

Kantonale Energiekennzahlen und CO₂-Emissionen im Gebäudebereich

Projektbericht

Zuhanden BAFU, EnDK, KVV
sowie kantonale Energie- und
Umweltfachstellen

Autoren

**Martin Jakob (Projektleitung), Giacomo Catenazzi, Benjamin Sunarjo,
Jonas Müller, Lia Weinberg**

26. Juli 2021

Impressum

Auftraggeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)
Energiefachstellenkonferenz (EnFK)
Konferenz der Vorsteher der Umweltschutzämter der Schweiz (KVU)

Begleitung

Carla Gross (BAFU)
Regine Röthlisberger (BAFU)
Beat Calonder (KVU)
Olivier Brenner (EnFK)
Christian Glauser (EnFK, AG Energiedaten), ab Anfang 2021

Auftragnehmer

TEP Energy GmbH

Autoren

Martin Jakob (Projektleitung)
Giacomo Catenazzi
Benjamin Sunarjo
Jonas Müller
Lia Weinberg

Die Autoren danken den Auftraggebern sowie den Mitgliedern der Begleitgruppe, den einzelnen Vertretern der kantonalen Energie- und Umweltfachstellen und dem MISTEE-Projektteam für die Zusammenarbeit und Ihre Begleitung und Beiträge zum vorliegenden Projektbericht.

Für den Inhalt dieses Berichts sind ausschliesslich TEP Energy und die Autoren verantwortlich.

Zusammenfassung

Das Ziel des Projekts ist, die Methodik für die Berechnung der CO₂-Emissionen der Gebäude in den Kantonen im Vergleich zur Methodik für die Berichterstattung 2018 weiter zu entwickeln. Dabei wird auf gebäudescharfen Daten des GWR, des GWS, von Swisstopo und auf Erhebungen bei Gebäudeeigentümern aufgebaut. Die Konsolidierung dieser Datenbestände erfolgt durch spezifische (u.a. statistische) Analysen. Die Hochrechnung auf die kantonale Ebene und das Ableiten der Energieträgeranteile und der Energiekennzahlen erfolgen mit dem Gebäudeparkmodell (GPM).

Die CO₂-Emissionen des Gebäudebestands eines Kantons ergeben sich grundsätzlich durch eine Summation der CO₂-Emissionen aller Gebäude auf dem Kantonsgebiet. Weil diese nicht für jedes einzelne Gebäude bekannt sind, werden sie berechnet und zwar als Produkt der Faktoren (1) Energiebezugsfläche (EBF), (2) Energiekennzahl (EKZ), (3) Anteile der eingesetzten Heizsysteme und Energieträger und (4) Emissionsfaktor. Weil auch diese Faktoren nicht für jedes einzelne Gebäude bekannt sind, werden die Emissionen mittels eines Berechnungsmodells bestimmt, dem Gebäudeparkmodell (GPM) von TEP Energy. Als Eingangsgrößen dienen zahlreiche Datenbestände, welche vorgängig zu analysieren und aufzubereiten sind. Damit können auch diverse Einflussfaktoren explizit berücksichtigen werden. Dabei werden die genannten Faktoren je nach Datenlage auf unterschiedlicher Ebene aggregiert und miteinander verknüpft:

