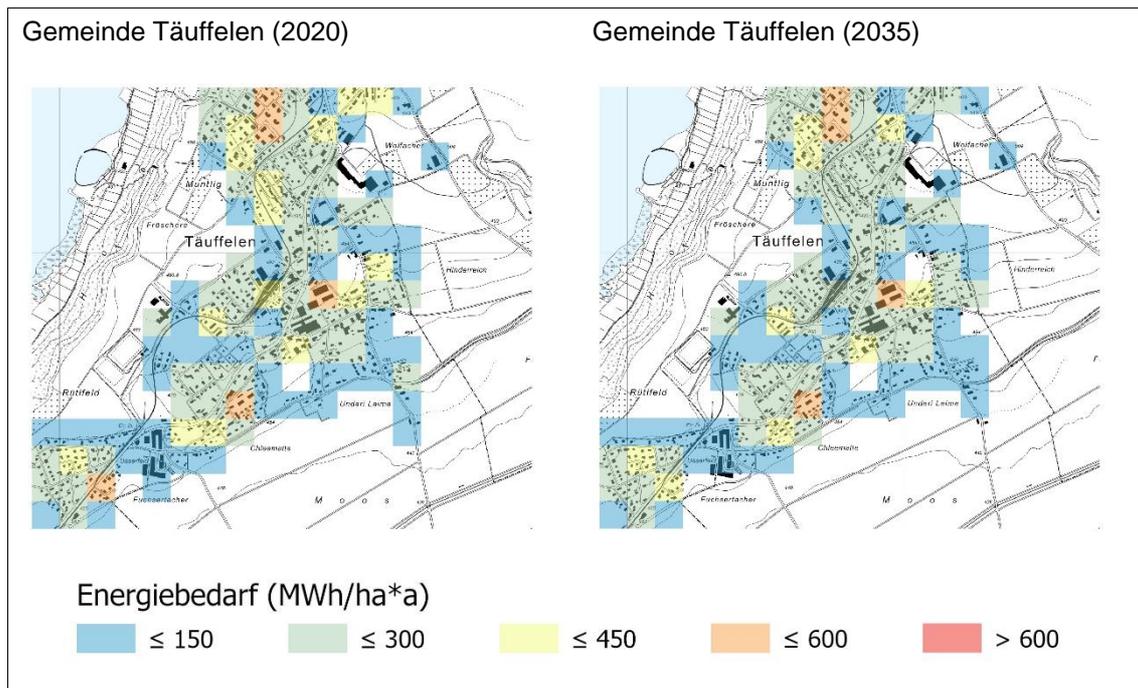


Abbildung 25: Entwicklung Energiebedarf bis 2035 in der Gemeinde Täuffelen (Ausschnitt)

### Fazit

Die Untersuchung der Entwicklung des Wärmebedarfs in den vier Testgemeinden zeigt, dass räumliche differenzierte Veränderungen bei der Entwicklung des Wärmebedarfs aufgrund der prognostizierten Sanierungstätigkeit bestehen. Der an die Sanierungen gekoppelte Wärmebedarf, zeigt erwartungsgemäss die gleichen Ausprägungen wie die Sanierungstätigkeit. Das heisst, dass sich die grössten Veränderungen in städtischen Gemeinden abspielen und je ländlicher eine Gemeinde ist, desto weniger Veränderung des Wärmebedarfs sind feststellbar.

Betreffend der für die Wirtschaftlichkeit von Wärmeverbunden relevante Wärmebedarfsdichte zeigen sich keine grossflächigen Veränderungen. Insbesondere um den definierten Schwellwert von 600 MWh/ha\*a wurde in den vorliegenden Auswertungen nur geringe Veränderungen erkannt.

## 5 Diskussion

### 5.1 Beantwortung Fragestellung und Zielsetzungen

Im Rahmen dieser Arbeit ist es gelungen, eine auf einer Monte-Carlo-Simulation beruhenden Methodik zu entwickeln, mit der die räumliche und zeitliche Entwicklung von energierelevanten Sanierungen an Gebäuden, sowie der davon abhängende räumliche Wärmebedarf modelliert und dargestellt werden kann. Die Ergebnisse, also die Daten zur zukünftigen Entwicklung des räumlichen Energiebedarfs, bilden einen Mehrwert bei räumlichen Energieplanungen insbesondere bei der Planung von Wärmeverbunden.

Die Daten aus den Gebäudeenergieausweisen (GEAK) bilden eine gute Grundlage für die Ermittlung der gebäudespezifischen Sanierungswahrscheinlichkeiten. Die Nutzung dieser Daten im Bereich der Gebäudeparkmodellierung in der Schweiz ist etabliert. Es lassen sich in den GEAK-Daten klare Hinweise auf Sanierungstätigkeiten in Bezug zur Energieeffizienz von Gebäuden finden. Die genutzten nationalen und kantonalen Grundlagendaten sind wichtige Stützen der Methodik und ein zentrales Element für die räumliche Differenzierung. Insbesondere die auf dem kantonalen Geoportal öffentlich verfügbaren Daten bieten eine grosse Auswahl an prüfenswerten Zusatzfaktoren. Mit den Merkmalen Bauperiode, Gebäudetyp, Gemeindetyp und mittleres Steuereinkommen je Gemeinde konnten wesentliche Eigenschaften identifiziert werden, die die Sanierungstätigkeit nachweislich beeinflussen. Die Auswahl der Merkmale mittels einer auf zwei Kriterien basierenden Bewertungsmatrix funktioniert, wobei eine hohe Sensitivität bezüglich der Bewertungskriterien besteht.

Der konzipierte und umgesetzte Workflow beruht auf wenigen und klar strukturierten Arbeitsschritten. Es besteht die Möglichkeit, Anpassungen oder Ergänzungen vorzunehmen. Es konnten daher mit geringem Aufwand verschiedene Varianten der Modellierung erstellt und verglichen werden. Der Vergleich der Varianten zeigt deutliche Unterschiede zwischen den Simulationsresultaten. Klare Differenzen bestehen insbesondere zwischen dem statischen (Variante 0 und 1) und dem dynamischen Ansatz (Varianten 2.1 und 2.2) der Simulation.

Auch die Umlagerung des Modells von den ausgewählten Gebäuden auf den Energiebedarf konnte mit den bestehenden Energiebedarfsdaten des Kantons Bern einfach umgesetzt werden. Wäre eine separate Berechnung des Energiebedarfs notwendig, würde ein wesentlicher Mehraufwand benötigt. Der räumliche Vergleich der Resultate der favorisierten Variante 2.2 mittels Rasteranalysen, liefert klare Indizien zu der räumlichen Veränderung des Energiebedarfs in den nächsten 15 Jahren. Die Resultate werden auf Gebäudebasis berechnet und können so beliebig aggregiert werden. Im Rahmen dieser

Arbeit hat sich die Aggregation auf ein 100 x 100 Meter Raster sowie die Gemeindeflächen bewährt.

## **5.2 Beurteilung Ergebnisse**

### Räumliche Entwicklung Wärmebedarf

Mit den berechneten Ergebnissen lassen sich wertvolle Erkenntnisse für die räumliche Energieplanung ableiten. Insbesondere die Verteilung des Wärmebedarfs innerhalb der Gemeinden liefert klare Hinweise und widerspiegelt deutlich die Eigenschaften der zugrundeliegenden Gebäude bzw. deren Merkmale.

Die Auswertung der Ergebnisse zeigt, dass die Senkung des Energiebedarfs durch Sanierungen den räumlichen Energiebedarf beeinflusst. Der Einfluss für die Erstellung von Wärmeverbunden ist jedoch beschränkt, da sich die grösseren Einsparungen auch in den Gebieten ereignen, die bereits heute einen hohen Energiebedarf aufweisen. So wurden nur wenige Veränderungen um den definierten Schwellwert von 600 MWh/ha\*a erkannt. Es lässt sich somit keine generelle Aussage für die zukünftige Planung von Wärmeverbunden machen. Mit Hilfe der simulierten Resultate lassen sich jedoch die differenzierten kleinräumigen Veränderungen sichtbar machen, die im Einzelfall durchaus relevant sind. Entsprechend könnte das Simulationsresultat, wenn es z.B. in einer Web-Map veröffentlicht würde, helfen konkrete Einzelsituationen besser zu beurteilen.

## **5.3 Vergleich mit anderen Studien / Arbeiten**

Zur Berechnung des zukünftigen Wärmebedarfs konnte kein direkt vergleichbarer Ansatz mit derselben Methodik gefunden werden. Andere Ansätze wie z.B. derjenige von Schneider et al. (2017b), welche mittels eines Kohortenvergleichs die Sanierungstätigkeit bzw. die Effizienzeinsparungen beziffern, liefern keine auf kommunaler oder kantonalen Ebene vergleichbare Zahlen.

Jakob et al. (2012) weisen im Referenzszenario, in dem für die Stadt Zürich entwickelten Wärmemodell, jährliche Erneuerungsraten bzw. Sanierungsraten je Bauteil, zwischen 0.15 % und 3 % aus. Die für den Kanton Bern ermittelten Sanierungsraten je Gebäude bewegen sich zwischen 0.1 % und 1,8 % pro Jahr. Die ermittelten Sanierungsraten liegen folglich in einem ähnlichen Rahmen wie beim Ansatz in Zürich. Der tiefere Maximalwert könnte auf die Unterschiede zwischen der Betrachtungsweise Bauteile vs. Gebäude zurückzuführen sein. In derselben Studie wird der Denkmalschutz bei Gebäuden als relevantes Merkmal - in Form eines Hemmnisses – angesehen, dies kann für den Kanton Bern so nicht bestätigt werden, da dieses Merkmal keine Veränderungen der Sanierungswahrscheinlichkeit bewirkte.

## 6 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die entwickelte Methode stellt einen anwendbaren und ausbaufähigen Ansatz zur räumlichen Modellierung der Sanierungstätigkeit in Bezug zur Gebäudeenergieeffizienz dar. Er lässt sich auf kommunaler, kantonaler oder sogar nationaler Ebene verwenden.

