



# **Modellierung relevanter Grössen für die Berechnung der kantonalen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Gebäuden**

## **Kurzbeschreibung der Methodik von TEP Energy**

### **1 Einleitung**

Gemäss dem CO<sub>2</sub>-Gesetz und der CO<sub>2</sub>-Verordnung sind die Kantone verpflichtet, dem Bund über die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Gebäuden Bericht zu erstatten. Da nur wenige Kantone über hinreichende Datengrundlagen verfügen, wurde eine einheitliche Methode von ECOSPEED und TEP Energy entwickelt, welche sich auf das eidgenössische Gebäude- und Wohnungsregister (GWR) und ergänzende Modellierungen stützt und für alle Kantone mit vertretbarem Aufwand umsetzbar ist [1]. Die darauf basierende, weiterentwickelte Methodik ist in Kapitel 2.1 in groben Zügen dargestellt. Die für die Berechnungen massgebenden Grössen sind die Energiebezugsfläche, die Energiekennzahl, der Energieträgeranteil und der Emissionsfaktor.

Die im GWR verfügbaren Daten zu Flächen und Energieträger sind momentan noch zu wenig aktuell bzw. zu wenig vollständig. Deshalb wird der Datensatz des GWR mit Daten der Gebäude und Wohnungsstatistik (GWS) und mit Modellierungen des Gebäudeparkmodells (GPM) von TEP Energy ergänzt. Die Energiekennzahl wird im GWR nicht erfasst, sondern stützt sich auf modellierte Ergebnisse. Mittels einer Umfrage zu Erneuerungsaktivitäten und Energieträgern (fortan Stichprobenerhebung genannt) und der Weiterentwicklung des GPM wurden statistisch relevante, kantonale Unterschiede der Energiekennzahlen und Energieträgeranteile eruiert. Im vorliegenden Bericht ist das Vorgehen bei der Modellierung der Energiebezugsfläche (Kapitel 2.2), der Energiekennzahl (Kapitel 2.3) und des Energieträgeranteils (Kapitel 2.4) vom BAFU zusammengefasst. Die Zusammenfassung basiert auf dem ausführlichen Bericht [2] von TEP Energy. Im Jahr 2020 haben 21 Kantone ihre CO<sub>2</sub>-Emissionen anhand dieses Vorgehens abgeschätzt.

## 2 Beschreibung der Modellierung (GPM)

### 2.1 Übersicht über das Grundkonzept

Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf Kapitel 4.2 des Berichts [2]. Im kantonalen Gebäudeparkmodell von TEP Energy werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen und der Energieverbrauch der Wohn- und Nicht-Wohngebäude, unter Ausschluss der Industrie- und Landwirtschaftsgebäude, berechnet. Wohnungsflächen in den letzten beiden Gebäuden werden aber berücksichtigt.

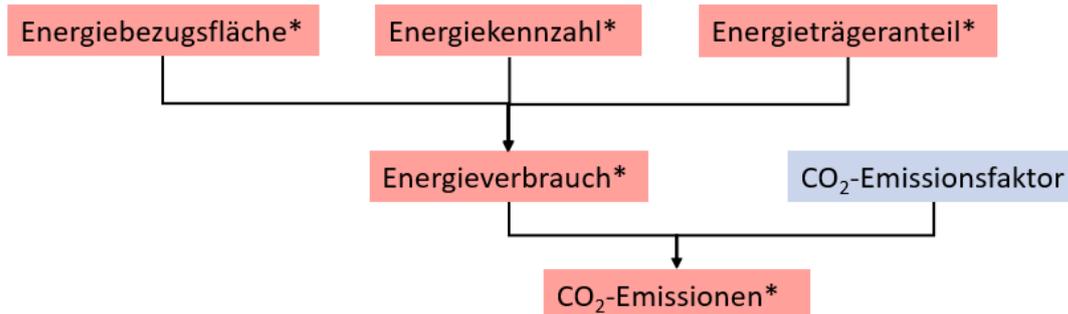


Abbildung 1: Übersicht über die relevanten Grössen und deren Verknüpfung zur Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen.  
 Rot: im kantonalen Gebäudeparkmodell berechnete Grösse, blau: technische und normative Daten.  
 Der Asterisk kennzeichnet die Grössen, bei welchen eine zeitliche Entwicklung hinterlegt ist.

Im Unterschied zu Abbildung 1 visualisiert die Abbildung 5 im Anhang 1 das ganze Berechnungsverfahren.

Grösse	Kürzel	Differenzierungsgrad	Datenquellen
CO <sub>2</sub> -Emissionen		<ul style="list-style-type: none"> <li>Gebäudeklasse</li> <li>Bauperiode</li> <li>Energieträger</li> <li>Kanton</li> </ul>	Berechnung
CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor	EF	<ul style="list-style-type: none"> <li>Energieträger</li> </ul>	BAFU [3]
Energieverbrauch		<ul style="list-style-type: none"> <li>Gebäudeklasse</li> <li>Bauperiode</li> <li>Energieträger</li> <li>Kanton</li> </ul>	Berechnung GPM
Energiebezugsfläche	EBF	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gebäudeklasse</li> <li>Bauperiode</li> <li>Kanton</li> </ul>	Berechnung GPM
Energiekennzahl (nicht Definition SIA)	EKZ	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verwendungszweck</li> <li>grobe Gebäudeklasse</li> <li>grobe Bauperiode</li> <li>Energieträger</li> <li>Kanton (z.T. Analogie)</li> </ul>	Berechnung GPM
Energieträgeranteil (flächenspezifisch)		<ul style="list-style-type: none"> <li>Verwendungszweck</li> <li>Gebäudesektor</li> <li>grobe Bauperiode</li> <li>Kanton (z.T. Analogie)</li> </ul>	Berechnung GPM

Tabelle 1: Übersicht über die relevanten Grössen zur Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen, inkl. deren Differenzierungsgrad (siehe Anhang 2 für Gebäudetypen<sup>1</sup> und Bauperioden) und Datenquellen. Beim Verwendungszweck wird zwischen Raumwärme und Warmwasser unterschieden. Rot: im kantonalen Gebäudeparkmodell berechnete Grösse, blau: technische und normative Daten.

<sup>1</sup> Gebäudetyp ist der Überbegriff für die verschiedenen Differenzierungsgrade: Gebäudesektor, grobe Gebäudeklasse und Gebäudeklasse.

Im Grundsatz basiert die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen auf einer Multiplikation des fossilen Energieverbrauchs differenziert nach Energieträger mit dem entsprechenden CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor, summiert über alle Energieträger. Der Energieverbrauch differenziert nach Energieträger wiederum ergibt sich als Produkt der Energiekennzahl, der Energiebezugsfläche und des Flächenanteils des entsprechenden Energieträgers. Summiert man über alle Gebäude eines Kantons, lassen sich die kantonalen CO<sub>2</sub>-Emissionen vereinfacht dargestellt wie folgt berechnen:

$$CO_2 = \sum_{\text{Gebäude}} \sum_{ET} \frac{EBF * EKZ * \text{Energieträgeranteil}_{ET} * EF_{ET}}{\text{Energieverbrauch}_{ET}} \quad (1)$$

wobei folgende Abkürzungen verwendet wurden: CO<sub>2</sub>: CO<sub>2</sub>-Emissionen, ET: Energieträger, EKZ: Energiekennzahl, EBF: Energiebezugsfläche und EF: CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor. Die Differenzierung nach den verschiedenen Gebäudemerkmalen gemäss Tabelle 1 ist nicht abgebildet.

Alle in Tabelle 1 aufgeführten Grössen sind im GPM kantonspezifisch aufgeführt. Wo keine kantonalen Daten vorliegen, werden Werte mit Analogieschlüssen aus Werten von anderen Kantonen abgeleitet. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen und der Energieverbrauch sind nach 19 Gebäudeklassen und 13 Bauperioden (siehe Anhang 2) differenziert, ebenso die Energiebezugsflächen. Energiekennzahlen bzw. Energieträgeranteile sind hingegen nach fünf Bauperioden und sieben Gebäudeklassen bzw. drei Gebäudesektoren differenziert. Das heisst, dass, obwohl die CO<sub>2</sub>-Emissionen und der Energieverbrauch stark differenziert ausgewiesen werden, nicht alle Grössen, welche in deren Berechnung einfließen, auf dem gleich hohen Differenzierungsgrad verfügbar sind. Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen werden nicht nach den beiden Verwendungszwecken Raumwärme und Warmwasser ausgewiesen, obwohl dies möglich wäre, da sowohl die Energiekennzahlen als auch Energieträgeranteile in dieser Differenzierung vorliegen.

Alle berechneten Werte für die Jahre 2016 bis 2018 wurden dem BAFU und der EnDK in entsprechender Differenzierung in vertraulichen Excel-Dokumenten zugestellt. In grober Differenzierung sind Daten über die CO<sub>2</sub>-Emissionen, Energieverbräuche, Energiebezugsflächen und Energiekennzahlen in der Publikation zur kantonalen Berichterstattung über CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Gebäuden [4] veröffentlicht.

Die **CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren** [3] sind vom BAFU vorgegeben und entsprechen weitestgehend denjenigen des nationalen Treibhausgasinventars. Auf die berechneten Grössen Energiebezugsfläche, Energiekennzahl und Energieträgeranteil wird in den nachfolgenden Unterkapiteln eingegangen.

## 2.2 Energiebezugsfläche

Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf dem Kapitel 3.2 und 4.3 des Berichts [2]. Die Energiebezugsfläche wird im Bereich Wohnen und Nicht-Wohnen unterschiedlich berechnet, wobei bei den Nicht-Wohngebäuden je nach Datenverfügbarkeit ein unterschiedliches Verfahren angewendet wird.