- Die EBF wird so weit wie möglich mittels gebäudescharfer Daten bestimmt, wobei gewisse Umrechnungen vorgenommen werden müssen (z.B. von der Wohnfläche zur EBF oder von der Geschossfläche zur EBF). Fehlende Daten werden durch statistische Modelle ergänzt. Dies ist v.a. bei Nicht-Wohngebäuden von Relevanz. Für die Verarbeitung in den weiteren Berechnungen werden die EBF-Daten für jeden Kanton pro Gebäudeklasse, pro Bauperiode sowie pro Heizsystem und pro Energieträger aggregiert.
- Die EKZ pro Heizsystem¹ werden von Jahresnutzungsgraden und Nutzenergiebedarfswerten abgeleitet. Letztere werden in Anlehnung an SIA 380/1 berechnet. An dieser Stelle werden auch die Auswirkungen des sog. Energy Performance Gap (EPG) einbezogen, um damit Abweichungen des realen Verhaltens von Gebäuden und Nutzenden von den Berechnungsnormen zu berücksichtigen. Die Eingangsgrößen in diese Berechnung hängen von diversen Einflussfaktoren ab, welche auf der Basis von technischen Kennwerten (u.a. U-Werte, Nutzungsgrade), gebäudescharfen Daten des GWR, des GWS und von Swisstopo sowie auf der Basis von Erhebungen bei Gebäudeeigentümern (zu durchgeführten energetischen Erneuerungsarbeiten) bestimmt werden. Bei der Ergänzung von unvollständigen Daten und bei der Auswertung von Stichprobenerhebungen kommen wiederum statistische Modelle zum Einsatz, welche mindestens nach den Einflussfaktoren Kanton, Gebäudesektor oder -klasse und Bauperiode unterschieden werden.

¹ Aus berechnungstechnischen Gründen werden die EKZ pro Energieträger nicht bottom-up, sondern aus den Ergebnissen zurück gerechnet: Sie ergeben sich aus der Division der Endenergie (pro Energieträger und den weiteren Merkmalen) durch die energieträgerspezifische EBF (in der selben Differenzierung).

- Die Heiz- und Warmwassersysteme und die Energieträgeranteile werden durch Auswertungen des GWR (neuere Bauperioden) sowie durch die Auswertung von Daten aus Strichprobenerhebungen bestimmt, wobei nach Kanton, Gebäudesektor und Bauperiode unterschieden wird.

Bei acht Kantonen, bei denen keine Stichprobenerhebung durchgeführt werden konnte, kommen entweder kantonale Daten des jeweiligen Kantons, kantonale Daten aus anderen Quellen oder Daten von anderen Kantonen (Mittelwerte oder durch Analogieschlüsse bestimmt) zur Anwendung. Nachfolgend wird auf die einzelnen Berechnungen und Datengrundlagen näher eingegangen.

Die EBF des Bereichs Wohnen wird grundsätzlich ausgehend von der Wohnfläche gemäss Gebäude- und Wohnungsstatistik (GWS) berechnet. Dabei wird die Wohnfläche pro Gebäude mit einem Skalierungsfaktor multipliziert. Der Skalierungsfaktor hängt von den Merkmalen Gebäudesektor und Bauperiode ab. Datenbasis für die Bestimmung des Effekts dieser Merkmale auf die Skalierungsfaktoren ist das 3D-Modell von Swisstopo, welches mit dem Gebäude- und Wohnungsregister (GWR) verschnitten wird. Die Wohnfläche pro EGID wird dem GWS entnommen und die (oberirdische) Geschossfläche (GF) wird im Sinne einer Annäherung mittels geometrischer Verfahren im GIS berechnet. Dabei wird berücksichtigt, dass nicht alle Geschosse die gleiche Fläche haben (z.B. Attikageschosse im Vergleich zum Erdgeschoss). Zudem ist zu berücksichtigen, ob Keller und Dachraum beheizt bzw. bewohnbar sind oder nicht (wegen fehlender Höhe).

Die Nicht-Wohn-EBF des Dienstleistungssektors wird durch ein dreistufiges Verfahren bestimmt. In einem ersten Schritt wird gebäudescharf die Geschossfläche (GF) pro Gebäude aus dem 3D-Modell gemäss einem spezifischen geometrischen Verfahren berechnet (im Sinne einer Näherung). In einem zweiten Schritt wird die GF mit einem Faktor zur EBF umgerechnet. In einem dritten Schritt wird gebäudescharf die Wohn-EBF von der Gesamt-EBF abgezogen. Bei Gebäuden ohne Daten im 3D-Modell wird die Fläche mittels der Anzahl Beschäftigten pro Standort und Kennwerten Fläche pro Beschäftigte bestimmt. Diese werden mittels multiplem Regressionsmodell ermittelt, welches die Anzahl Vollzeitäquivalente pro Branchengruppe und Standort gemäss STATENT (georeferenziert) mit den verfügbaren Flächendaten aus dem 3D-Modell verknüpft.