Es wurden relevante Sanierungsmerkmale identifiziert die Hinweise zur mutmasslichen zukünftigen Sanierung von Gebäuden liefern. Unter Zuhilfenahme des Monte-Carlo-Ansatzes und eines Erklärungsmodells wurde eine zufällige, aber gleichzeitig nach Wahrscheinlichkeit gewichtete Auswahl zur möglichen Entwicklung im Gebäudepark des Kantons Bern simuliert.

### Optimierungs- und Ausbaupotenziale der Methodik

Das Erklärungsmodell bzw. die Auswahl der Merkmale sind das Kernelement bei der Simulation der zukünftigen Sanierungen von Gebäuden und dem davon abgeleiteten Energiebedarf. Hier wäre es interessant, noch weitere Varianten mit dem dynamischen Ansatz zu testen, um besser beurteilen zu können, wie sich die einzelnen Merkmale auf das effektive Ergebnis auswirken. Dazu kommen z.B. die Merkmale in Frage, die in der Bewertungsmatrix nur knapp nicht berücksichtigt wurden wie z.B. der Energieträger der Heizung eines Gebäudes.

Auch das Zusammenwirken zwischen den unterschiedlichen Merkmalstypen wie räumlich, gebäude- oder gemeindespezifisch wurde nicht abschliessend untersucht. Hier wäre es interessant weitere Kombinationen zu testen, welche z.B. nur räumliche oder gebäudespezifische Merkmale verwenden. Des Weiteren wurde die Anzahl der Merkmale auf vier Stück festgelegt, was gut funktioniert. Es könnte aber auch noch überprüft werden, wie sich die Nutzung zusätzlicher Merkmale auf das Simulationsresultat auswirkt.

Es wurde nicht abschliessend geklärt, wie gut der Berner Gebäudepark mit der bestehenden Stichprobe von Gebäudeenergieausweisen tatsächlich repräsentiert wird. Dies betrifft insbesondere die Berücksichtigung der Gebäude ohne Wohnanteil wie reine Geschäfts- und Bürogebäude. Denn zumindest zu Beginn der Lancierung des Instruments GEAK war dies eher auf die Wohngebäude ausgerichtet. Hier sind zusätzliche Abklärungen wünschenswert.

Beim Merkmal mittleres Reineinkommen, würde ein gebäudespezifisches Steuereinkommen die Aussagekraft extrem erhöhen, eine Nutzung solcher Daten ist aber aufgrund des Datenschutzes nahezu ausgeschlossen.

Als Sanierungsfaktor wird aktuell ein vorgegebener Wert genutzt, der sich an dem schweizerischen Mittelwert orientiert. Hier ist es erstrebenswert, dass sich dieser Faktor in Abhängigkeit von Szenarien, über das ganze Untersuchungsgebiet gesehen, dynamisch verändern kann. Dies ist mit dem aktuellen Ansatz nicht möglich. Folglich kann mit dem definierten Vorgehen keine Aussage zum Einfluss verschiedener Szenarien, z.B. im Bereich der Förderungspolitik, auf die Gesamtsumme der Sanierungen gemacht werden. Durch die "Dynamisierung" dieses Faktors wäre dies jedoch möglich und die zeitliche Komponente bzw. die Gesamtzahl der Sanierungen nicht mehr starr.

Die verwendete Energiebedarfsberechnung hat den Nachteil, dass sie den Wärmebedarf aus Gebäude mit oder ohne Wohnnutzung auf unterschiedliche Weise berechnet. So kommen aktuell ein Bottom-Up als auch ein Top-Down-Ansatz zur Anwendung. Idealerweise sollte alles mit der gleichen Methodik auf Basis der Energiebezugsfläche berechnet werden.

Eine zusätzliche Auswertung könnte ebenfalls durch den Einbezug der Energieträger und der Heizsysteme erfolgen. Es besteht im Kanton Bern ein Datensatz zur Feuerungskontrolle, welcher das Alter der fossilen und einzelner auf erneuerbaren Energien basierender Heizanlagen kennt. Mit einer entsprechenden Auswertung könnten auch die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen berücksichtigt und entsprechende Szenarien gebildet werden.

Der Einfluss von Förderprogrammen oder des Klimawandels wurde im Rahmen dieser Arbeit nicht berücksichtigt. Daher wäre es spannend, Szenarien zu den verschiedenen Entwicklungen je nach Förderprogramm und Entwicklung des Klimas zu analysieren. Hinweise zum Einfluss des Klimas sind z.B. in der Arbeit von Perera et al. (2018) zu finden.

Die Datengrundlage spielt eine zentrale Rolle bei den Ermittlungen zur Sanierungswahrscheinlichkeit. Insbesondere die Gebäudeenergieausweise. Durch die bestehende Verknüpfung der kantonalen Energie-Förderung und dem Erstellen von Gebäudeenergieausweisen der Kantone (GEAK) sollte die entsprechende Datengrundlage in den kommenden Jahren stetig wachsen, so dass es Sinn machen würde, die ermittelten Werte zu verifizieren und zu aktualisieren.

Im Kanton Bern wird ab anfangs 2020 das digitale Baugesuch schrittweise eingeführt. Hier wäre es von grossem Nutzen, wenn Erhebungen von konkreten Sanierungen gesammelt und mit dem vorliegenden Modell abgeglichen werden könnten.

## Literaturverzeichnis

- Aksoezen, M., Daniel, M., Hassler, U., und Kohler, N. (2015). Building age as an indicator for energy consumption. *Energy and Buildings* 87, 74–86.  
doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.074>.
- Baldi, S., Yuan, S., Endel, P., und Holub, O. (2016). Dual estimation: Constructing building energy models from data sampled at low rate. *Applied Energy* 169, 81–92.  
doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.02.019>.
- Bundesamt für Energie (2017). Planungshandbuch Fernwärme. Bern: Zugriff: [https://www.energie-zentral-schweiz.ch/fileadmin/user\\_upload/Downloads/Planungshilfen/Planungshandbuch\\_Fernwarrme\\_V1.0x.pdf](https://www.energie-zentral-schweiz.ch/fileadmin/user_upload/Downloads/Planungshilfen/Planungshandbuch_Fernwarrme_V1.0x.pdf) [02.02.2020].
- Bundesamt für Energie (2018). Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000–2017 nach Verwendungszwecken. Zugriff: <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-geodaten/energiestatistiken/energieverbrauch-nach-verwendungszweck.html> [08.03.2019].
- Bundesamt für Statistik (2005). Die Raumgliederungen der Schweiz. Zugriff: <https://www.bfs.admin.ch/bfsstatic/dam/assets/342284/master> [04.01.2020].
- Bundesamt für Statistik (2017). Gemeindetypologie und Stadt/Land-Typologie 2012. Zugriff: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/grundlagen/raumgliederungen.assetdetail.2543323.html> [04.01.2020].
- Bundesamt für Umwelt (2017). Kantonale Beispiele zur Erhebung der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Gebäuden. Zugriff: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/fachinformationen/klimapolitik/gebaeude/kantonale-berichterstattung.html> [16.12.2019].
- Bundesamt für Umwelt (2019). CO<sub>2</sub>-Statistik: Emissionen aus Brenn- und Treibstoffen. Zugriff: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-klima/klima--daten--indikatoren-und-karten/daten--treibhausgasemissionen-der-schweiz/co2-statistik--emissionen-aus-brenn--und-treibstoffen.html> [12.10.2019].
- Bundesgesetz über die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen (2011). Zugriff: <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20091310/201801010000/641.71.pdf> [28.03.2019].
- Bundesrat (2019). Bundesrat will bis 2050 eine klimaneutrale Schweiz. Zugriff: <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-76206.html> [04.10.2019].
- Harbrecht, H. (2018). Einführung in die Statistik. Zugriff: <https://cm.dmi.unibas.ch/teaching/stochastik/skript.pdf> [09.01.2020].
- IPCC (2014). Climate change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. Geneva, Switzerland.

- Jakob, M., Catenazzi, G., Forster, R., Egli, T., Kaiser, T., Looser, R., et al. (2016). Erweiterung des Gebäudeparkmodells gemäss SIA-Effizienzpfad Energie. Zugriff: [https://www.tep-energy.ch/docs/de\\_en/p0514\\_Erweiterung-Gebaeudeparkmodell\\_Schlussbericht.pdf](https://www.tep-energy.ch/docs/de_en/p0514_Erweiterung-Gebaeudeparkmodell_Schlussbericht.pdf) [14.11.2019].
- Jakob, M., Catenazzi, G., Forster, R., Egli, T., Kaiser, T., Raphael Looser, et al. (2009). Gebäudeparkmodell SIA Effizienzpfad Energie Dienstleistungs- und Wohngebäude. Zugriff: <https://www.aramis.admin.ch/Default.aspx?DocumentID=62428&Load=true> [09.02.2020].
- Jakob, M., Martius, G., Flury, K., Gross, N., Wallbaum, H., Heeren, N., et al. (2012). Energiekonzept 2050 für die Stadt Zürich - Auf dem Weg zur 2000 Watt tauglichen Wärme-Versorgung mit einem räumlich differenzierten Gebäudeparkmodell.
- Jakob, M., Wallbaum, H., Catenazzi, G., Martius, G., Nägeli, C., und Sunarjo, B. (2013). Spatial building stock modelling to assess energy efficiency and renewable energy in an urban context. 7.
- Kantonale Energieverordnung (KE nV) (2016). Zugriff: <https://www.belex.sites.be.ch/frontend/versions/1077> [28.03.2019].
- Kantonales Energiegesetz (KE nG) (2012). Zugriff: <https://www.belex.sites.be.ch/frontend/versions/573> [28.03.2019].
- Kavgic, M., Mavrogianni, A., Mumovic, D., Summerfield, A., Stevanovic, Z., und Djurovic-Petrovic, M. (2010). A review of bottom-up building stock models for energy consumption in the residential sector. *Building and Environment* 45, 1683–1697.  
doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.01.021>.
- Lim, H., und Zhai, Z. J. (2017). Review on stochastic modeling methods for building stock energy prediction. *Building Simulation* 10, 607–624. doi: <https://doi.org/10.1007/s12273-017-0383-y>.
- Mani, P., Rempfer, J., Schneider, M., and Berger, C. (2018). Ein probabilistisches Modell zur Abschätzung des Schadenpotenzials durch Überflutungen. [Blogbeitrag] Bern: geo7 AG. Zugriff: <https://geo7.ch/blog/ein-probabilistisches-modell-zur-abschätzung-des-schadenpotenzials-durch-überflutungen/> [06.02.2020].
- Perera, A. T. D., Coccolo, S., Scartezzini, J.-L., und Mauree, D. (2018). Quantifying the impact of urban climate by extending the boundaries of urban energy system modeling. *Applied Energy* 222, 847–860.  
doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.04.004>
- Reinhart, C. F., und Cerezo Davila, C. (2016). Urban building energy modeling – A review of a nascent field. *Building and Environment* 97, 196–202.  
doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.12.001>.
- Schneider, S., Hollmuller, P., Le Strat, P., Khoury, J., Patel, M., und Lachal, B. (2017a). Spatial–Temporal Analysis of the Heat and Electricity Demand of the Swiss Building Stock. *Frontiers in Built Environment* 3.  
doi: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2017.00053>.