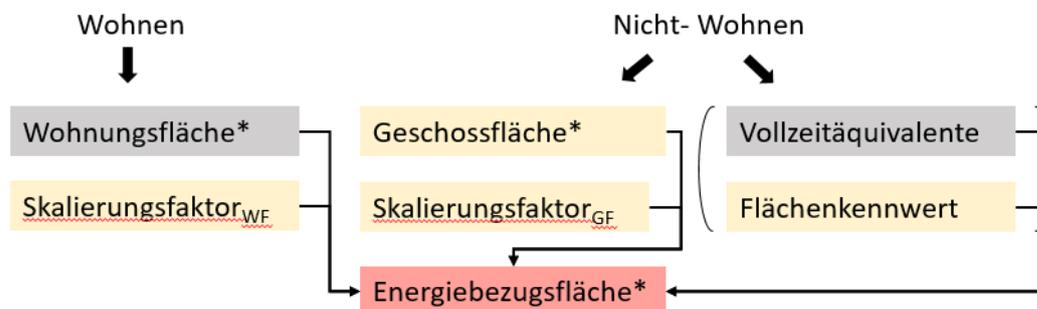


Abbildung 2: Übersicht über die relevanten Grössen und deren Verknüpfung zur Berechnung der Energiebezugsfläche. In Klammern gesetzt ist das Verfahren, das nur bei mangelnder Datenverfügbarkeit angewendet wird. Rot: im kantonalen Gebäudeparkmodell berechnete Grösse, grau: Aufbereitung statistischer Daten, orange: statistische Analyse. Der Asterisk kennzeichnet die Grösse, bei welcher eine zeitliche Entwicklung hinterlegt ist.

Unter Aufbereiten statistischer Daten (grauer Hintergrund) versteht sich das Importieren von Datensätzen und das Aggregieren und Ergänzen dieser Daten. Mit statistischer Analyse (oranger Hintergrund) ist meist eine Regressionsanalyse gemeint, teilweise handelt es sich aber auch um spezielle Verfahren zum Zusammenfügen mehrerer Datensätze (Geschossfläche in Tabelle 2).

Grösse	Kürzel	Differenzierungsgrad	Datenquellen
<b>Energiebezugsfläche</b>	EBF	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gebäudeklasse</li> <li>• Bauperiode</li> <li>• Kanton</li> </ul>	Berechnung GPM
<b>Skalierungsfaktor<sub>WF</sub></b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gebäudesektor<sup>2</sup></li> <li>• Bauperiode</li> </ul>	Analyse
<b>Skalierungsfaktor<sub>GF</sub></b>		Keine Differenzierung	Analyse
<b>Wohnungsfläche</b>	WF	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gebäudeklasse</li> <li>• Bauperiode</li> <li>• Kanton</li> </ul>	GWS
<b>Geschossfläche</b>	GF	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gebäudeklasse</li> <li>• Bauperiode</li> <li>• Kanton</li> </ul>	GWR, 3D Modell swisstopo
<b>Flächenkennwerte</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Branche<sup>3</sup></li> </ul>	Analyse
<b>Vollzeitäquivalente</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Branche<sup>3</sup></li> </ul>	STATENT

Tabelle 2: Übersicht über die relevantesten Grössen zur Berechnung der Energiebezugsfläche, inkl. deren Differenzierungsgrad (siehe Anhang 2 für Gebäudetypen und Bauperioden) und Datenquellen. Rot: im kantonalen Gebäudeparkmodell berechnete Grösse, grau: Aufbereitung statistischer Daten, orange: statistische Analyse.

Die Wohnungs- und Geschossflächen stehen gebäudescharf zur Verfügung. Für die Berechnungen im GPM werden sie auf den Differenzierungsgrad gemäss Tabelle 2 aggregiert.

### 2.2.1 Energiebezugsflächen der Wohngebäude

Im Bereich Wohnen wird die Energiebezugsfläche aus der Wohnungsfläche und einem Skalierungsfaktor berechnet:

$$EBF_{\text{Wohnen}} = \sum_{\text{Gebäude}} \text{Wohnungsfläche} * \text{Skalierungsfaktor}_{\text{WF}} \quad (2)$$

wobei  $EBF_{\text{Wohnen}}$  für die Energiebezugsfläche im Bereich Wohnen und der Skalierungsfaktor<sub>WF</sub> für den Faktor zwischen Wohnungsfläche und Energiebezugsfläche steht. Die Differenzierung nach den verschiedenen Gebäudemerkmalen gemäss Tabelle 2 ist in Gleichung (2) nicht dargestellt.

Daten zur Wohnungsfläche sind vollständig, da sie aus dem GWS stammen. Der entsprechende Skalierungsfaktor<sub>WF</sub> wird abhängig vom Gebäudesektor<sup>2</sup> und der Bauperiode in mehreren Schritten ermittelt:

- Ausgangs-Skalierungsfaktor: 1.3 für Einfamilienhäuser, 1.25 für andere Wohngebäude (Datenquelle ist [1]). Anhand dieser wird die gesamte, schweizweite Energiebezugsfläche im Bereich Wohnen (Referenz-Wohn-EBF) geschätzt.

<sup>2</sup> Der Skalierungsfaktor wird nach den zwei Gebäudesektoren Einfamilienhaus sowie Mehrfamilienhaus und andere Wohngebäude differenziert. Diese Aufteilung entspricht hier nicht der Definition von Gebäudesektoren, wo zusätzlich die Nichtwohngebäude ebenfalls eine Kategorie bilden.

<sup>3</sup> Insgesamt gibt es 28 Branchengruppen, wobei einige (aus [2] geht nicht hervor welche) für die Methodik zusammengefasst werden: Grosshandel Food, Grosshandel Non-Food, Poststellen, Postverteilzentren, restlicher Verkehr, IKT, Hotels, Ferienunterkünfte, Restaurant und Bars, Caterer, Finanzwesen, öffentliche Verwaltung, Volksschulen, Gymnasien, Hochschulwesen, sonstiger Unterricht, Krankenhäuser/-Pflegeheime, Arztpraxen, Sozialwesen, Pflegeheime, sonstige Gesundheitswesen, Heime und Soziales, Unternehmensdienstleistung, Kultur, persönliche Dienstleistungen, restliche Dienstleistungen.

- Die Geschossfläche wird aus dem 3D Modell als Hilfsgrösse abgeschätzt. Dann werden GWS und 3D Modell verschnitten.
- Mithilfe einer multiplen Regressionsanalyse wird ein Zusammenhang zwischen Geschossfläche, Wohnungsfläche und den Gebäudemerkmalen Gebäudesektor und Bauperiode ermittelt. Dies führt zu einem Skalierungsfaktor zwischen Wohnungsfläche und Geschossfläche abhängig von den zwei Gebäudemerkmalen.
- Die Geschossfläche wird auf die Referenz-Wohn-EBF skaliert, dementsprechend auch der Skalierungsfaktor. Der neue Faktor ist der Skalierungsfaktor zwischen Wohnungsfläche und Energiebezugsfläche abhängig vom Gebäudesektor und der Bauperiode.

Der so berechnete Skalierungsfaktor weist grössere Variabilität bezüglich Gebäudesektor und Bauperiode als der Ausgangs-Skalierungsfaktor auf. Grundsätzlich liegt der berechnete Skalierungsfaktor bei Einfamilienhäusern zwischen 1.3 und 1.4 für Bauperioden vor 1990 und beträgt ca. 1.2 für Bauperioden nach 1990. Der Skalierungsfaktor für die Mehrfamilienhäuser und weiteren Wohngebäude liegt bei ca. 1.2. Der Skalierungsfaktor ist nicht kantonal differenziert, da die Kantonzugehörigkeit im Regressionsmodell nicht als erklärende Variable wirkt.

Die Grösse der Energiebezugsfläche ändert über die Jahre. Diese Entwicklung wird durch die sich ändernde Wohnungsfläche abgebildet. Indem das GWR und die GWS der verschiedenen Jahre als Grundmengengerüst dienen und der Gebäudestatus (im Bau bzw. abgebrochen) und das Baujahr der GWR-Einträge berücksichtigt wird, kann eine zeitliche Veränderung über die Jahre erreicht werden.

## 2.2.2 Energiebezugsflächen der Nicht-Wohngebäude

Die Energiebezugsfläche der Nicht-Wohngebäude (ohne Industrie- und Landwirtschaftsgebäude) setzt sich aus zwei Anteilen (Summe aus Gleichung 3 und 4) zusammen, welche mit unterschiedlichen Ansätzen berechnet werden.

Für 80% der Nicht-Wohngebäude sind hinreichende Daten im GWR und 3D-Modell verfügbar, um die EBF zu berechnen. Zu den Flächen von beheizten Kellern und Dachgeschossen müssen Annahmen getroffen werden, da das 3D-Modell hierzu keine Information liefert. Die Energiebezugsfläche ohne Wohnnutzung<sup>4</sup> kann auf ähnliche Weise wie im Bereich Wohnen berechnet werden:

$$EBF_{\text{Nicht-Wohnen},1} = \underbrace{\sum_{\text{Gebäude}} \text{Geschossfläche} * \text{Skalierungsfaktor}_{GF}}_{\text{totale EBF}} - EBF_{\text{Wohnen}} \quad (3)$$

wobei  $EBF_{\text{Nicht-Wohnen},1}$  resp.  $EBF_{\text{Wohnen}}$  für die Energiebezugsfläche im Bereich Nicht-Wohnen resp. Wohnen und der Skalierungsfaktor<sub>GF</sub> für den Faktor zwischen Geschossfläche und Energiebezugsfläche steht. Die Differenzierung nach den verschiedenen Gebäudemerkmalen gemäss Tabelle 2 ist in Gleichung (3) nicht dargestellt.

Zur Abschätzung der Energiebezugsfläche ohne Wohnnutzung<sup>5</sup> wird zuerst die gesamte Energiebezugsfläche aller Gebäude berechnet und davon diejenige des Bereichs Wohnen aus Gleichung (2) abgezogen. Die gesamte Energiebezugsfläche wird über die Geschossfläche ermittelt, die aus dem GWR und 3D-Modell berechnet wird. Der dazugehörige Skalierungsfaktor<sub>GF</sub> wird anhand der reinen Wohngebäude in der vorgängig beschriebenen Regressionsanalyse ermittelt. Er wird nicht nach Gebäudemerkmalen differenziert und beträgt 0.83.

<sup>4</sup> Die Energiebezugsfläche ohne Wohnnutzung beinhaltet alle Energiebezugsflächen im Bereich Nicht-Wohngebäude des Dienstleistungssektors, jedoch ohne Flächen in Industrie- und Landwirtschaftsgebäude, welche gemäss Systemgrenze von den Berechnungen ausgeschlossen sind.

<sup>5</sup> Diese Flächen gibt es sowohl in Nichtwohngebäuden (ohne und mit zusätzlicher Wohnnutzung) als auch in Wohngebäuden mit Nebenutzung.