- Schneider, S., Khoury, J., Lachal, B. M., und Hollmuller, P. (2017b). Geo-dependent heat demand model of the Swiss building stock. 1166–1172. Zugriff: <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:84240> [28.03.2019].
- Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (2015). Modernisierung des Gebäudeparks der Schweiz. Zugriff: <https://www.sia.ch/de/themen/energie/modernisierung-gebäudepark/> [02.10.2019].
- Streicher, K. N., Padey, P., Parra, D., Bürer, M. C., und Patel, M. K. (2018). Assessment of the current thermal performance level of the Swiss residential building stock: Statistical analysis of energy performance certificates. *Energy and Buildings* 178, 360–378.  
doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.08.032>.
- Streicher, K. N., Padey, P., Parra, D., Bürer, M. C., Schneider, S., und Patel, M. K. (2019). Analysis of space heating demand in the Swiss residential building stock: Element-based bottom-up model of archetype buildings. *Energy and Buildings* 184, 300–322.  
doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.12.011>.
- Swan, L. G., und Ugursal, V. I. (2009). Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13, 1819–1835  
doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.033>.
- United Nations (2015). Adoption of the Paris Agreement. Paris. Zugriff: <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf> [04.10.2019].
- Verein GEAK (2019). Der GEAK Berechnungsmethodik. Zugriff: <https://www.geak.ch/de/der-geak/berechnungsmethodik/> [29.03.2019].
- Wang, D., Landolt, J., Mavromatidis, G., Orehounig, K., und Carmeliet, J. (2018). CE-SAR: A bottom-up building stock modelling tool for Switzerland to address sustainable energy transformation strategies. *Energy and Buildings* 169, 9–26.  
doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.03.020>.
- Zheng, D., Yu, L., und Wang, L. (2019). A techno-economic-risk decision-making methodology for large-scale building energy efficiency retrofit using Monte Carlo simulation. *Energy* 189, 116169.  
doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116169>.

---

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b>	<b>Endenergieverbrauch nach Verbrauchergruppen in der Schweiz im Jahr 2017 (Bundesamt für Energie, 2018, Abb. 7)</b>	<b>3</b>
<b>Abbildung 2:</b>	<b>Treibhausgasemissionen aus Gebäuden gemäss CO2-Gesetz und Kyoto-Protokoll nach Bundesamt für Umwelt (2019, Tab. 4))</b>	<b>4</b>
<b>Abbildung 3:</b>	<b>Schema, Aufbau und Vorgehen der Modellierung</b>	<b>9</b>
<b>Abbildung 4:</b>	<b>Beispiel Datenvisualisierung Energiebedarf im Industrie- und Dienstleistungssektor</b>	<b>16</b>
<b>Abbildung 5:</b>	<b>Ausschnitt FME-Workspace -Bedingungen Gebäudesanierung mit dem Transformer [TestFilter]</b>	<b>19</b>
<b>Abbildung 6:</b>	<b>Analyse Merkmal Bauperiode (Visualisierung)</b>	<b>25</b>
<b>Abbildung 7:</b>	<b>Analyse Merkmal Gebäudekategorie (Visualisierung)</b>	<b>26</b>
<b>Abbildung 8:</b>	<b>Analyse Merkmal mittleres Reineinkommen (Visualisierung)</b>	<b>27</b>
<b>Abbildung 9:</b>	<b>Analyse Merkmal Gemeindetyp 2000 (Visualisierung)</b>	<b>28</b>
<b>Abbildung 10:</b>	<b>Analyse Merkmal Gemeindetyp 2012 (Visualisierung)</b>	<b>29</b>
<b>Abbildung 11:</b>	<b>Analyse Merkmal Anzahl Stockwerke (Visualisierung)</b>	<b>31</b>
<b>Abbildung 12:</b>	<b>Analyse Merkmal Denkmalschutz (Visualisierung)</b>	<b>32</b>
<b>Abbildung 13:</b>	<b>Räumlicher Vergleich Gemeinde Täuffelen</b>	<b>42</b>
<b>Abbildung 14:</b>	<b>Räumlicher Vergleich Stadt/Gemeinde Bern</b>	<b>43</b>
<b>Abbildung 15:</b>	<b>Räumlicher Vergleich Gemeinde Münsingen</b>	<b>44</b>
<b>Abbildung 16:</b>	<b>Räumlicher Vergleich Gemeinde Lenk</b>	<b>45</b>
<b>Abbildung 17:</b>	<b>Visualisierung Gebäudealter (Ausschnitt Gemeinde Ostermundigen)</b>	<b>46</b>
<b>Abbildung 18:</b>	<b>Visualisierung Simulationsresultat V2.2 (Ausschnitt Gemeinde Ostermundigen)</b>	<b>46</b>
<b>Abbildung 19:</b>	<b>Visualisierung Gebäudekategorie (Ausschnitt Stadt Thun)</b>	<b>47</b>
<b>Abbildung 20:</b>	<b>Visualisierung Simulationsresultat V2.2 (Ausschnitt Stadt Thun)</b>	<b>48</b>
<b>Abbildung 21:</b>	<b>Kartendarstellungen zum Vergleich von Gemeindetyp, Mittleres Reineinkommen und Sanierungsrate</b>	<b>50</b>
<b>Abbildung 22:</b>	<b>Entwicklung Energiebedarf bis 2035 in der Stadt Bern (Ausschnitt)</b>	<b>52</b>
<b>Abbildung 23:</b>	<b>Entwicklung Energiebedarf bis 2035 in der Gemeinde Münsingen (Ausschnitt Zentrum Ortsteil Münsingen)</b>	<b>53</b>
<b>Abbildung 24:</b>	<b>Entwicklung Energiebedarf bis 2035 in der Gemeinde Lenk (Ausschnitt)</b>	<b>54</b>
<b>Abbildung 25:</b>	<b>Entwicklung Energiebedarf bis 2035 in der Gemeinde Täuffelen (Ausschnitt)</b>	<b>56</b>

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1:</b>	<b>Übersicht nationaler Bottom-Up Gebäudemodellierungen</b>	<b>6</b>
<b>Tabelle 2:</b>	<b>Verwendete Software</b>	<b>10</b>
<b>Tabelle 3:</b>	<b>Bewertung und Übersicht analysierte raumspezifische Merkmale</b>	<b>22</b>
<b>Tabelle 4:</b>	<b>Bewertung und Übersicht analysierte gebäudespezifische Merkmale</b>	<b>23</b>
<b>Tabelle 5:</b>	<b>Bewertung und Übersicht analysierte gemeindespezifische Merkmale</b>	<b>24</b>
<b>Tabelle 6:</b>	<b>Analyse Merkmal Bauperiode (ermittelte Werte)</b>	<b>25</b>
<b>Tabelle 7:</b>	<b>Analyse Merkmal Gebäudekategorie (ermittelte Werte)</b>	<b>27</b>
<b>Tabelle 8:</b>	<b>Analyse Merkmal Durchschnittliches Reineinkommen (ermittelte Werte)</b>	<b>28</b>
<b>Tabelle 9:</b>	<b>Analyse Merkmal Gemeindetyp 2000 (ermittelte Werte)</b>	<b>29</b>
<b>Tabelle 10:</b>	<b>Analyse Merkmal Gemeindetyp 2012 (ermittelte Werte)</b>	<b>30</b>
<b>Tabelle 11:</b>	<b>Analyse Merkmal Denkmalschutz (ermittelte Werte)</b>	<b>32</b>
<b>Tabelle 12:</b>	<b>Varianten für die Simulation</b>	<b>34</b>
<b>Tabelle 13:</b>	<b>Struktur Simulationsinput "gwr plus", CSV-Datei</b>	<b>35</b>
<b>Tabelle 14:</b>	<b>Struktur Simulationsinput "geak san", CSV-Datei (Varianten 0 und 1)</b>	<b>35</b>
<b>Tabelle 15:</b>	<b>Struktur Simulationsinput "geak san", CSV-Datei (Varianten 2.x)</b>	<b>35</b>
<b>Tabelle 16:</b>	<b>Vergleich Eingangs- und Ausgangswerte Simulation (Bauperiode)</b>	<b>38</b>
<b>Tabelle 17:</b>	<b>Vergleich Anteil sanierte Gebäude nach Gemeinden und Simulations-Varianten</b>	<b>40</b>
<b>Tabelle 18:</b>	<b>Anteil sanierter Gebäude je Gemeindetyp (2012) V2.2</b>	<b>49</b>
<b>Tabelle 19:</b>	<b>Ermittelte Werte Stadt Bern</b>	<b>53</b>
<b>Tabelle 20:</b>	<b>Ermittelte Werte Gemeinde Münsingen</b>	<b>54</b>
<b>Tabelle 21:</b>	<b>Ermittelte Werte Gemeinde Lenk</b>	<b>55</b>
<b>Tabelle 22:</b>	<b>Ermittelte Werte Gemeinde Täuffelen</b>	<b>55</b>

## Anhang

## Resultate Simulation aller Gemeinden nach Variante 2.2

Erklärungen zu Spaltentitel:

AGeb = Gesamtzahl aller beheizten Gebäude je Gemeinde

r1-10 = Nummer des Durchgangs mit Anteil gezogener bzw. sanierter Gebäude in %

MM = Max- Min (Differenz in %)

MW = Mittelwert der 10 Durchgänge → Anteil sanierter Gebäude je Gemeinde in %

Gemeinde	AGeb	r1	r2	r3	r4	r5	r6	r7	r8	r9	r10	MM	MW
Bern	14'966	26.8	26.8	26.8	26.2	26.7	26.5	26.4	27.3	26.2	26.1	1.2	26.6
Ostermundigen	1'926	26.5	24.8	24.8	24.7	24.2	26.0	26.1	25.4	24.4	27.1	2.9	25.4
Muri bei Bern	2'616	25.2	25.8	24.3	26.1	24.5	26.2	25.1	23.7	26.5	26.0	2.8	25.3
Bremgarten bei Bern	1'115	24.1	24.6	24.9	24.1	25.7	24.6	25.0	21.6	24.7	25.6	4.0	24.5
Köniz	6'912	25.5	24.0	23.7	24.1	24.5	24.3	25.2	24.3	24.1	25.0	1.7	24.5
Ittigen	1'615	23.7	24.0	25.7	24.0	24.7	25.1	23.7	25.9	23.2	23.2	2.8	24.3
Kehrsatz	759	22.0	24.4	25.3	25.0	24.1	24.2	28.6	22.0	22.0	22.4	6.6	24.0
Zollikofen	1'655	24.4	24.3	22.7	23.1	23.4	23.8	25.1	23.9	24.0	23.1	2.5	23.8
Mattstetten	183	24.6	21.9	27.9	25.1	23.0	22.4	28.4	20.8	21.9	19.1	9.3	23.5
Bolligen	1'581	21.6	23.4	24.3	22.0	22.8	23.8	23.5	25.2	22.8	24.2	3.6	23.4
Evilard	717	23.0	22.5	21.5	24.0	27.1	23.8	20.5	22.7	21.6	24.8	6.6	23.2
Wohlen bei Bern	2'091	23.6	23.4	22.9	24.1	22.6	22.4	21.6	22.9	23.4	22.5	2.5	22.9
Oberhofen am Thunersee	743	22.6	23.3	21.0	21.0	22.3	22.2	25.0	20.1	23.3	21.3	5.0	22.2
Mörigen	304	21.1	20.1	19.1	22.7	22.0	21.4	28.0	22.7	17.4	25.0	10.5	21.9
Münsingen	2'580	21.2	22.4	21.9	22.8	21.8	22.6	21.2	22.1	21.1	21.4	1.7	21.9
Kirchlindach	803	22.0	21.8	24.8	22.4	20.5	19.9	19.6	19.8	21.9	23.5	5.2	21.6
Meikirch	699	21.3	19.3	20.9	22.2	23.2	21.6	19.7	23.2	23.3	21.6	4.0	21.6
Allmendingen	169	26.6	27.8	17.8	17.2	23.1	19.5	18.9	19.5	20.7	23.7	10.7	21.5
Hilterfingen	1'168	22.0	21.1	20.7	21.4	20.4	20.5	21.1	23.5	22.0	21.9	3.2	21.5
La Neuveville	897	20.2	21.4	21.9	19.8	19.4	20.5	22.7	22.0	21.6	21.2	3.3	21.1
Nidau	938	19.6	20.6	19.5	23.5	20.9	20.6	20.6	21.4	23.3	19.5	3.9	20.9
Merzligen	144	20.1	22.9	20.8	19.4	18.1	23.6	11.1	26.4	25.0	20.8	15.3	20.8
Zuzwil (BE)	183	15.3	24.6	21.9	20.8	20.2	17.5	21.3	24.0	20.2	16.4	9.3	20.2
Stettlen	684	19.2	21.9	20.8	18.4	21.6	18.7	19.2	22.5	20.0	19.2	4.1	20.1
Jegenstorf	1'332	19.5	20.8	19.2	20.0	18.5	21.7	20.2	19.7	20.6	20.4	3.2	20.1
Worb	2'354	20.6	20.7	20.1	20.7	18.9	19.8	18.8	20.6	21.0	19.5	2.2	20.1
Täuffelen	783	21.5	17.1	20.7	21.5	17.8	20.6	19.9	20.2	19.3	22.1	5.0	20.1
Jens	242	19.0	22.7	20.7	24.0	20.7	17.4	20.2	18.6	20.2	15.7	8.3	19.9
Vechigen	1'577	19.5	19.2	19.7	20.7	20.4	20.5	19.0	18.3	21.7	20.0	3.4	19.9
Port	852	19.7	18.4	21.0	19.4	19.6	19.1	21.1	19.2	22.2	18.8	3.8	19.9
Uetendorf	1'495	18.9	20.5	19.3	20.1	22.3	18.5	19.2	17.9	20.7	18.3	4.4	19.6
Aarberg	892	19.6	17.8	20.7	18.6	17.8	21.1	22.3	20.0	18.9	17.8	4.5	19.5
Wichtrach	919	18.4	18.8	18.7	18.0	18.6	18.9	19.9	18.5	17.4	21.5	4.1	18.9
Hindelbank	556	18.2	18.3	19.4	17.6	18.5	19.8	18.0	21.6	19.6	16.9	4.7	18.8
Münchenbuchsee	1'680	17.9	20.4	17.1	18.6	18.9	18.5	20.1	19.6	18.0	18.3	3.3	18.7
Grosshöchstetten	972	20.4	19.4	17.5	17.4	17.0	17.5	19.8	21.1	19.3	17.3	4.1	18.7
Diemerswil	57	17.5	26.3	28.1	26.3	17.5	10.5	14.0	12.3	12.3	21.1	17.5	18.6
Konolfingen	1'174	19.0	19.0	18.2	17.6	18.2	20.6	20.6	17.4	17.6	16.3	4.3	18.5
Urtenen-Schönbühl	916	19.7	19.3	18.4	17.1	18.9	18.0	17.9	18.9	18.0	17.2	2.5	18.4
Bätterkinden	913	18.4	18.1	18.1	17.4	19.4	19.6	18.3	16.9	17.9	19.2	2.7	18.3
Neuenegg	1'305	18.9	16.2	18.7	19.1	19.1	16.8	18.7	18.0	17.5	19.4	3.1	18.2
Freimettigen	95	18.9	14.7	23.2	18.9	23.2	16.8	16.8	14.7	20.0	14.7	8.4	18.2
Rubigen	765	17.1	16.2	19.0	18.0	18.3	18.3	19.5	16.5	18.0	21.0	4.8	18.2