Der zweite Teil, der ca. 20% der Nicht-Wohngebäude umfasst, betrifft jene Gebäude, für welche Flächendaten im 3D-Modell fehlen. Für diese Gebäude wird die Energiebezugsfläche auf folgendem, anderem Weg ermittelt:

$$EBF_{\text{Nicht-Wohnen},2} = \sum_{\text{Standort}} \text{Vollzeitäquivalente} * \text{Flächenkennwert} \quad (4)$$

wobei  $EBF_{\text{Nicht-Wohnen},2}$  für die Energiebezugsfläche im Bereich Nicht-Wohnen steht. Die Differenzierung nach den verschiedenen Gebäudemerkmalen gemäss Tabelle 2 ist in Gleichung (4) nicht dargestellt.

Die noch fehlende Energiebezugsfläche im Bereich Nicht-Wohnen ergibt sich aus einer Multiplikation der Anzahl Beschäftigten (in Vollzeitäquivalente) des Dienstleistungssektors und des Flächenkennwerts (Fläche pro Beschäftigte). Beide Grössen liegen pro Branchengruppe<sup>3</sup> vor. Die drei Datenquellen Statistik der Unternehmensstruktur (STATENT), GWR und 3D-Modell müssen hierzu miteinander verschnitten werden, damit die Summe über den Standort gebildet werden kann.

Die Daten zu den Vollzeitäquivalenten pro Standort stammen aus der STATENT<sup>6</sup>. Die Flächenkennwerte pro Branchengruppe werden aus den Standorten ohne Wohnnutzung hergeleitet, wo Geschossflächen aus dem 3D-Modell verfügbar sind. Mithilfe des Skalierungsfaktor<sub>GF</sub> aus (3) kann für diese Standorte die Energiebezugsfläche berechnet werden. Anhand einer Regressionsanalyse kann pro Branchengruppe die Energiebezugsfläche pro Standort mit den Vollzeitäquivalenten pro Standort korreliert werden und so der Flächenkennwert bestimmt werden.

Wenn mehrere Gebäude zu einem einzigen Standort (Arbeitsstätte) in STATENT zusammengefasst werden, führt die hier beschriebene Methodik zu einer Unterschätzung der Energiebezugsfläche, da bei der Herleitung des Flächenkennwertes nur die Geschossfläche des Hauptgebäudes berücksichtigt werden kann.

Gemäss TEP Energy wird die zeitliche Entwicklung der Energiebezugsflächen der Nicht-Wohngebäude, welche im GWR erfasst sind, analog dem Verfahren bei den Wohngebäuden (GWR-Status im Bau bzw. abgebrochen) ermittelt. Für alle Gebäude ohne GWR-Eintrag ist keine jährliche Veränderung berücksichtigt.

## 2.3 Energiekennzahl

Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf dem Kapitel 3.3 und 4.4 des Berichts [2].

### 2.3.1 Energiekennzahl für Raumwärme und Warmwasser

Die Energiekennzahl beschreibt den spezifischen Energiebedarf pro Energiebezugsfläche, welcher dann für die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen massgebend ist. Der spezifische Energiebedarf ist von vielen Faktoren und Einflussgrössen abhängig. Teilweise fehlen Datengrundlagen, so dass auf Literatur und Experteneinschätzungen zurückgegriffen wird.

Zunächst wird die Energiekennzahl aufgeteilt nach den zwei Verwendungszwecken, sprich in eine Energiekennzahl für Raumwärme und eine für Warmwasser. Diese sind abhängig vom jeweiligen, gewichteten<sup>7</sup> Wärmebedarf und vom Jahresnutzungsgrad der Heizsysteme. Die Energiekennzahl für Raumwärme wird zusätzlich noch mit der jährlichen Witterung gewichtet, um den effektiven Energiebedarf abzubilden.

<sup>6</sup> Berücksichtigt werden alle Branchen (auch Landwirtschaft und Industrie), um in gemischt genutzten Gebäuden den Anteil des Dienstleistungssektors bestimmen zu können.

<sup>7</sup> Die Gewichtung trägt dem Anteil Gebäuden mit ausgeführten Erneuerungsaktivitäten und der unterschiedlichen Belegung Rechnung.

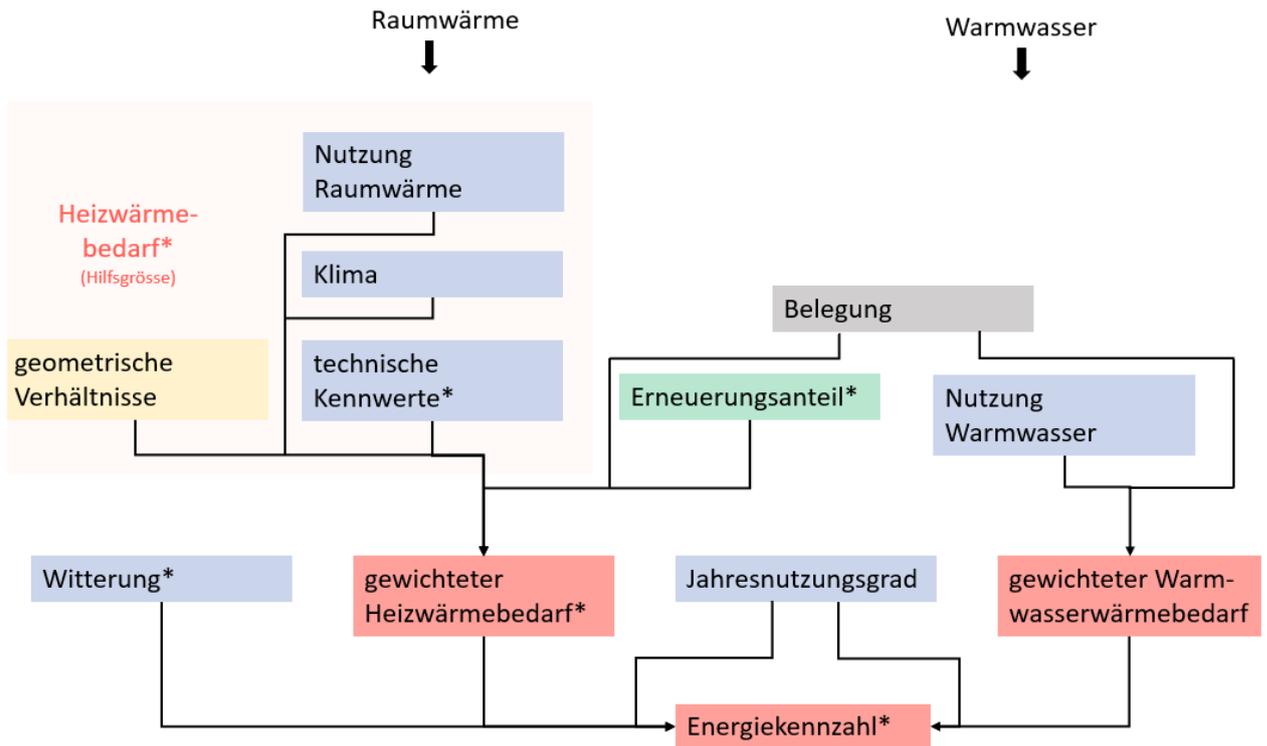


Abbildung 3: Übersicht über die relevanten Grössen und deren Verknüpfung zur Berechnung der Energiekennzahl. Die vier Grössen links oben werden in Anlehnung an die Norm SIA 380/1:2016 zum Heizwärmebedarf (rosaroter schattierter Hintergrund) verrechnet. Rot: im kantonalen Gebäudeparkmodell berechnete Grösse, orange: statistische Analyse, grau: Aufbereitung statistischer Daten, grün: Stichprobenerhebung und anschliessende Analyse, blau: technische und normative Daten. Der Asterisk kennzeichnet die Grössen, bei welchen eine zeitliche Entwicklung hinterlegt ist.

Die in dieser Methodik abgeschätzten Grössen Energiekennzahl, Heizwärmebedarf und Warmwasserwärmebedarf entsprechen nicht exakt den Definitionen gemäss SIA 380:2015 und SIA 380/1:2016. Sie basieren zwar im Grundsatz auf den SIA-Berechnungsverfahren, unterscheiden sich davon jedoch in einigen Schritten und berücksichtigten Grössen.

Grösse	Kürzel	Differenzierungsgrad	Datenquellen
<b>Energiekennzahl</b> (nicht Definition SIA)	EKZ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verwendungszweck</li> <li>• grobe Gebäudeklasse</li> <li>• grobe Bauperiode</li> <li>• Energieträger</li> <li>• Kanton (z.T. Analogie)</li> </ul>	Berechnung
<b>Jahresnutzungsgrad</b> (bzw. Jahresarbeitszahl)	JNG	<ul style="list-style-type: none"> <li>• grobe Gebäudesektor</li> <li>• grobe Bauperiode</li> <li>• Heizsystem</li> </ul>	SIA 380/1, GPM (Input aus vergangenen Projekten)
<b>Witterung</b> (Heizgradtag-Korrektur)	HGTK	Keine Differenzierung	Ex-post-Analysen des BFE (MeteoSchweiz)
<b>gewichteter Heizwärmebedarf</b>	Q <sub>H</sub> *	<ul style="list-style-type: none"> <li>• grobe Gebäudeklasse</li> <li>• grobe Bauperiode</li> <li>• Kanton (z.T. Analogie)</li> </ul>	Berechnung
<b>gewichteter Warmwasserwärmebedarf</b>	Q <sub>W</sub> *	<ul style="list-style-type: none"> <li>• grobe Gebäudeklasse</li> <li>• Kanton</li> </ul>	Berechnung

<b>Belegung</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Gebäudesektor</li> <li>Kanton</li> </ul>	GWS, SIA 380/1
<b>Erneuerungsanteil</b>	EA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gebäudesektor</li> <li>grobe Bauperiode</li> <li>Bauteil</li> <li>CH / Kanton (z.T. Analogie)</li> <li>Renovationsperiode</li> </ul>	Stichprobenerhebung, Erhebung in AG, BE, BL, TG und ZH in den Jahren 2001/2002 und 2009/2010
<b>geometrische Verhältnisse</b>	GV	<ul style="list-style-type: none"> <li>grobe Gebäudeklasse</li> <li>grobe Bauperiode</li> <li>Bauteil</li> </ul>	3D Modell swisstopo, google street view Daten
<b>technische Kennwerte</b> (U- und g-Werte)		<ul style="list-style-type: none"> <li>grobe Bauperiode</li> <li>Bauteil</li> <li>Kanton</li> <li>Renovationsperiode</li> </ul>	diversen Ausgaben der MuKEN und der SIA 380/1, Jakob [5], BFE [6], Jakob [7] und [8], Daten aus GPM, Einschätzungen kantonaler Energieexperten
<b>Nutzung Raumwärme</b> (Raumtemperatur, Personenfläche, Elektrizitätsbedarf pro Jahr, Reduktionsfaktor Elektrizität, Luftwechselrate)		<ul style="list-style-type: none"> <li>(grobe Gebäudeklasse)</li> <li>(Kanton)</li> <li>(grobe Bauperiode)</li> </ul>	SIA 380/1, Annahmen TEP
<b>Nutzung Warmwasser</b> (eigentlich Warmwasserwärmebedarf)		<ul style="list-style-type: none"> <li>grobe Gebäudeklasse</li> </ul>	SIA 380/1
<b>Klima</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Kanton und Meteoregion</li> </ul>	SIA 2028