# Anhang

Kaufdorf	311	16.7	16.7	16.7	19.9	22.2	20.3	15.8	19.0	17.7	16.4	6.4	18.1
Schüpfen	943	19.1	18.8	19.4	15.8	17.4	17.4	17.0	17.5	16.3	19.4	3.6	17.8
Frauenkappelen	330	18.8	18.8	18.2	15.2	14.2	18.8	18.8	16.4	17.9	17.6	4.5	17.5
Toffen	629	18.9	19.1	17.3	14.8	17.8	18.4	18.3	14.5	16.5	18.1	4.6	17.4
Bellmund	479	18.8	17.5	18.2	18.2	17.3	16.9	15.4	18.0	15.0	18.0	3.8	17.3
Laupen	695	15.7	19.4	17.6	17.3	17.8	17.0	17.3	16.7	17.0	17.6	3.7	17.3
Wangen an der Aare	597	15.9	16.1	16.4	15.7	17.9	17.9	18.6	16.2	18.3	19.8	4.0	17.3
Spiez	3'508	17.6	17.6	17.4	17.7	16.3	17.0	18.4	17.2	16.9	16.5	2.1	17.3
Moosseedorf	660	19.8	18.5	15.8	16.4	17.0	18.8	16.7	16.4	17.6	15.8	4.1	17.3
Twann-Tüscherz	469	16.4	18.6	17.7	16.2	16.4	16.0	18.6	17.7	16.2	18.8	2.8	17.2
Farnern	105	14.3	16.2	15.2	12.4	15.2	21.0	22.9	14.3	21.0	20.0	10.5	17.2
Burgdorf	3'125	18.5	17.2	15.9	16.6	17.9	16.9	17.2	16.8	16.4	18.5	2.7	17.2
Langenthal	3'097	17.4	16.8	18.6	16.8	16.5	16.7	16.5	17.7	17.4	17.3	2.1	17.2
Brügg	747	17.3	15.8	16.3	15.4	18.9	17.7	18.3	17.1	18.1	16.3	3.5	17.1
Mötschwil	38	23.7	13.2	15.8	18.4	13.2	18.4	21.1	23.7	10.5	13.2	13.2	17.1
Belp	2'068	15.8	16.9	18.1	16.4	16.5	17.9	18.0	17.0	16.5	17.3	2.3	17.0
Seedorf (BE)	895	15.5	17.1	16.0	18.4	17.0	17.2	18.1	16.4	17.3	17.1	2.9	17.0
Court	464	20.7	18.5	16.2	19.2	16.8	13.8	17.9	16.8	13.1	16.4	7.5	16.9
Ligerz	223	13.9	18.4	17.9	17.5	16.6	17.9	14.8	15.2	18.8	17.5	4.9	16.9
Bannwil	235	19.6	19.6	18.7	14.0	15.3	18.3	14.5	10.6	21.7	16.2	11.1	16.9
Sutz-Latringen	411	19.7	18.0	17.0	14.4	17.0	16.5	15.8	16.1	15.6	18.2	5.4	16.8
Gals	262	17.6	19.8	14.1	17.9	16.0	14.1	19.1	15.6	13.7	19.1	6.1	16.7
Attiswil	479	18.6	14.8	13.4	16.7	16.1	18.2	19.4	18.0	18.2	13.2	6.3	16.6
Corgémont	493	15.6	16.6	15.6	18.5	18.7	16.6	15.4	17.0	14.4	17.4	4.3	16.6
Uttigen	527	14.8	14.4	16.1	16.5	17.8	17.8	18.6	17.3	15.7	16.3	4.2	16.5
Wangenried	142	19.0	14.1	16.2	14.8	18.3	11.3	21.1	17.6	14.8	17.6	9.9	16.5
Wiggiswil	31	16.1	16.1	22.6	19.4	22.6	9.7	9.7	25.8	12.9	9.7	16.1	16.5
Ipsach	720	16.9	16.5	17.2	16.5	13.8	15.6	16.0	16.8	17.2	17.6	3.9	16.4
Kiesen	234	17.9	17.5	20.1	15.8	16.7	12.8	12.0	17.9	13.2	18.4	8.1	16.2
Fraubrunnen	1'538	16.3	14.5	16.0	16.4	15.1	17.2	16.4	16.0	16.2	15.1	2.7	15.9
Inkwil	250	18.8	16.4	14.0	16.0	17.2	13.2	15.2	14.0	16.4	17.6	5.6	15.9
Deisswil bei Münchenbuchsee	28	10.7	17.9	25.0	10.7	14.3	10.7	25.0	14.3	7.1	21.4	17.9	15.7
Därligen	173	17.3	11.6	15.0	19.1	16.8	12.7	15.0	12.7	16.8	19.7	8.1	15.7
Wiedlisbach	678	13.7	15.3	15.2	16.5	15.8	14.6	15.9	15.3	16.8	16.1	3.1	15.5
Wiler bei Utzenstorf	287	19.2	16.7	16.0	12.5	16.7	16.7	14.3	13.6	14.6	14.6	6.6	15.5
Rümligen	143	16.1	18.2	12.6	14.0	14.0	18.2	16.1	16.1	12.6	16.8	5.6	15.5
Crémines	203	11.3	14.8	16.3	13.8	16.3	21.2	12.8	14.8	17.2	15.3	9.9	15.4
Krattigen	434	15.4	16.8	15.9	11.5	17.1	13.8	15.9	16.1	13.4	16.1	5.5	15.2
Gerzensee	365	13.4	17.3	14.8	14.2	17.5	15.1	14.2	15.6	14.5	15.3	4.1	15.2
Grossaffoltern	1'017	15.1	15.0	14.0	16.9	15.8	15.5	15.3	16.0	13.7	14.6	3.2	15.2
Roches (BE)	83	13.3	16.9	10.8	13.3	15.7	15.7	19.3	16.9	15.7	14.5	8.4	15.2
Thun	7'721	14.8	15.5	15.7	14.8	14.6	14.8	15.8	14.7	15.7	15.3	1.1	15.2
Utzenstorf	1'138	14.1	16.2	14.9	13.7	16.1	16.0	14.7	15.7	16.1	13.0	3.2	15.0
Willadingen	74	18.9	16.2	9.5	13.5	14.9	21.6	13.5	12.2	16.2	13.5	12.2	15.0
Zielebach	119	16.0	11.8	16.0	14.3	15.1	12.6	14.3	15.1	23.5	10.9	12.6	15.0
Madiswil	1'008	15.7	14.8	14.9	16.0	14.5	14.9	14.6	14.8	14.7	14.7	1.5	14.9
Moutier	1'632	13.4	14.6	13.9	16.4	14.0	14.1	17.0	16.0	14.3	15.4	3.6	14.9
Bäriswil	356	14.6	14.0	14.6	17.1	16.3	11.2	15.4	18.8	13.8	12.9	7.6	14.9
Ferenbalm	406	16.7	13.5	17.0	13.3	12.8	15.0	15.5	12.6	15.8	16.5	4.4	14.9
Ersigen	660	15.6	15.5	16.5	12.1	15.0	14.8	16.1	14.5	14.4	14.1	4.4	14.9
Orvin	637	13.3	15.9	14.6	15.5	14.6	14.4	14.0	13.3	15.1	17.3	3.9	14.8
Brüttelen	197	10.2	10.7	15.7	14.7	13.2	17.3	14.7	18.3	13.7	19.3	9.1	14.8
Alchenstorf	189	14.3	12.7	15.9	13.8	15.9	16.9	15.3	13.8	14.8	14.3	4.2	14.8
Berken	19	15.8	26.3	10.5	15.8	15.8	15.8	10.5	15.8	10.5	10.5	15.8	14.7
Schwendibach	68	8.8	13.2	17.6	23.5	14.7	10.3	13.2	16.2	10.3	19.1	14.7	14.7
Biel/Bienne	7'252	14.3	14.8	14.9	15.0	14.6	14.7	14.2	15.1	14.3	14.9	0.9	14.7
Koppigen	610	15.2	14.4	15.6	14.1	14.6	14.6	16.1	16.1	13.3	12.1	3.9	14.6
Schwarzhäusern	179	15.1	20.7	12.8	14.0	15.6	16.8	11.7	15.1	12.8	11.2	9.5	14.6
Thörigen	331	14.2	13.0	17.2	16.3	15.4	13.0	13.3	16.0	12.7	14.5	4.5	14.6

## Anhang

Heimenhausen	360	14.7	13.6	16.1	13.9	11.1	15.0	15.6	11.7	14.4	18.6	7.5	14.5
Sigriswil	1'824	13.8	16.1	14.1	14.6	14.6	13.9	14.0	14.9	14.1	14.4	2.4	14.5
Gurbrü	81	9.9	18.5	17.3	14.8	13.6	16.0	12.3	8.6	14.8	18.5	9.9	14.4
Oberthal	257	15.2	14.0	16.7	14.8	13.6	17.5	14.8	11.7	12.5	13.2	5.8	14.4
Bargen (BE)	317	17.0	13.6	13.2	15.5	14.2	12.3	13.2	16.4	12.9	15.5	4.7	14.4
Walliswil bei Wangen	216	11.1	18.1	16.2	11.6	11.6	15.3	13.4	14.4	15.7	15.7	6.9	14.3
Belprahon	129	10.1	14.0	9.3	12.4	18.6	17.8	16.3	14.7	14.0	15.5	9.3	14.3
Rütschelen	207	15.9	15.5	11.6	17.9	15.9	10.1	12.6	14.0	14.5	14.5	7.7	14.3
Leuzigen	413	14.8	13.8	11.9	16.7	15.0	13.3	14.5	13.1	14.0	15.3	4.8	14.2
Lyssach	407	13.5	13.5	12.8	13.8	14.0	13.0	15.5	15.0	14.7	15.5	2.7	14.1
Walliswil bei Niederbipp	77	9.1	15.6	13.0	7.8	20.8	14.3	19.5	14.3	10.4	15.6	13.0	14.0
Kernenried	142	10.6	14.1	10.6	17.6	16.2	16.2	16.9	13.4	13.4	11.3	7.0	14.0
Graben	110	11.8	14.5	20.0	15.5	16.4	10.9	18.2	11.8	12.7	8.2	11.8	14.0
Oberwil bei Büren	290	13.8	12.1	10.7	15.2	16.2	13.1	14.5	11.7	14.8	17.6	6.9	14.0
Diessbach bei Büren	304	17.1	11.5	14.1	14.8	11.5	17.4	12.8	13.2	14.5	12.5	5.9	13.9
Saint-Imier	1'113	15.0	13.7	12.1	14.5	14.1	14.3	14.0	12.6	14.1	14.6	2.9	13.9
Aarwangen	1'220	13.9	12.0	15.7	14.3	12.0	14.2	14.1	13.4	14.8	14.3	3.8	13.9
Wachsendorn	73	12.3	9.6	16.4	11.0	17.8	11.0	15.1	20.5	9.6	15.1	11.0	13.8
Adelboden	1'809	13.3	13.7	13.5	13.0	15.9	14.8	12.8	12.4	15.1	12.4	3.5	13.7
Ringgenberg (BE)	985	14.2	13.1	13.1	14.1	15.8	13.1	12.0	13.9	12.6	14.8	3.9	13.7
Reiswil	63	22.2	9.5	14.3	12.7	12.7	12.7	11.1	11.1	11.1	19.0	12.7	13.7
Kallnach	677	13.6	13.3	14.6	11.4	13.7	14.6	13.7	14.3	12.0	14.3	3.2	13.6
Auswil	147	17.0	10.2	11.6	15.0	12.2	14.3	12.9	19.0	10.9	12.2	8.8	13.5
Ursenbach	295	13.6	13.6	12.9	13.9	13.2	12.5	12.5	15.9	12.5	14.2	3.4	13.5
Buswil bei Melchnau	78	14.1	11.5	10.3	9.0	20.5	14.1	14.1	11.5	16.7	12.8	11.5	13.5
Signau	726	14.9	13.8	15.0	13.2	14.7	14.0	11.7	13.2	13.4	10.3	4.7	13.4
Tramelan	1'161	13.5	14.1	11.9	14.4	13.7	13.6	12.5	12.4	14.0	14.1	2.5	13.4
Erlach	417	14.9	13.4	13.2	15.3	10.1	12.5	13.4	15.8	14.4	11.0	5.8	13.4
Thunstetten	913	12.0	13.0	12.8	12.8	14.6	13.8	14.1	13.1	14.1	13.5	2.5	13.4
Aeffigen	334	14.1	15.0	14.7	12.6	15.0	12.9	14.1	9.9	13.8	12.0	5.1	13.4
Wynau	531	14.9	14.1	14.1	11.1	13.4	11.7	13.0	14.5	12.1	14.9	3.8	13.4
Kappelen	401	16.0	10.7	13.5	14.2	16.5	11.2	10.5	15.0	12.5	13.7	6.0	13.4
Ochlenberg	214	11.7	12.6	13.1	15.4	14.0	14.5	12.6	12.6	10.7	16.4	5.6	13.4
Finstertennen	152	13.8	13.8	11.2	17.1	11.8	13.2	13.8	11.2	16.4	11.2	5.9	13.4
Huttwil	1'374	12.6	15.5	12.7	14.0	13.0	13.8	13.2	12.1	12.2	14.4	3.4	13.3
Wyssachen	381	14.4	13.4	11.0	14.2	13.1	13.1	11.5	16.5	13.1	12.9	5.5	13.3
Mühlethurnen	392	14.0	13.8	15.1	12.8	12.0	12.5	12.8	12.8	10.2	16.3	6.1	13.2
Sumiswald	1'530	12.2	13.5	13.8	13.9	12.7	13.0	13.4	13.6	11.7	14.1	2.4	13.2
Riggisberg	761	12.2	13.7	12.6	12.7	14.3	13.8	12.4	12.4	14.3	13.0	2.1	13.1
Biglen	437	12.4	12.8	13.3	13.7	10.5	12.1	15.1	13.5	16.5	11.4	5.9	13.1
Zwieselberg	93	16.1	9.7	12.9	12.9	14.0	12.9	15.1	11.8	12.9	12.9	6.5	13.1
Rüdtligen-Alchenflüh	442	13.3	13.6	15.2	11.5	12.0	15.8	13.1	10.0	14.9	11.5	5.9	13.1
Lützelflüh	1'187	12.7	12.5	13.1	12.2	13.9	12.4	13.6	13.6	13.7	13.0	1.7	13.1
Seftigen	560	12.3	11.6	15.2	12.9	13.9	11.1	13.8	13.6	13.4	12.7	4.1	13.0
Walkringen	563	14.2	11.4	12.4	12.6	12.3	14.2	13.7	13.7	11.4	14.4	3.0	13.0
Roggwil (BE)	1'256	11.7	13.8	13.8	14.2	12.7	12.0	13.3	13.4	13.3	11.9	2.5	13.0
Corcelles (BE)	80	11.3	15.0	13.8	11.3	12.5	11.3	11.3	13.8	16.3	13.8	5.0	13.0
Lyss	2'644	12.4	12.6	12.3	13.1	12.7	13.7	12.3	13.5	13.5	13.7	1.5	13.0
Brienz (BE)	1'491	13.3	12.3	11.3	13.8	13.4	12.1	13.2	14.0	12.8	12.9	2.6	12.9
Loveresse	131	8.4	9.9	14.5	14.5	9.9	16.0	12.2	14.5	13.0	16.0	7.6	12.9
Obersteckholz	152	11.2	11.8	14.5	11.8	10.5	16.4	11.8	11.2	15.8	13.8	5.9	12.9
Hellsau	66	9.1	16.7	6.1	6.1	13.6	18.2	16.7	18.2	12.1	12.1	12.1	12.9
Bowil	417	12.5	11.8	13.7	12.2	12.5	14.4	12.5	13.7	13.2	12.5	2.6	12.9
Nods	313	10.9	9.9	15.0	11.5	15.0	16.6	14.1	13.4	8.3	14.1	8.3	12.9
Arch	499	14.4	14.0	12.2	13.8	11.4	12.2	12.4	11.6	12.4	14.0	3.0	12.9