Tabelle 3: Übersicht über die relevantesten Grössen zur Berechnung der Energiekennzahl, inkl. deren Differenzierungsgrad (siehe Anhang 2 für Gebäudetypen und Bauperioden) und Datenquellen. Der Asterisk bei der Abkürzung für die beiden Wärmebedarfe steht für die zusätzliche Gewichtung und die Abweichungen gemäss der gängigen Definition nach SIA. «Nutzung Raumwärme» ist der Oberbegriff für verschiedene Parameter, welche nicht alle nach all den erwähnten Merkmalen differenziert sind. Daher sind die Merkmale in Klammern aufgeführt. «Nutzung Warmwasser» entspricht dem Warmwasserwärmebedarf. Rot: im kantonalen Gebäudeparkmodell berechnete Grösse, orange: statistische Analyse, grau: Aufbereitung statistischer Daten. grün: Stichprobenerhebung und anschliessende Analyse, blau: technische und normative Daten

Die Energiekennzahl wird aus dem Wärmebedarf, dem Jahresnutzungsgrad und im Fall der Raumwärme einer Heizgradtag-Korrektur (Witterung) berechnet:

$$EKZ_{\text{Raumwärme}} = \frac{Q_H^* \cdot HGTK}{JNG_H} \quad (5)$$

$$EKZ_{\text{Warmwasser}} = \frac{Q_W^*}{JNG_W} \quad (6)$$

wobei  $EKZ_{\text{Raumwärme}}$  resp.  $EKZ_{\text{Warmwasser}}$  für die Energiekennzahl des entsprechenden Verwendungszwecks, HGTK für die Heizgradtag-Korrektur,  $Q_H^*$  resp.  $Q_W^*$  für den (mit dem Erneuerungsanteil und der Belegung) gewichteten Heiz- resp. Warmwasserwärmebedarf und  $JNG_H$  resp.  $JNG_W$  für den Jahresnutzungsgrad des Heiz- resp. des Warmwassersystem steht. Die Differenzierung nach den verschiedenen Gebäudemerkmalen gemäss Tabelle 3 ist in obigen Gleichungen nicht abgebildet.

Die Summe der beiden Energiekennzahlen aus Gleichung (5) und (6) ergibt die gesamte Energiekennzahl, sprich den spezifischen Endenergiebedarf pro Energiebezugsfläche.

Dem Einfluss der **Witterung** wird in Form einer Heizgradtag-Korrektur Rechnung getragen. Sie wird nur mit dem Heizwärmebedarf multipliziert, da lediglich dieser von den Temperaturen im Winter abhängt. Für die Heizgradtag-Korrektur wird schweizweit derselbe Faktor verwendet. Es handelt sich um den Quotienten der durchschnittlichen Anzahl Heizgradtage der Schweiz im entsprechenden Jahr und der normierten Anzahl Heizgradtage der Schweiz für die Periode 1984 – 2002 (analog SIA 2028). Die Daten stammen von MeteoSchweiz und werden beispielsweise auch in den Ex-post-Analysen des BFE verwendet. Die Heizgradtag-Korrekturwerte sind in Tabelle 22 des Berichts [2] aufgeführt. Sie variieren für die Jahre 2016 bis 2018 um 15% und haben daher einen beträchtlichen Einfluss auf die Energiekennzahl und folglich auch auf den Energieverbrauch und die CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Der **Jahresnutzungsgrad** beschreibt das Verhältnis der (im Brennstoff) zugeführten Energie und der für das Gebäude nutzbaren Wärme. Er hängt von der Art des Wärmesystems ab und kann bei unterschiedlichem System für Raumwärme und Warmwasser daher differieren. Bei einem Wärmepumpensystem wird die Jahresarbeitszahl anstelle des Nutzungsgrades eingesetzt. Die verwendeten Werte wurden dem BAFU und der EnDK in vertraulichen Excel-Dokumenten zugestellt.

### 2.3.2 Gewichteter Heizwärmebedarf

Der gewichtete Heizwärmebedarf ergibt sich aus einer zweistufigen Verknüpfung, wobei der **ungewichtete Heizwärmebedarf** mit dem Erneuerungsanteil und der Belegung gewichtet wird. Der ungewichtete Heizwärmebedarf dient im Modell als Hilfsgrösse und entspricht mit wenigen Abweichungen dem (ungewichteten) Heizwärmebedarf gemäss SIA. Er wird anhand der geometrischen Verhältnisse, dem Klima, den technischen Kennwerten und den Nutzungsdaten für Raumwärme geschätzt. In Abbildung 3 ist er rosarot schattiert und er wird in Anlehnung an SIA 380/1:2016 folgendermassen berechnet:

$$Q_H = \sum_{\text{Monat}} \Delta T * \underbrace{\left( \sum_{\text{Bt}} \frac{A_{\text{Bt}}}{\frac{\text{EBF}}{\text{GV}}} * U_{\text{Bt}} \right)}_{Q_T} + Q_V - \eta_g(Q_i + Q_s) \quad (7)$$

wobei  $Q_H$  für den (ungewichteten) Heizwärmebedarf,  $\Delta T$  für die Differenz der Raumtemperatur und der monatlichen Aussenlufttemperatur (Klima),  $B_T$  für die Bauteile,  $A_{B_T}$  für die Fläche des Bauteils,  $EBF$  für die Energiebezugsfläche und  $U_{B_T}$  für den U-Wert des entsprechenden Bauteils (technischer Kennwert),  $Q_T$  für den Transmissionswärmeverlust (durch Wärmeübertragung),  $Q_V$  für den Lüftungswärmeverlust,  $Q_i$  für den internen Wärmeeintrag (durch Personen, Beleuchtung und Betriebseinrichtung),  $Q_s$  für den solaren Wärmeeintrag und  $\eta_g$  für den Ausnutzungsgrad des Wärmeeintrags steht. Das Verhältnis der Fläche des Bauteils zur Energiebezugsfläche entspricht dem geometrischen Verhältnis  $GV$ . Die Differenzierung nach den verschiedenen Merkmalen gemäss Tabelle 3 ist in obiger Gleichung nicht abgebildet.

Folgender Zusammenhang besteht zwischen den vier Grössen zur Berechnung des Heizwärmebedarfs in Abbildung 3 und Gleichung 7. Die technischen Kennwerte fliessen in den Transmissionswärmeverlust (U-Wert) und den solaren Wärmeeintrag (g-Wert) ein. Daten zum Klima werden im Transmissions-, Lüftungswärmeverlust und im solaren Wärmeeintrag (Sonneneinstrahlung) berücksichtigt. Daten zur Nutzung des Gebäudes werden für die Berechnung des Transmissionsverlusts (Raumtemperatur), Lüftungswärmeverlusts (Raumtemperatur und Luftwechselrate) und des internen Wärmeeintrags (Personenfläche, Elektrizitätsbedarf und Reduktionsfaktor Elektrizität) verwendet.

Der Ausnutzungsgrad trägt dem Fakt Rechnung, dass nicht der gesamte Wärmeeintrag genutzt werden kann. Er reduziert diesen auf den nutzbaren Teil des Wärmeeintrags. Die Temperaturdifferenz unterscheidet sich nach Monat und Standort. Darin fliessen Daten zu Klima (Aussenlufttemperatur), aber auch zur Nutzung (Raumtemperatur) ein. Wie erwähnt entspricht der Heizwärmebedarf nicht exakt der Grösse von SIA 380/1:2016. Die Abweichungen kommen zustande, weil im Unterschied zu SIA nicht gebäudescharf gerechnet wird, sondern auf Ebene der Gebäudemerkmale. Daher wird

beispielsweise die Verschattung beim solaren Wärmeeintrag vereinfacht pauschal berücksichtigt. Ebenso werden Anpassungen der Raumtemperatur zur Berücksichtigung des Energy Performance Gaps vorgenommen.

Die **geometrischen Verhältnisse** beschreiben die Relation zwischen der Fläche der verschiedenen Bauteile der Gebäudehülle und der Energiebezugsfläche und werden als Eingangsgrösse in der Berechnung des Heizwärmebedarfs benötigt. Sie sind nach grober Gebäudeklasse, grober Bauperiode und Bauteil differenziert.

Für die Bauteile Wand, Boden und Dach (Unterscheidung zwischen Flachdach und Steildach) wird die Fläche der Aussenhülle pro Gebäude aus dem 3D Modell von swisstopo ermittelt. Im 3D Modell gibt es aus Darstellungsgründen systematische Abweichungen, welche im GPM mittels Faktoren korrigiert werden müssen. Beheizte Keller werden nicht berücksichtigt. Die Energiebezugsfläche wird ebenfalls aus dem 3D Modell berechnet (siehe Erläuterungen in Kapitel 2.2.2). Für jedes Bauteil wird in einer Regressionsanalyse das geometrische Verhältnis abhängig von der groben Gebäudeklasse und der groben Bauperiode ermittelt. Nach Kantonen wurde nicht differenziert, weil aus Voranalysen fast kein statistisch signifikanter Einfluss identifiziert wurde. Aus diesen vorgelagerten Regressionsanalysen geht jedoch hervor, dass ausgeprägte Stadtkantone separat berücksichtigt werden sollten. Die Resultate sind im Bericht [2] in Tabelle 15 zu finden.

Die Flächen der Fenster wurden aus einer Regressionsanalyse von Gebäuden auf google street view in einem anderen Projekt (Building Market Briefs [9]) bestimmt. Die geometrischen Verhältnisse der Fenster sind nicht im Bericht [2] aufgeführt.