Anhang

Affoltern im Emmental	374	13.6	12.3	11.0	15.2	9.1	14.2	14.4	12.8	13.6	12.3	6.1	12.9
Krauchthal	729	10.7	13.2	13.2	15.2	13.2	11.0	14.1	13.9	12.2	11.8	4.5	12.8
Brenzikofen	145	11.7	12.4	11.0	13.8	7.6	15.2	15.9	14.5	12.4	13.8	8.3	12.8
Aegerten	517	10.8	13.2	12.6	17.0	13.3	11.2	11.0	12.0	13.9	13.2	6.2	12.8
Rohrbach	451	13.5	15.7	13.1	11.5	12.6	13.7	12.2	11.5	13.1	11.1	4.7	12.8
Mirchel	169	12.4	15.4	13.0	11.2	11.2	11.8	11.8	11.8	16.0	13.0	4.7	12.8
Gurzelen	239	15.5	13.0	13.4	12.6	10.9	13.4	12.6	13.0	12.1	11.3	4.6	12.8
Eschert	127	13.4	15.0	15.0	11.0	13.4	7.1	14.2	17.3	10.2	11.0	10.2	12.8
Rüscheegg	762	14.6	12.3	11.5	14.6	13.4	13.6	11.0	10.0	13.4	13.0	4.6	12.7
Valbirse	1'051	12.8	12.6	14.3	11.4	12.0	12.0	12.1	11.9	14.3	13.8	2.9	12.7
Dotzigen	397	14.1	9.8	12.8	11.8	13.4	15.1	11.1	11.8	11.8	14.9	5.3	12.7
Siselen	206	14.1	12.6	13.6	10.7	14.1	10.7	13.1	13.6	13.1	11.2	3.4	12.7
Cortébert	222	13.1	13.1	9.0	12.6	13.5	14.9	10.8	15.3	12.2	12.2	6.3	12.7
Radelfingen	393	11.7	11.7	12.7	14.0	11.5	12.7	9.7	13.7	13.2	15.5	5.9	12.6
Sonceboz-Sombeval	510	15.1	12.4	14.7	11.2	11.8	11.8	10.8	13.1	14.1	11.4	4.3	12.6
Melchnau	491	12.6	13.4	12.4	14.9	11.2	11.8	12.4	13.2	12.2	11.6	3.7	12.6
Steffisburg	3'317	12.4	12.6	12.8	12.5	13.5	12.1	12.2	12.1	12.5	12.5	1.4	12.5
Oberhünigen	96	13.5	11.5	14.6	14.6	13.5	10.4	15.6	10.4	13.5	7.3	8.3	12.5
Trachselwald	349	9.2	13.2	10.0	13.5	12.9	11.2	13.8	14.9	12.3	13.8	5.7	12.5
Schattenhalb	273	9.5	13.6	9.5	14.7	14.3	12.1	12.1	12.8	14.3	11.7	5.1	12.5
Kirchenturnen	94	9.6	7.4	10.6	11.7	13.8	16.0	12.8	14.9	14.9	12.8	8.5	12.4
Oeschenbach	90	8.9	8.9	20.0	12.2	13.3	8.9	11.1	14.4	13.3	13.3	11.1	12.4
Wolfsberg	86	10.5	14.0	10.5	15.1	15.1	16.3	10.5	11.6	11.6	9.3	7.0	12.4
Schwanden bei Brinz	256	14.1	12.5	13.3	9.0	9.0	13.7	14.8	13.3	10.9	13.7	5.9	12.4
Linden	401	13.5	11.0	12.7	14.0	13.5	11.2	11.7	10.5	12.2	14.0	3.5	12.4
Sorvilier	116	12.9	13.8	12.9	9.5	14.7	9.5	11.2	16.4	13.8	9.5	6.9	12.4
Orpund	647	11.4	11.9	13.9	9.9	13.1	13.3	12.2	12.7	12.4	13.3	4.0	12.4
Unterseen	1'378	13.7	11.8	12.3	11.5	12.7	13.3	12.7	12.0	13.4	10.7	3.0	12.4
Wengi	219	14.6	11.0	15.5	12.8	9.1	8.7	15.5	12.8	12.8	11.0	6.8	12.4
Seeberg	556	14.4	13.8	12.4	10.6	11.3	11.9	13.1	12.4	10.3	13.3	4.1	12.4
Mont-Tramelan	34	17.6	8.8	23.5	2.9	11.8	8.8	0.0	14.7	23.5	11.8	23.5	12.4
Müntschemier	387	12.1	11.9	9.6	15.8	11.9	14.5	13.7	13.4	10.6	10.1	6.2	12.4
Frutigen	2'144	12.7	12.6	13.5	12.0	11.2	12.9	11.5	13.1	12.5	11.3	2.3	12.3
Rüti bei Lyssach	56	7.1	14.3	10.7	12.5	12.5	14.3	8.9	10.7	17.9	14.3	10.7	12.3
Münchenwiler	182	11.5	14.8	14.3	12.6	13.2	11.0	8.8	11.5	12.6	12.6	6.0	12.3
Schwadernau	216	11.6	11.6	11.6	9.3	14.8	13.4	13.4	9.7	12.5	14.8	5.6	12.3
Lauperswil	791	12.5	11.3	11.8	12.4	13.9	10.7	12.3	12.1	14.4	11.1	3.7	12.3
Tschugg	146	11.6	11.0	13.0	9.6	15.8	13.0	13.0	13.7	13.0	8.2	7.5	12.2
Oppligen	171	11.7	14.6	11.1	14.0	11.1	12.3	12.9	12.3	11.7	9.9	4.7	12.2
Bettenhausen	232	13.8	11.6	15.5	15.1	8.6	11.2	11.6	10.3	13.4	10.3	6.9	12.2
Langnau im Emmental	2'168	12.2	12.3	12.5	13.2	11.2	12.2	11.9	13.0	11.3	11.7	2.1	12.1
Leissigen	464	10.8	11.9	13.4	11.2	10.6	13.4	12.7	13.1	12.5	11.6	2.8	12.1
Interlaken	1'076	13.5	12.5	10.9	11.8	12.5	12.3	11.3	13.3	10.1	12.8	3.3	12.1
Rüeggisberg	665	13.5	12.2	13.1	9.8	12.5	11.1	11.3	14.3	11.0	12.2	4.5	12.1
Oberburg	669	12.9	11.1	10.9	13.0	12.1	12.3	13.0	12.7	10.9	12.0	2.1	12.1
Hasle bei Burgdorf	866	10.5	12.5	12.1	11.1	11.8	11.9	12.2	14.0	13.9	10.6	3.5	12.1
Heimswil	543	10.3	14.4	12.3	10.5	12.2	11.6	11.4	11.0	12.7	14.0	4.1	12.0
Niederried bei Interlaken	204	8.3	11.3	12.3	11.8	14.7	11.3	10.8	13.2	14.2	12.3	6.4	12.0
Rüegsau	831	12.3	12.6	12.0	11.2	12.5	13.2	11.6	11.9	10.2	12.4	3.0	12.0
Rohrbachgraben	127	14.2	15.0	5.5	11.0	9.4	9.4	12.6	20.5	9.4	12.6	15.0	12.0
Meienried	21	14.3	9.5	9.5	14.3	14.3	4.8	9.5	19.0	14.3	9.5	14.3	11.9
Arni (BE)	294	11.2	15.0	11.9	10.2	10.9	12.2	10.9	9.5	14.6	11.2	5.4	11.8
Hermrigen	120	10.8	11.7	10.8	11.7	15.0	13.3	10.8	14.2	12.5	6.7	8.3	11.8
Aeschi bei Spiez	716	10.9	12.0	12.6	11.5	10.6	11.3	13.3	11.0	12.8	11.0	2.7	11.7
Rüderswil	687	11.4	10.0	11.6	10.5	11.5	13.0	12.5	12.4	14.6	9.6	4.9	11.7
Lengnau (BE)	1'289	12.0	11.7	11.2	12.3	11.7	12.2	11.9	11.3	10.5	11.6	1.8	11.7

Anhang

Bleienbach	238	9.7	11.3	9.7	13.9	11.3	10.5	14.7	10.9	13.0	11.3	5.0	11.6
Heimberg	1'350	11.2	12.1	13.0	11.8	11.3	11.0	12.6	11.8	11.2	10.6	2.4	11.6
Reconvilier	633	11.8	10.9	12.8	11.4	11.2	10.9	12.0	11.4	11.8	12.0	1.9	11.6
Meinisberg	428	11.9	11.7	10.3	15.4	11.9	10.7	9.8	10.3	13.8	10.3	5.6	11.6
Herzogenbuchsee	1'689	11.5	11.0	10.6	12.4	11.6	11.7	10.6	11.2	13.0	12.4	2.4	11.6
Amsoldingen	258	11.2	10.5	12.0	12.0	14.3	10.9	12.8	13.2	5.8	13.2	8.5	11.6
Oberdiessbach	982	12.4	12.0	10.9	12.2	11.7	12.1	10.0	9.9	12.2	11.9	2.5	11.5
Lotzwil	702	10.4	11.3	11.7	12.0	12.8	11.1	10.0	11.8	12.5	10.8	2.8	11.4
Gondiswil	243	13.2	12.3	10.7	12.3	14.8	11.1	12.8	9.9	8.6	8.2	6.6	11.4
Pieterlen	944	11.4	11.7	11.2	11.2	11.4	10.5	11.5	11.4	9.9	13.5	3.6	11.4
Schwarzenburg	1'892	10.4	10.8	11.5	12.8	11.8	11.7	10.7	11.5	11.0	11.4	2.4	11.4
Saules (BE)	74	8.1	12.2	9.5	10.8	9.5	17.6	14.9	4.1	20.3	6.8	16.2	11.4
Safnern	568	9.5	9.9	10.6	10.9	12.7	11.3	12.1	12.7	10.7	12.7	3.2	11.3
Wimmis	728	11.0	9.9	11.1	11.8	13.5	11.3	9.2	10.2	11.8	12.6	4.3	11.2
Meiringen	1'527	11.1	11.4	11.5	11.1	10.3	12.7	10.5	11.7	11.5	10.5	2.4	11.2
Bönigen	786	12.6	10.3	10.7	12.1	9.7	11.7	10.7	10.9	11.3	10.9	2.9	11.1
Dürrenroth	386	9.8	12.4	14.0	11.7	9.1	12.4	11.7	9.3	11.4	9.1	4.9	11.1
Oberbipp	522	10.3	11.7	13.4	12.1	9.8	11.1	10.2	10.0	10.0	11.3	3.6	11.0
Büetigen	277	10.5	14.1	10.1	12.3	9.0	10.5	9.7	7.2	9.7	16.6	9.4	11.0
Niederönz	433	10.2	10.4	13.2	11.3	10.6	11.1	8.8	11.1	12.2	10.6	4.4	10.9
Wynigen	655	9.8	10.8	10.5	11.1	10.4	11.0	11.3	10.7	12.2	11.6	2.4	10.9
Büren an der Aare	895	10.5	10.3	10.5	12.5	10.2	8.9	10.7	10.3	12.2	13.3	4.4	10.9
Rumisberg	202	12.4	11.9	11.9	11.4	11.9	9.9	10.9	11.4	10.4	6.9	5.4	10.9
Niederbipp	1'256	12.2	10.4	10.0	10.7	10.8	11.0	11.1	11.3	10.5	10.0	2.2	10.8
Iseltwald	290	10.0	12.4	10.3	13.1	10.3	10.7	10.3	8.3	9.3	12.8	4.8	10.8
Matten bei Interla- ken	871	9.8	9.3	10.7	9.9	11.8	11.5	11.6	10.6	11.3	11.3	2.5	10.8
Gampelen	288	11.1	12.2	12.5	8.3	13.2	9.4	11.1	10.4	11.1	8.0	5.2	10.7
Kirchberg (BE)	1'320	11.4	11.2	10.8	9.5	11.0	9.8	10.7	10.5	10.6	11.4	2.0	10.7
Worben	563	10.7	9.6	11.0	11.0	9.6	11.5	9.4	13.0	11.2	9.6	3.6	10.7
Tavannes	790	10.6	9.4	8.6	8.9	11.3	11.0	10.4	12.0	11.9	12.2	3.5	10.6
Heiligenschwendi	238	12.2	11.3	10.5	9.2	11.8	8.0	9.7	13.0	10.5	9.7	5.0	10.6
Thierachern	611	11.0	11.0	12.4	10.8	10.6	9.5	11.3	10.3	10.8	7.7	4.7	10.5
Grindelwald	2'132	10.5	10.3	9.9	11.0	10.9	11.3	10.7	9.6	10.5	10.7	1.7	10.5
Villeret	306	9.2	11.1	15.7	12.1	8.8	9.5	9.2	9.5	9.8	9.8	6.9	10.5
Höchstetten	93	11.8	9.7	11.8	8.6	15.1	6.5	8.6	14.0	9.7	8.6	8.6	10.4
Blumenstein	368	11.1	8.4	9.2	9.8	14.4	9.2	11.1	10.6	12.2	7.9	6.5	10.4
Niederhünigen	153	11.8	7.8	10.5	10.5	9.8	9.8	14.4	9.8	11.8	7.8	6.5	10.4
Wattenwil	800	10.0	9.6	10.4	11.4	10.5	10.0	9.4	10.9	10.9	10.9	2.0	10.4
Zäziwil	428	11.9	10.7	8.6	10.3	11.0	10.0	9.3	10.0	9.3	12.4	3.7	10.4
Walterswil (BE)	169	10.1	6.5	10.7	10.1	11.2	9.5	7.7	16.6	10.7	10.7	10.1	10.4
Sauge	425	9.6	10.4	11.5	10.6	8.7	10.4	11.3	12.2	8.2	10.4	4.0	10.3
Lohnstorf	67	11.9	7.5	10.4	10.4	14.9	9.0	11.9	11.9	11.9	3.0	11.9	10.3
Wilderswil	841	11.1	9.4	11.5	9.0	10.5	10.5	10.3	8.9	9.8	9.8	2.6	10.1
Hagneck	151	13.9	15.2	8.6	12.6	8.6	6.6	9.9	7.3	7.3	10.6	8.6	10.1
Unterlandenegg	316	8.9	10.8	9.2	11.1	8.5	10.1	10.1	12.0	10.4	9.5	3.5	10.1
Rumendingen	30	16.7	10.0	10.0	13.3	3.3	13.3	3.3	13.3	10.0	6.7	13.3	10.0
Rüti bei Büren	279	9.3	11.5	9.3	7.9	9.3	10.0	8.6	10.4	11.1	10.8	3.6	9.8
La Ferrière	205	9.8	9.8	10.7	8.8	9.3	9.8	10.2	10.2	9.3	10.2	2.0	9.8
Oberbalm	272	9.6	9.6	7.7	10.3	9.9	8.8	9.2	9.6	10.7	12.1	4.4	9.7
Scheuren	179	8.9	8.4	12.8	8.9	8.4	11.7	8.9	8.4	10.6	10.1	4.5	9.7
Studen (BE)	581	10.0	8.1	9.3	10.3	9.0	9.8	10.7	10.5	10.5	8.8	2.6	9.7
Forst-Längenbühl	208	10.6	10.1	9.6	10.6	7.7	8.7	9.6	9.1	9.1	9.1	2.9	9.4
Uebeschi	207	7.7	9.2	8.7	6.8	10.1	11.6	12.1	10.6	8.2	8.7	5.3	9.4
Péry-La Heutte	578	9.7	8.8	8.8	9.9	10.4	9.9	8.0	9.2	9.7	9.3	2.4	9.4
Stocken-Höfen	337	8.3	8.9	8.9	8.0	9.8	10.4	9.5	8.9	8.3	11.3	3.3	9.2
Reutigen	311	6.8	6.4	10.9	10.3	10.0	11.3	8.7	6.1	8.7	13.2	7.1	9.2
Wileroltigen	123	7.3	7.3	8.9	15.4	9.8	8.9	8.1	8.1	8.9	7.3	8.1	9.0
Pohlern	79	7.6	10.1	8.9	3.8	13.9	13.9	10.1	6.3	6.3	8.9	10.1	9.0
Kriechenwil	138	10.9	5.8	6.5	8.7	10.9	13.8	11.6	4.3	8.0	8.0	9.4	8.8
Clavaleyres	17	5.9	11.8	11.8	5.9	5.9	17.6	11.8	0.0	11.8	5.9	17.6	8.8