Bei Neubauten und Renovationen<sup>8</sup> werden die **technischen Kennwerte** (U- und g-Werte) von den Planern so angepasst, dass die jeweils vorgegebenen Systemanforderungen oder Einzelbauteilnachweise in Energiegesetzen und SIA Normen eingehalten werden.<sup>9</sup> Die U-Werte werden anhand verschiedener Datenquellen (siehe Tabelle 3) über geltende Anforderungen an U-Werte geschätzt. Sie werden nach Bauteil (Fenster, Fassade, Kellerdecke, Dach), Neu- bzw. Umbau, Bau- bzw. Renovationsperiode und Kanton differenziert. Die kantonale Differenzierung wird mittels der Berücksichtigung des Datums der Umsetzung der verschiedenen MuKEn in Bezug auf Anforderungen zum winterlichen Wärmeschutz und Höchstanteils nicht erneuerbarer Energien<sup>10</sup> erreicht. Die Experten der Arbeitsgruppe Energiedaten der EnDK hatten 2020 die Möglichkeit diese U-Werte zu überprüfen. Die U-Werte wurden dem BAFU und der EnDK in vertraulichen Excel-Dokumenten zugestellt und sind für die Fassade von Neubauten in der Tabelle 28 bzw. für die Fassade von Neu- und Umbauten im Kantonen Bern in der Tabelle 16 des Berichts [2] dokumentiert.

Der g-Wert fliesst gemäss SIA 380/1:2016 in die Berechnung des solaren Wärmeeintrags ein und basiert für Werte bis 2005 auf den Datenquellen [8] und [9]. Welche Zahlenwerte in welcher Differenzierung verwendet werden ist nicht bekannt. Ferner ist davon auszugehen, dass weitere technische Kennwerte, ausser den U- und g-Werten, für die Berechnung des Heizenergiebedarfs verwendet werden, da die Abschätzung der Wärmeverluste und -einträge in Gleichung 7 relativ komplex ist.

Gemäss SIA 380/1:2016 werden verschiedene **Nutzungsdaten** im Bereich **Raumwärme** für die Abschätzung des Heizwärmebedarfs (Gleichung 7) benötigt. Folgende Werte, differenziert nach groben Gebäudeklassen, stammen aus Tabelle 17 des Berichts [2] und werden für die Methodik verwendet:

<sup>8</sup> Renovationen beinhalten umfassende Sanierungen, aber auch Teilsanierungen z.B. ein Fensterersatz.

<sup>9</sup> Die SIA Norm 380/1 definiert seit 1988 Systemanforderungen für Neu- und Umbauten, welche u.a. aus Grenzwerten für den Heizwärmebedarf bestehen. Die Grenzwerte sind abhängig von der Gebäudekategorie (gemäss SIA), der Gebäudehüllzahl (Verhältnis zwischen der thermischen Gebäudehüllfläche zur Energiebezugsfläche), dem vorherrschenden Klima und dem Fakt, ob es sich um einen Neu- oder Umbau handelt. Da die Grenzwerte bei Revisionen der Norm verschärft wurden, ist auch die Bau- und Renovationsperiode des Gebäudes bei der Ermittlung der Grenzwerte zu berücksichtigen. Tabelle 4, 26 und 27 im Bericht [2] liefern eine Übersicht über die geltenden Anforderungen seit 1970.

<sup>10</sup> Die Einhaltung des Höchstanteils nicht erneuerbarer Energien kann nicht nur mit einem erneuerbaren Heizsystem, sondern auch mit Massnahmen an der Gebäudehülle erreicht werden und hat daher auch einen Einfluss auf die U-Werte.

	EFH	MFH	BUR	HAN	KRA	SCH	WEI
<b>Raumtemperatur [°C]</b>	20.0	20.0	19.7	18.6	20.1	19.2	19.9
<b>Personenfläche [m<sup>2</sup>/P]</b>	50.0	31.2	9.0	10.6	9.4	4.8	5.4
<b>Elektrizitätsbedarf pro Jahr [MJ/m<sup>2</sup>]</b>	79	101	71	107	91	36	71
<b>Reduktionsfaktor Elektrizität</b>	0.7	0.7	0.9	0.8	0.7	0.9	0.9
<b>Luftwechselrate</b>	1.3	1.3	2.8	2.9	4.5	5.5	7.7

Tabelle 4: Nutzungsdaten zur Berechnung des Heizwärmebedarfs für die verschiedenen groben Gebäudeklassen: EFH: Einfamilienhaus, MFH: Mehrfamilienhaus, BUR: Bürogebäude, HAN: Handel, KRA: Krankenhäuser und Heime, SCH: Schulgebäude, WEI: Weitere Gebäude. Die genaue Definition dieser Gebäudeklassen findet sich im Anhang 2.

Standardwerte für die Nutzung sind in SIA 380/1:2016 hinterlegt. Dabei handelt es sich um mehr Grössen als in Tabelle 4 aufgeführt sind. Die Zahlenwerte in Tabelle 4 weichen teilweise von den Standardwerten des SIA ab, denn sie wurden mit Annahmen von TEP Energy ergänzt.

Der Energy Performance Gap beschreibt den Unterschied des theoretischen (bspw. nach SIA) und des tatsächlichen Energieverbrauchs. Die Differenz lässt sich durch das Nutzerverhalten, insbesondere die höhere Raumtemperatur, erklären. Im GPM wird dem Rechnung getragen, indem die Raumtemperatur aus Tabelle 4 abhängig von der groben Bauperiode und dem Gebäudesektor angepasst wird. Die im Bericht [2] aufgeführten Werte (Tabelle 18) sind Annahmen, welche sich auf Literatur zum Energy Performance Gap stützen:

	EFH und MFH	Nicht-Wohngebäude
<b>Vor 1945 und 1946-1980</b>	-0.5	-0.4
<b>1981-2000</b>	+0.0	-0.2
<b>2001-2015</b>	+1.2	+0.4
<b>ab 2016</b>	+1.8	+1.0

Tabelle 5: Anpassung der Raumtemperatur in °C zur Berücksichtigung des Energy Performance Gaps. EFH steht für Einfamilienhaus und MFH für Mehrfamilienhaus.

Für leere Wohnungen sowie Ferienwohnungen und –häuser wird der Heizwärmebedarf ebenfalls berechnet. Im Unterschied zu den vollgenutzten Gebäuden wird für diese im Modell pauschal eine 5°C tiefere Raumtemperatur verwendet. Mit dieser einheitlichen Annahme wird nicht berücksichtigt, dass der Effekt der Unternutzung in alleinstehenden Ferienhäuser wahrscheinlich grösser ist als in Ferienwohnungen, welche indirekt von angrenzenden Wohnungen beheizt werden.

In der Berechnung des Heizwärmebedarfs (Gleichung 7) wird auch das **Klima**, sprich die Aussenlufttemperatur und die Sonneneinstrahlung, berücksichtigt. Letztere wird für die Abschätzung des solaren Wärmeeintrags verwendet. Erstere wird für die Temperaturdifferenz von der angepassten Raumtemperatur subtrahiert. Die Klimadaten von 40 Meteostationen sind Mittelwerte über die Periode 1984-2002. Die Stationen sind von SIA empfohlen und grob Teilregionen oder Kantonen anteilmässig nach Einwohnern pro Gemeinde und Höhenlage zugeteilt.

Im GPM wird der Heizwärmebedarf nach Gleichung 7 mit dem Erneuerungsanteil und der Belegung gewichtet. Daraus resultiert der **gewichtete Heizwärmebedarf**. Er wird nach grober Gebäudeklasse, grober Bauperiode und Kanton differenziert.

Im Modell wird den leeren Wohnungen, Ferienhäusern und -wohnungen über die Berücksichtigung der **Belegung** Rechnung getragen. Nachfolgend werden diese drei Belegungsfälle unter dem Begriff leere Wohnungen zusammengefasst. Der Anteil dieser Wohnungen, differenziert nach Gebäudesektor und Kanton, fliesst wie folgt in die Berechnungen ein:

$$Q_H^{*,o} = Q_H^T * (1 - \text{Anteil leer}) + Q_H^{T-5} * \text{Anteil leer} \quad (8)$$

wobei  $Q_H^{*,o}$  für den gewichteten Heizwärmebedarf ohne Berücksichtigung des Erneuerungsanteils,  $Q_H^T$  für den (ungewichteten) Heizwärmebedarf der vollbelegten Wohnungen,  $Q_H^{T-5}$  für den (ungewichteten) Heizwärmebedarf der leeren Wohnungen (Raumtemperatur 5°C tiefer) und der Anteil leer für den Anteil der leeren Wohnungen am Gesamtwohnungsbestand steht. Die Differenzierung nach den verschiedenen Gebäudemerkmalen gemäss Tabelle 3 ist in obiger Gleichung nicht abgebildet.

Für die Abschätzung des Anteils leerer Wohnungen werden Daten aus der GWS verwendet. Anhand des Merkmals «Anzahl Personen im Privathaushalt in der Wohnung» können die leeren Wohnungen identifiziert werden (Anzahl =0). Der Anteil bezieht sich auf die Anzahl Wohnungen, wird aber mangels weiterer Daten direkt als flächenbezogenen Anteil verwendet. Die verwendeten Werte wurden dem BAFU und der EnDK in vertraulichen Excel-Dokumenten zugestellt.

Die Gewichtung des Heizwärmebedarfs mit dem **Erneuerungsanteil** wird, vereinfacht dargestellt, folgendermassen vorgenommen:

$$Q_H^* = Q_H^{Ausgang} * (1 - \sum_{Bt,Rp} EA_{Bt,Rp}) + \sum_{Bt,Rp} Q_H^{Renovation} * EA_{Bt,Rp} \quad (9)$$

wobei  $Q_H^*$  für den gewichteten Heizwärmebedarf, EA für den Erneuerungsanteil, Bt für Bauteil, Rp für die Renovationsperiode,  $Q_H^{Ausgang}$  für den Heizwärmebedarf des Ausgangszustandes (inkl. Gewichtung der Belegung) und  $Q_H^{Renovation}$  für den Heizwärmebedarf nach der Renovation (inkl. Gewichtung der Belegung) steht. Die Differenzierung nach den verschiedenen Gebäudemerkmalen gemäss Tabelle 3 ist in obiger Gleichung nicht abgebildet.

Gleichung 9 trägt der Renovation von älteren Gebäuden Rechnung, indem sie zwischen dem Heizwärmebedarf im Ausgangszustand und demjenigen nach der Renovation unterscheidet. Beide Heizwärmebedarfe müssen nach Gleichung 7 und 8 bestimmt werden, wobei für den Zustand nach der Renovation ein kleinerer U-Wert verwendet wird. Die Wirkung der Renovation ergibt sich aus der Summe des Heizwärmebedarfs der Gebäude im Ausgangszustand multipliziert mit dem Anteil nicht renovierter Gebäude und der Heizwärmebedarfe nach der Renovation multipliziert mit den jeweiligen Erneuerungsanteilen. Sowohl der Erneuerungsanteil als auch der Heizwärmebedarf nach der Renovation hängen von der Renovationsperiode (1991-2000, 2001–2010, 2011-2019) und der Bauteile (Fenster, Fassade, Kellerdecke, Steildach), welche erneuert wurden, ab. Im Modell wird, aufgrund der Datengrundlage, die Berücksichtigung von Renovationen nicht gebäudescharf gerechnet, sondern auf Ebene der Gebäudemerkmale (Gebäudesektor, grobe Bauperiode und Kanton).

Der Erneuerungsanteil wird nach Gebäudesektor, grober Bauperiode, Bauteil, Kanton und Renovationsperiode differenziert und empirisch auf Daten aus der Stichprobenerhebung im Jahr 2020 sowie weiteren Erhebungen in den Kantonen AG, BE, BL, TG und ZH in den Jahren 2001/2002 und 2009/2010 abgestützt. Pro Kanton variieren die Werte nur eingeschränkt (siehe nachfolgende Erklärungen). Bei Kantonen, bei welchen Datengrundlagen aus früheren Erhebungen zur Verfügung stehen, wurden dieser für eine Validierung der Stichprobenerhebung 2020 herangezogen.

#### Stichprobenerhebung 2020

Für die in diesem Bericht beschriebene Methodik zur Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen führte TEP Energy 2019 und 2020 eine Online-Befragung durch. In 18 Kantonen (AG, AI, AR, BE, BL, GL, GR, LU, NE, NW, OW, SG, SO, SZ, TI, UR, VD, ZG)<sup>11</sup> wurde eine Stichprobe aus Gebäudeeigentümern angeschrieben. Erhoben wurden die in den letzten 30 Jahren durchgeführten Instandsetzungs- und energetischen Erneuerungsarbeiten an der Gebäudehülle und am Heizsystem. Das Datum dieser

<sup>11</sup> 2021 wurde zusätzlich im Kanton Zürich eine Online-Befragung durchgeführt. In Zukunft werden diese Daten in der Abschätzung des Erneuerungsanteils berücksichtigt werden.

vorgenommenen Arbeiten wurde ebenfalls abgefragt. Angaben zur Stichprobengrösse und Rücklaufquote können dem Bericht [2] entnommen werden. Die für den gewünschten Stichprobenfehler erforderliche Stichprobengrösse wurde in den einzelnen Kantonen erreicht. Der Standardfehler und der p-Wert der nachfolgenden Regressionsanalysen sind im Bericht [2] in Tabelle 7, 29 und 30 für die einzelnen Grössen aufgeführt. Die Durchführung der Stichprobenerhebung war sowohl für TEP Energy als auch für die Kantone mit relativ viel Aufwand verbunden. Für die Weiterführung der Methodik ist eine periodische Wiederholung dieser Stichprobenerhebung notwendig, um Veränderungen in der energetischen Erneuerungsaktivität abzubilden.

Der Erneuerungsanteil pro Bauteil und Renovationsperiode gibt Auskunft über den energetischen Zustand des Gebäudeparks in einem bestimmten Jahr. Er ergibt sich aus der Kumulation der Erneuerungsraten. Die jährlichen Erneuerungsraten erlauben es, eine zeitliche Entwicklung des Erneuerungsanteils im GPM abzubilden. Die Zahlenwerte wurden dem BAFU und der EnDK in vertraulichen Excel-Dokumenten zugestellt.

Mithilfe einer Regressionsanalyse (Logit-Ansatz) kann die Erneuerungsrate als Funktion der verschiedenen Merkmale (Gebäudesektor, grobe Bauperiode, Kanton, Renovationsperiode und Bauteil) geschätzt werden. Es ist ersichtlich, welche Merkmale einen statistisch relevanten Einfluss haben. Die Resultate zeigen, dass die Kantone AI, AR, LU und NE eine signifikant höhere Erneuerungsrate aufweisen als die restlichen 14 Kantone. Für die restlichen Kantone werden daher dieselben Erneuerungsraten hinterlegt, wobei diese auch für die acht Kantone ohne Stichprobenerhebung verwendet werden. Die Erneuerungsraten sind bei der Fassade, der Kellerdecke und dem Steildach signifikant tiefer als bei den Fenstern. Bei der Fassade und dem Steildach sind keine Unterschiede zwischen Wohn- und Nichtwohngebäuden feststellbar, bei der Kellerdecke sind die Erneuerungsraten hingegen bei den Wohngebäuden höher. Wie zu erwarten sind die Erneuerungsraten bei älteren Gebäuden und weniger weit zurückliegenden Renovationsperioden (2001-2010 und 2011-2019 im Vergleich zu 1991-2000) höher. Im Bericht [2] (Tabelle 7, Abbildung 10 und Anhang A.4) ist der Output des Regressionsmodells aufgeführt und die Erneuerungsraten der verschiedenen Bauteile, Gebäudesektoren und Renovationsperioden sind graphisch dargestellt.

### 2.3.3 Gewichteter Warmwasserwärmebedarf

Der **gewichtete Warmwasserwärmebedarf** wird nach grober Gebäudeklasse und Kanton differenziert. Er ergibt sich aus der Skalierung der Nutzungswerte für Warmwasser mit der **Belegungsdichte** nach Kanton und Gebäudesektor. Die Zahlenwerte wurden dem BAFU und der EnDK in vertraulichen Excel-Dokumenten zugestellt.

Die **Nutzungsdaten für Warmwasser** entsprechen dem (ungewichteten) Warmwasserwärmebedarf. Das sind technische Annahmen aus SIA 380/1. Im Bericht [2] (Tabelle 17) sind folgende Werte, nach groben Gebäudeklassen unterschieden, aufgeführt:

	EFH	MFH	BUR	HAN	KRA	SCH	WEI
<b>Warmwasserwärmebedarf [MJ/m<sup>2</sup>]</b>	50.4	75.6	8.3	8.0	190.2	36.2	9.5

Tabelle 6: Warmwasserwärmebedarf für die verschiedenen groben Gebäudeklassen: EFH: Einfamilienhaus, MFH: Mehrfamilienhaus, BUR: Bürogebäude, HAN: Handel, KRA: Krankenhäuser und Heime, SCH: Schulgebäude, WEI: weitere Gebäude. Die genaue Definition dieser Gebäudeklassen findet sich im Anhang 2.

## 2.4 Energieträgeranteil

Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf dem Kapitel 3.4 und 3.5 des Berichts [2]. Der Energieträgeranteil wird im GPM auf Basis weiterer Datenquellen modelliert. Der Energieträgeranteil bezogen auf die Energiebezugsfläche für die beiden Verwendungszwecke Raumwärme und Warmwasser wird separat berechnet. Es ist zu berücksichtigen, dass Energieträger und Wärmesystem nicht dasselbe sind (insbesondere bei Wärmepumpen) und dass daher deren Anteile differieren können.

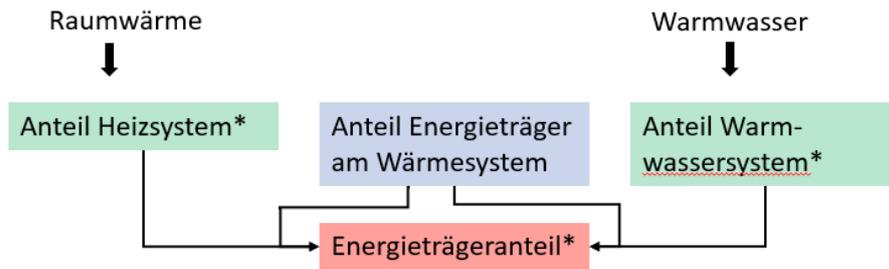


Abbildung 4: Übersicht über die relevanten Grössen und deren Verknüpfung zur Berechnung des Energieträgeranteils. Rot: im kantonalen Gebäudeparkmodell berechnete Grösse, grün: Stichprobenerhebung und anschliessende Analyse, blau: technische und normative Daten. Der Asterisk kennzeichnet die Grössen, bei welchen eine zeitliche Entwicklung hinterlegt ist.

Es werden acht verschiedene Energieträger unterschieden: Heizöl, Erdgas, Strom, Fernwärme, Holz/Biomasse, Solarenergie, Umweltwärme und «Andere», wobei unter «Andere» die Energieträger Biogas, Kohle und Flüssiggas zusammengefasst werden. Mit Solarenergie ist einzig die thermische Energie gemeint, denn die Elektrizität aus Photovoltaikanlagen wird oft ins Stromnetz eingespeist und daher der Energieproduktion zugerechnet. Im GPM kommt die Solarenergie bei Raumwärme und der Energieträger «Andere» bei Warmwasser nicht vor.

Grösse	Kürzel	Differenzierungsgrad	Datenquellen
<b>Energieträgeranteil</b> (flächenspezifisch)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verwendungszweck</li> <li>• Heizsystem</li> <li>• Gebäudesektor</li> <li>• grobe Bauperiode</li> <li>• Kanton (z.T. Analogie)</li> </ul>	Berechnung
<b>Anteil Heizsystem</b> (flächenspezifisch)	Anteil HS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gebäudesektor</li> <li>• grobe Bauperiode</li> <li>• Kanton (z.T. Analogie)</li> </ul>	GWR, Stichprobenerhebung, stat. Amt des Kt. BS
<b>Anteil Warmwassersystem</b> (flächenspezifisch)	Anteil WWS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gebäudesektor</li> <li>• grobe Bauperiode</li> <li>• Kanton (z.T. Analogie)</li> </ul>	GWR, Stichprobenerhebung, stat. Amt des Kt. BS
<b>Anteil Energieträger am (Wärme-)System</b>	Anteil ET am S	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gebäudesektor</li> <li>• grobe Bauperiode</li> </ul>	(aggregierte Statistiken und Kennwerte)

Tabelle 7: Übersicht über die relevantesten Grössen zur Berechnung des Energieträgeranteils, inkl. deren Differenzierungsgrad (siehe Anhang 2 für Gebäudetypen und Bauperioden) und Datenquellen. Rot: im kantonalen Gebäudeparkmodell berechnete Grösse, grün: Stichprobenerhebung und anschliessende Analyse, blau: technische und normative Daten.