## Anhang

Wald (BE)	398	8.5	8.5	9.0	9.3	10.8	6.8	8.0	9.5	9.3	7.8	4.0	8.8
Fahmi	226	9.3	8.0	7.1	6.6	11.1	11.1	8.8	8.8	8.0	8.8	4.4	8.8
Buchholterberg	463	7.1	7.1	10.2	9.5	9.3	10.8	7.1	7.3	8.0	9.5	3.7	8.6
Herbligen	165	7.9	9.1	6.7	9.7	8.5	9.7	7.9	10.3	7.3	8.5	3.6	8.5
Niedermuhlern	162	9.3	9.9	7.4	10.5	7.4	8.6	8.0	6.2	13.0	4.9	8.0	8.5
Häutligen	70	10.0	4.3	8.6	8.6	8.6	7.1	10.0	8.6	7.1	11.4	7.1	8.4
Lüscherz	258	9.7	7.8	8.1	9.7	5.4	7.0	7.0	8.5	8.1	9.3	4.3	8.1
Vinelz	377	7.2	9.8	7.7	6.4	8.2	8.5	8.5	8.0	8.0	7.4	3.4	8.0
Saanen	3'353	8.1	7.5	8.0	8.1	8.0	7.7	7.5	8.3	8.4	7.6	0.9	7.9
Walperswil	307	8.1	6.5	6.8	5.9	10.1	8.1	11.1	9.1	6.5	6.8	5.2	7.9
Burgstein	412	9.0	6.1	7.8	7.5	8.0	10.0	8.5	7.8	8.5	5.1	4.9	7.8
Mühleberg	864	7.5	8.6	8.7	8.6	7.5	7.1	6.8	7.1	8.8	6.4	2.4	7.7
Jaberg	91	9.9	6.6	6.6	5.5	11.0	6.6	7.7	5.5	4.4	12.1	7.7	7.6
Hofstetten bei Brienz	230	6.1	7.0	8.7	6.1	10.4	6.1	7.4	7.8	7.4	8.7	4.3	7.6
Romont (BE)	92	3.3	8.7	7.6	6.5	3.3	9.8	14.1	3.3	8.7	9.8	10.9	7.5
Landiswil	208	8.2	10.1	4.8	6.7	7.2	4.8	6.7	7.2	12.0	6.3	7.2	7.4
Plateau de Diesse	768	8.1	7.6	7.4	7.7	7.9	6.8	7.6	5.1	7.3	7.8	3.0	7.3
Schelten	14	0.0	0.0	0.0	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	21.4	14.3	21.4	7.1
Epsach	107	6.5	5.6	7.5	8.4	14.0	5.6	7.5	4.7	7.5	3.7	10.3	7.1
Homberg	142	8.5	2.8	7.7	6.3	6.3	7.0	6.3	6.3	9.2	8.5	6.3	6.9
Rapperswil (BE)	867	6.6	6.2	6.3	6.3	7.2	7.0	7.5	7.5	6.8	7.4	1.3	6.9
Ins	898	6.2	7.2	6.6	6.9	7.5	6.7	6.9	7.1	5.3	8.2	2.9	6.9
Oberried am Brienzsee	248	7.7	6.5	6.0	7.7	7.7	7.3	4.0	7.7	8.9	5.2	4.8	6.9
Horrenbach-Buchen	101	6.9	7.9	8.9	4.0	5.9	6.9	4.0	3.0	8.9	9.9	6.9	6.6
Lütschental	130	3.8	7.7	8.5	8.5	7.7	2.3	7.7	8.5	6.9	4.6	6.2	6.6
Iffwil	122	6.6	8.2	8.2	7.4	3.3	6.6	11.5	4.1	5.7	4.1	8.2	6.6
Lenk	1'676	6.1	6.6	6.4	6.7	5.8	6.7	6.6	6.0	6.6	5.6	1.1	6.3
Röthenbach im Emmental	373	4.3	5.1	6.4	6.4	7.0	6.7	7.8	5.9	7.8	5.6	3.5	6.3
Kirchdorf (BE)	537	7.3	6.1	5.8	6.0	6.3	7.4	5.8	4.3	7.8	5.8	3.5	6.3
Renan (BE)	270	5.2	3.7	7.4	7.8	4.8	7.8	4.4	7.0	5.2	8.5	4.8	6.2
Schangnau	317	7.9	5.7	6.9	8.2	6.3	5.7	3.2	6.6	6.9	4.4	5.0	6.2
Seehof	26	7.7	3.8	3.8	3.8	11.5	0.0	7.7	11.5	3.8	7.7	11.5	6.2
Guggisberg	682	6.0	6.2	4.4	6.5	7.5	5.6	6.9	6.0	5.3	7.0	3.1	6.1
Gsteigwiler	185	6.5	5.4	6.5	7.6	6.5	5.4	8.6	3.8	5.9	4.3	4.9	6.1
St. Stephan	652	6.4	5.1	6.7	5.8	5.7	5.8	6.4	4.4	6.4	7.1	2.6	6.0
Bühl	159	2.5	7.5	5.7	6.9	8.8	5.0	5.7	3.1	7.5	6.3	6.3	5.9
Treiten	140	5.7	10.7	5.0	5.0	3.6	7.9	3.6	5.0	7.1	5.0	7.1	5.9
Boltigen	601	5.8	4.7	6.3	5.2	6.5	4.8	4.8	7.7	7.0	5.3	3.0	5.8
Guttannen	131	3.1	6.9	8.4	6.1	7.6	5.3	3.8	6.1	6.9	3.8	5.3	5.8
Oberlangenegg	147	7.5	5.4	4.1	8.2	6.8	6.1	3.4	4.8	5.4	6.1	4.8	5.8
Gündlichswand	147	7.5	6.1	4.1	3.4	5.4	6.1	4.8	7.5	7.5	4.8	4.1	5.7
Beatenberg	727	5.2	6.6	6.2	5.6	6.3	4.7	5.8	5.0	5.5	6.1	1.9	5.7
Cormoret	162	6.2	4.9	3.7	6.8	6.8	4.3	6.2	4.3	5.6	7.4	3.7	5.6
Reichenbach im Kandertal	1'673	5.2	6.4	5.9	5.7	4.6	5.6	5.4	5.6	5.9	5.9	1.8	5.6
Eggiwil	794	4.7	6.5	5.7	4.0	5.5	5.8	5.0	7.6	5.8	5.3	3.5	5.6
Lauterbrunnen	1'538	5.9	5.3	4.9	5.7	5.2	6.5	5.5	5.5	5.1	4.9	1.6	5.5
Hasliberg	809	4.7	5.4	6.9	4.7	4.7	7.5	5.6	5.2	4.9	4.6	3.0	5.4
Därstetten	318	6.9	7.2	7.2	3.5	2.2	5.3	4.4	4.7	8.2	4.4	6.0	5.4
Trub	472	4.9	6.1	3.2	3.8	6.4	6.1	5.1	5.9	5.1	6.8	3.6	5.3
Eriswil	447	4.0	4.7	5.6	4.5	6.5	5.8	5.1	4.5	6.5	6.0	2.5	5.3
Courtelary	471	4.7	6.4	5.1	5.7	4.7	4.5	6.4	4.2	6.2	5.1	2.1	5.3
Erlenbach im Simmental	653	5.8	5.1	6.3	4.9	4.4	4.6	6.3	5.4	4.0	5.8	2.3	5.3
Oberwil im Simmental	346	5.5	5.5	3.5	4.3	6.1	6.1	7.8	4.9	3.5	4.9	4.3	5.2
Sonvilier	358	3.9	5.6	6.7	3.1	5.6	3.4	6.4	5.0	7.0	4.7	3.9	5.1
Grandval	148	5.4	5.4	2.0	6.8	4.1	3.4	4.1	4.1	6.1	8.8	6.8	5.0

Zweisimmen	1'194	4.9	4.4	4.9	4.9	4.4	6.0	4.5	4.7	6.2	5.0	1.8	5.0
Kandersteg	764	5.1	4.3	5.8	5.8	4.3	3.8	5.2	4.8	4.7	5.2	2.0	4.9
Kandergrund	425	5.4	3.3	4.5	5.2	7.1	5.2	3.5	4.7	5.4	4.7	3.8	4.9
Gsteig	407	5.2	4.2	4.7	3.9	7.4	3.7	5.4	5.4	3.9	4.4	3.7	4.8
Petit-Val	169	3.0	6.5	3.6	6.5	4.7	4.1	4.7	5.3	3.6	5.9	3.6	4.8
Trubschachen	393	6.4	3.3	6.1	3.8	6.6	3.6	4.8	3.3	4.8	4.6	3.3	4.7
Innertkirchen	724	4.1	4.3	4.8	5.2	4.7	4.0	4.0	4.1	5.1	6.8	2.8	4.7
Rebévelier	15	6.7	0.0	0.0	13.3	6.7	0.0	0.0	6.7	13.3	0.0	13.3	4.7
Diemtigen	1'140	4.7	5.5	3.8	4.5	4.6	3.3	4.1	4.1	4.6	4.6	2.2	4.4
Saicourt	241	4.1	5.4	4.1	1.7	4.1	5.0	2.5	5.0	5.0	7.1	5.4	4.4
Brienzwiler	310	4.2	4.5	4.5	6.1	4.5	4.8	4.5	2.6	3.5	3.2	3.5	4.3
Habkern	305	4.6	3.0	3.0	5.6	2.6	3.9	5.6	3.3	4.3	2.3	3.3	3.8
Saxeten	88	6.8	2.3	2.3	3.4	5.7	2.3	2.3	5.7	1.1	3.4	5.7	3.5
Teuffenthal (BE)	61	3.3	4.9	3.3	4.9	4.9	4.9	1.6	6.6	0.0	0.0	6.6	3.4
Perrefitte	179	2.8	1.7	2.2	2.2	3.4	3.4	3.4	2.8	3.4	1.1	2.2	2.6
Eriz	226	1.8	3.5	2.7	1.8	3.1	0.4	3.5	3.5	2.2	2.2	3.1	2.5
Lauenen	409	1.2	2.4	1.0	3.9	2.0	2.2	1.0	1.7	2.0	2.7	2.9	2.0
Champoz	75	4.0	1.3	0.0	1.3	4.0	1.3	1.3	1.3	2.7	0.0	4.0	1.7