Der Energieträgeranteil bezogen auf die Energiebezugsfläche lässt sich aus einer Multiplikation berechnen, wobei zwischen den Verwendungszwecken unterschieden wird:

$$\text{Energieträgeranteil}_{\text{Raumwärme}} = \text{Anteil HS} * \text{Anteil ET am S} \quad (10)$$

$$\text{Energieträgeranteil}_{\text{Warmwasser}} = \text{Anteil WWS} * \text{Anteil ET am S} \quad (11)$$

wobei Anteil HS für den flächenspezifischen Anteil der Heizsysteme, Anteil ET am S für den Anteil des Energieträgers am Wärmesystem und Anteil WWS für den Anteil der Warmwassersysteme steht. Die Differenzierung nach den verschiedenen Gebäudemerkmalen gemäss Tabelle 7 ist nicht abgebildet.

Die **Energieträgeranteile am Wärmesystem** sind technische Daten oder Annahmen. Oft stimmen Energieträger und Wärmesystem miteinander überein, beispielsweise wird eine Ölfeuerung mit Heizöl

betrieben. Einen Unterschied gibt es aber insbesondere beim System Wärmepumpe, welches die beiden Energieträger Elektrizität und Umweltwärme aufweist.

Weiter kommt es vor, dass zwei oder mehr Wärmesysteme verwendet werden. Im GPM wird nur das primäre System berücksichtigt. Insbesondere Sonnenkollektoren (für Warmwasser), welche als sekundäres System dienen, würden so vernachlässigt werden. Daher wird über die Energieträgeranteile am Wärmesystem dem jeweiligen Warmwassersystem auch Anteile anderer Energieträger (u.a. Solarthermie) angerechnet. Wird die Warmwasseraufbereitung im Winter vom Heizsystem übernommen, so wird im Sommer zu 60% auf Elektrizität, zu 20% auf Solarthermie und zu weiteren 20% auf Öl, Gas und Wärmepumpen gesetzt. In Zusatzsystemen und separaten Warmwassersystemen kommt zu 55% Elektrizität, zu 13% Solarthermie und zu 32% Heizöl, Gas und Wärmepumpen zum Einsatz. Aus dem Bericht [2] geht nicht hervor, wie gross die Anteile der Wärmesysteme sind, welche nur ein System (im Winter) bzw. ein Zusatz- oder separates System verwenden. Als Datenquelle der Energieträgeranteile am Wärmesystem nennt TEP Energy aggregierte Statistiken und Kennwerte.

#### 2.4.1 Anteil des Heizsystems

Der Anteil der Heizsysteme und der Warmwassersysteme bezogen auf die Energiebezugsfläche könnte theoretisch aus dem GWR ermittelt werden. Jedoch ist im GWR die Angabe zum Energieträger für Wohn- und Nichtwohngebäude oft nicht aktuell<sup>12</sup> und insbesondere bei Letzteren lückenhaft. Die **Anteile des Heizsystems** werden daher mithilfe einer statistischen Regressionsanalyse (fractional regression) aus den Daten der Stichprobenerhebung berechnet. Der Anteil des Heizsystems wird mit den Merkmalen Gebäudesektor, Bauperiode und Kanton korreliert. Aus der Stichprobenerhebung ist nicht der flächenbezogene Anteil bekannt, sondern derjenige bezogen auf die Anzahl Gebäude. Mangels weiterer Daten wird dieser mit dem flächenbezogenen gleichgesetzt. Die Werte der Regressionsanalyse sind im Bericht [2] in den Tabellen 29 und 30 aufgeführt. Die Anteile des Heizsystems sind in [2] in den Abbildungen 12, 13 und 54 dargestellt und wurden dem BAFU und der EnDK in vertraulichen Excel-Dokumenten zugestellt. Die Nichtwohngebäude weisen im Vergleich zu den Wohngebäuden höhere Fernwärme- und Gasanteile, sowie deutlich geringere Wärmepumpenanteile aus.

Die Anteile des Heizsystems sind nach den drei Gebäudesektoren, den fünf groben Bauperioden und den Kantonen differenziert. Folglich unterscheidet sich der Energieträgeranteil ebenfalls nur in drei Gebäudesektoren, obwohl er nach sieben groben Gebäudeklassen ausgewiesen wird.

In acht Kantonen (BS, FR, GE, JU, SH, TG, VS, ZH<sup>13</sup>) wurde keine Stichprobenerhebung durchgeführt und die Abschätzung der Anteile des Heizsystems daher mittels Analogieschlüssen und GWR-Daten von neueren Gebäuden vorgenommen.

Kanton	Wohngebäude mit Baujahr vor 1980	Wohngebäude mit Baujahr nach 1980
BS	statistisches Amt des Kt. BS	statistisches Amt des Kt. BS
FR	analog Mittelwert von BE, NE und VD	GWR
GE	analog VD	GWR
JU	analog BE	GWR
SH, TG, ZH <sup>13</sup>	analog SG	GWR
VS	GWR	GWR

Tabelle 8: Vorgehen zur Ermittlung der Anteile des Heizsystems für Kantone ohne Stichprobenerhebung im Bereich Wohnen.

<sup>12</sup> Zu einem grossen Teil entsprechen die Daten dem Stand von 2001. <https://www.housing-stat.ch/monitoringnri/> liefert gemeindespezifische Angaben über die Aktualität der Daten zum Heizsystem im GWR.

<sup>13</sup> 2021 wurde im Kanton Zürich eine Stichprobenerhebung durchgeführt. In Zukunft werden diese Daten in der Abschätzung der Anteile des Heizsystems berücksichtigt werden (anstatt Analogieschlüsse).

Für den Bereich Nicht-Wohnen wurde für die acht Kantone ohne Stichprobenerhebung nur für Gebäude mit Baujahr grösser 2016 auf GWR-Daten zurückgegriffen. Für alle früheren Gebäude wurden dieselben Analogieschlüsse wie im Bereich Wohnen durchgeführt.

Die Heiz- und Warmwassersysteme werden ca. alle 20 bis 25 Jahre ersetzt. Daraus resultiert eine Ersatzrate von vier bis fünf Prozent pro Jahr. Häufig wird wieder dasselbe System eingebaut, teilweise nicht. Die Anteile der Heiz- und Warmwassersysteme und dementsprechend auch die Energieträgeranteile weisen daher eine zeitliche Entwicklung (Wechselrate) auf.

In der Stichprobenerhebung wurde das aktuelle Heizsystem und dasjenige vor dem letzten Ersatz sowie die Periode, in welcher das Heizsystem ersetzt wurde, abgefragt. Die vorgängig beschriebene Regressionsanalyse zur Ermittlung des Anteils des Heizsystems wird nicht nur für das Jahr 2020 (Zeitpunkt der Stichprobenerhebung), sondern auch für 2015 und 2010 durchgeführt. Aus den erhaltenen Anteilen des Heizsystems zu drei verschiedenen Zeitpunkten kann eine konstante Wechselrate pro Jahr abgeschätzt werden (dargestellt in Abbildung 15 im Bericht [2]). Die Wechselraten befinden sich im Bereich von +/- 3% und sind wie die Anteile des Heizsystems ebenfalls nach Gebäudesektor, grobe Bauperiode und Kanton differenziert. Bezüglich Bauperiode unterscheiden sich die Raten aber kaum. Mithilfe dieser Wechselraten kann der Anteil des Heizsystems ausgehend vom Jahr 2020 (Stichprobenerhebung) für die verschiedenen Jahre der Berichterstattung berechnet werden.

Die Wechselraten, hergeleitet aus den Daten der Stichprobenerhebung, zeichnen folgendes Bild zum Heizungsersatz zwischen 2015 und 2020:

- Die Anteile von Wärmepumpen, Gas und Fernwärme haben zugenommen, wobei der Zuwachs von Wärmepumpen bei Wohngebäuden grösser ist als bei Nicht-Wohngebäuden. Gasheizungen nehmen bei Mehrfamilienhäusern und Fernwärme bei den Nicht-Wohngebäuden am stärksten zu.
- Die Anteile von Holz und vom Heizsystem «andere» (Elektrizität) haben leicht abgenommen.
- Der Anteil an Ölheizungen nimmt bei allen Gebäudesektoren stark ab.

#### **2.4.2 Anteil des Warmwassersystems**

Die Datengrundlage beim **Anteil des Warmwassersystems** ist ähnlich unbefriedigend wie diejenige beim Heizsystem. Daher wurde bei der Stichprobenerhebung ebenfalls Angaben zur Warmwasseraufbereitung abgefragt. Die Anteile des Warmwassersystems wurden deskriptiv aus diesen Daten der Stichprobenerhebung ausgewertet und sind im Bericht [2] in Abbildung 17 visualisiert. Die Anteile der Warmwassersysteme für Kantone ohne Stichprobenerhebung werden mit den gleichen Analogieschlüssen wie beim Heizsystem (siehe Kapitel 2.4.1) berechnet. Wird die Warmwasseraufbereitung im Winter vom Heizsystem übernommen, wird die Wechselrate des Heizsystems verwendet. Bei Zusatz- und vom Heizsystem separaten Warmwassersysteme werden keine Wechselraten berücksichtigt.

### 3 Validierung

Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf dem Kapitel 4.7 des Berichts [2].

Die Energieverbräuche aus dem kantonalen GPM werden mit denjenigen der Schweizerischen Gesamtenergiestatistik und der ergänzenden Ex-post-Analyse nach Verwendungszwecken verglichen. Erstere erlaubt eine unabhängige Verifizierung. Bei der Ex-post-Analyse besteht eine gewisse Abhängigkeit, da zur Abschätzung des Energieverbrauchs des Dienstleistungssektors das GPM verwendet wird. Es können folgende Punkte festgehalten werden (siehe Abbildung 24 im Bericht [2]):

- Der totale Energieverbrauch der Wohn- und Nicht-Wohngebäuden differiert nur um 1%.
- Die Abweichung beim fossilen Energieverbrauch beträgt sowohl für Heizöl als auch für Erdgas ca. 10%, wobei die Gesamtenergiestatistik höhere fossile Werte aufweist.
- Bei den Energieträgern Holz und Elektrizität ist die Abweichung relativ gering.
- Deutlich grösser sind die relativen Abweichungen bei Umwelt- und Fernwärme<sup>14</sup> (ca. 30%).
- Der totale Energieverbrauch der Wohngebäude zeigt Abweichungen von 3%. Betrachtet man nur die fossilen Energieträger ergeben sich Abweichungen von rund -7%.
- Der totale Energieverbrauch der Nichtwohngebäude weist ähnlich kleine Abweichungen auf. Höher sind die Abweichungen bei den fossilen Energieträger (-15% bei Gas und -20% bei Öl).

Weiter werden über eine Visualisierung die Energiekennzahlen und die Energieträgeranteile sowie deren relative Entwicklung überprüft. Sofern genügend Gebäude in der entsprechenden Kategorie und Kanton vorhanden sind, sind die Energiekennzahlen stimmig. Beim relativen Verlauf kann es vereinzelt zu Sprüngen kommen. Der Bericht [2] enthält in Kapitel 5.2 und 5.3 Abbildungen zum Wärmebedarf und Energieträgeranteil.

Die Heizsystemanteile aus dem GPM (Regressionsanalyse mit Daten aus Stichprobenerhebung) können für Gebäude ab Baujahr 2001 mit dem GWR verglichen werden. In der Mehrheit der Fälle (pro Kanton und Heizsystem) sind die Abweichungen kleiner als 5% (siehe Abbildung 16 im Bericht [2]).

Zwei Kantone verfügen über unabhängige Berechnungen der Energiekennzahlen. Diese können mit den Energiekennzahlen aus dem GPM verglichen werden (siehe Abbildung 25 und 26 im Bericht [2]).

- Beim Kanton X, der aus Datenschutzgründen nicht genannt werden darf, betragen die Abweichungen zwischen 10 – 30 kWh/m<sup>2</sup> (bis zu 30%). Die Mehrfamilienhäuser und Bürogebäude stimmen relativ gut überein, die Einfamilienhäuser weisen je nach Bauperiode relativ grosse Unterschiede aus.
- Beim Kanton Genf betragen die Abweichungen zwischen 10 – 50 kWh/m<sup>2</sup> (bis zu 50%), wobei sie bei den Mehrfamilienhäusern am grössten sind.

---

<sup>14</sup> Es wird davon ausgegangen, dass die Fernwärme in der Gesamtenergiestatistik unterschätzt wird.

## Anhang 1 Übersicht über das Modell

Die nachfolgende Graphik zeigt das Modellkonzept zur Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen auf einen Blick. Zu beachten ist, dass dieses Schema eine gewisse Vereinfachung darstellt.

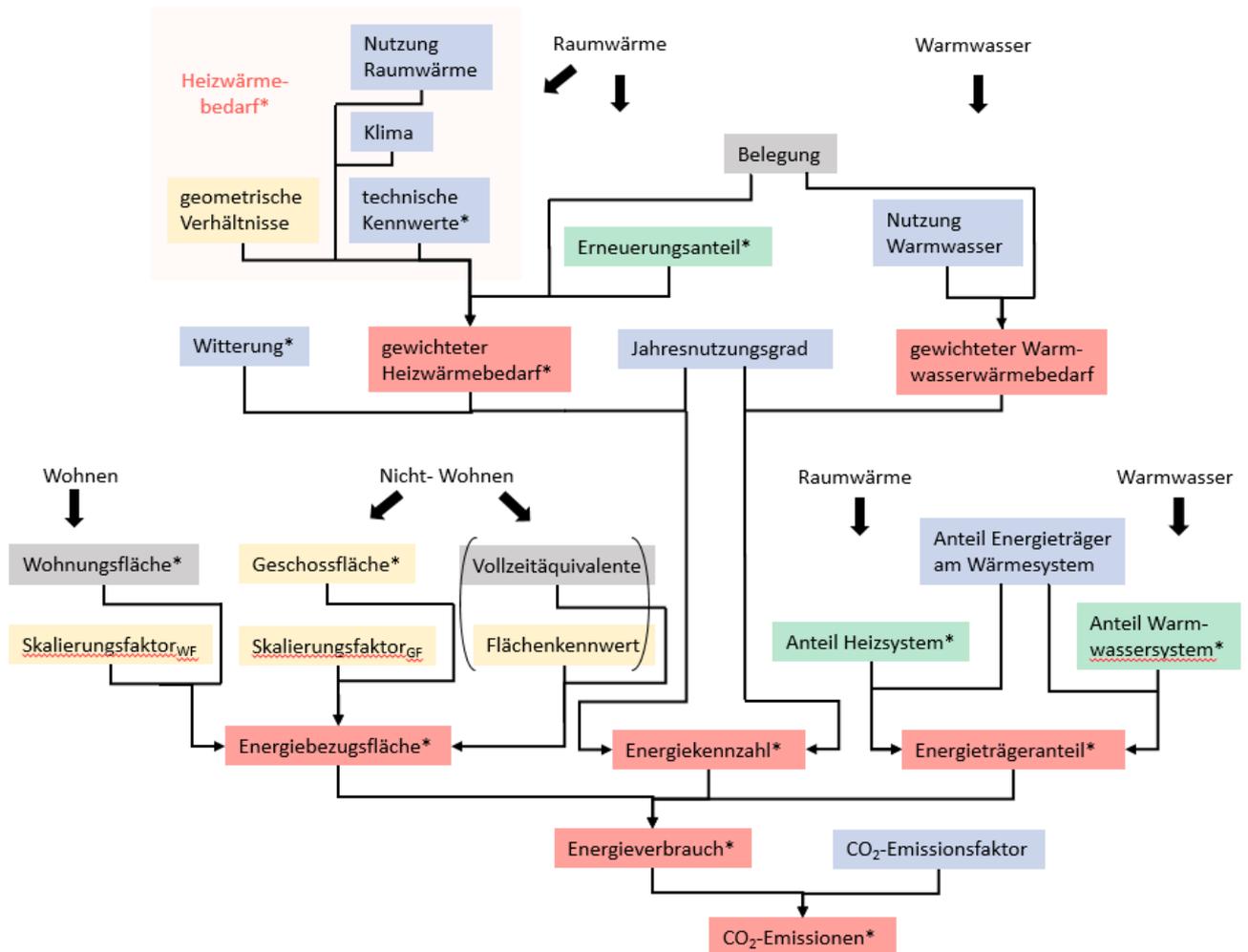


Abbildung 5: Gesamte Übersicht über alle relevanten Grössen und deren Verknüpfung zur Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Die vier Grössen links oben werden zum Heizwärmebedarf (rosaroter schattierter Hintergrund) verrechnet. In Klammern gesetzt, ist das Verfahren, das nur bei mangelnder Datenverfügbarkeit angewendet wird. Rot: im kantonalen Gebäudeparkmodell berechnete Grösse, grau: Aufbereitung statistischer Daten, orange: statistische Analyse, grün: Stichprobenerhebung und anschliessende Analyse, blau: technische und normative Daten. Der Asterisk kennzeichnet die Grössen, bei welchen eine zeitliche Entwicklung hinterlegt ist.

## Anhang 2 Differenzierung der Gebäudetypen und Bauperioden

Gebäudeklasse	grobe Gebäudeklasse	Gebäudesektor
Einfamilienhaus	Einfamilienhaus (EFH)	Einfamilienhaus (EFH)
Mehrfamilienhaus	Mehrfamilienhaus (MFH)	Mehrfamilienhaus (MFH)
Wohngebäude mit Nebennutzung		
Gebäude mit teilweiser Wohnnutzung		
Bürogebäude	Bürogebäude (BUR)	Nicht-Wohngebäude (NWG)
Gross- und Einzelhandelsgebäude	Handel (HAN)	
Schul- und Hochschulgebäude, Forschungseinrichtungen	Schulgebäude (SCH)	
Krankenhäuser und Facheinrichtungen des Gesundheitswesens	Krankenhäuser und Heime (KRA)	
Hotelgebäude	Weitere (WEI)	
Andere Gebäude für kurzfristige Beherbergung		
Gebäude des Nachrichtenwesens, Bahnhöfe, Abfertigungsgebäude und zugehörige Gebäude		
Gebäude für Kultur- und Freizeitwecke		
Museen und Bibliotheken		
Sporthallen		
Kirchen und sonstige Kultgebäude		
Garangengebäude		
Behälter, Silos und Lagergebäude		
Denkmäler oder unter Denkmalschutz stehende Bauwerke		
Sonstige Hochbauten, anderweitig nicht genannt		

Tabelle 9: Zusammenhang zwischen den Gebäudeklassen, den groben Gebäudeklassen und den Gebäudesektoren. Insgesamt werden die Energiebezugsflächen des Wohnsektors (Haushalte) und des Sektors Dienstleistungen berücksichtigt (NOGA 45 bis 96).

Bauperiode	grobe Bauperiode
vor 1919	vor 1945
1919-1945	
1946-1960	1946-1980
1961-1970	
1971-1980	
1981-1985	1981-2000
1986-1990	
1991-1995	
1996-2000	
2001-2005	2001-2015
2006-2010	
2011-2015	
ab 2016	ab 2016

Tabelle 10: Zusammenhang zwischen den Bauperioden und groben Bauperioden

## Anhang 3 Literatur

- [1] ECOSPEED, TEP Energy 2016: Methodik zur Berechnung der kantonalen CO<sub>2</sub>-Emissionen im Gebäudebereich auf Basis des Gebäude- und Wohnungsregisters (GWR), Zürich, 27 S.
- [2] TEP Energy 2021: Kantonale Energiekennzahlen und CO<sub>2</sub>-Emissionen im Gebäudebereich, Zürich, 119 S.
- [3] BAFU 2018: CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für die Berichterstattung der Kantone, Bern, 3 S.
- [4] BAFU und BFE 2020: Wirkung der Klima- und Energiepolitik in den Kantonen 2018, Sektor Gebäude, Bern, 32 S.
- [5] Jakob M. 2008: Grundlagen zur Wirkungsabschätzung der Energiepolitik der Kantone im Gebäudebereich, Zürich, 34 S.
- [6] BFE und BAFU 2020: Stand der Energie- und Klimapolitik in den Kantonen 2020, Bern, 132 S.
- [7] Jakob M., Jochem E., Christen K. 2002: Grenzkosten bei forcierten Energieeffizienzmassnahmen bei Wohngebäuden, Bern, 400 S
- [8] Jakob M., Jochem E., Honegger A., Baumgartner A., Menti U., Plüss I. 2006: Grenzkosten bei forcierten Energieeffizienzmassnahmen und optimierter Gebäudetechnik bei Wirtschaftsbauten. Bern, 360 S.
- [9] TEP Energy 2017: Building Market Briefs, Switzerland, Zürich, 58 S.

## Impressum

Bundesamt für Umwelt, August 2021

### Herausgeber:

Bundesamt für Umwelt BAFU  
Abteilung Klima  
CH-3003 Bern

### Autorin:

Carla Gross, BAFU, Abteilung Klima

### Konsultation:

Regine Röthlisberger, BAFU, Abteilung Klima  
Martin Jakob, TEP Energy

### Kontakt:

climate@bafu.admin.ch