Die Energiekennzahlen pro Gebäudetyt und Bauperiode werden in Anlehnung an das Berechnungsverfahren SIA 380/1 berechnet und hängen damit von einer Vielzahl von Einflussfaktoren ab. Die meisten dieser Einflussfaktoren hängen von Gebäudeattributen (z.B. Gebäudetyt, Bauperiode, Nutzung, geometrische Verhältnisse) ab, zu welchen statistische Grundlagen vorliegen bzw. die sich aus solchen Grundlagen ableiten lassen. Diese umfassen das Gebäude- und Wohnungsregister (GWR) und die Gebäude – und Wohnungsstatistik (GWS), das 3D-Modell von Swisstopo, die diversen Ausgaben der SIA 380/1 und der Muster Vorschriften der Kantone sowie zahlreiche Statistiken, Forschungs- und Anwendungsprojekte, aus denen Daten entnommen oder abgeleitet werden. Ebenfalls fliessen empirische Daten zur Erneuerungsaktivität der Gebäudeeigentümer von insgesamt 18 Kantone ein (AG, AI, AR, BE, BL, GL, GR, LU, NE, NW, OW, SG, SO, SZ, TI, UR, VD und ZG) für die eine Erhebung 2019 bzw. 2020 im Rahmen dieses Projekts und des BFE-Forschungsprojekts MISTEE durchgeführt wurde. Daten aus ähnlichen früheren Erhebungen dienen der Validierung.

Der Ansatz für die Bestimmung der Heizsystem- und Energieträgeranteile pro Gebäudesektor und Bauperiode in den Kantonen unterscheidet sich je nach Datenlage, welche zwischen Kantonen, Gebäudetypen und Bauperioden unterschiedlich ist: Die Energieträger von Neubauten mit Baujahr nach 2000 werden bei der Ersterfassung der Gebäude im GWR registriert. Bei den übrigen Gebäuden erfolgte eine flächendeckende Erfassung letztmals im Rahmen der Gebäude- und Wohnungszählung 2000 durch das Bundesamt für Statistik (BFS). Für die Kantone AG, AI, AR, BE, BL, GL, GR, LU, NE, NW, OW, SG, SO, SZ, TI, UR VD und ZG wird der Energieträgeranteil zusätzlich unter Einbezug der Ergebnisse einer Stichprobenerhebung bei Gebäudeeigentümern bestimmt. Weil die erhobenen Daten wie alle Stichprobendaten gewisse Unsicherheiten aufweisen, werden diese nicht eins zu eins übernommen, sondern es wird ein statistisches Modell an die Daten angepasst, dessen predict als Eingangsgrösse für das GPM verwendet wird.

Hinweis: Die EBF-bezogenen energieträgerspezifischen Anteile und die EKZ pro Energieträger werden aus den Endenergieergebnissen zurück gerechnet.

Mit dem in diesem Projekt entwickelten Vorgehen wird eine weitergehende «Kantonalisierung» erreicht, namentlich im Bereich Heizsystem- und Energieträgeranteile sowie Energiekennzahlen. Hierbei werden sowohl die Energiekennzahlen als auch die Energieträgeranteile empirisch abgestützt. Mit dem Vorgehen eines kombinierten Umfrage-Modellierungsansatzes wird dies mit einem günstigen Verhältnis zwischen empirischer Fundierung und Einfachheit für die Befragten erreicht.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	iv
o Begrifflichkeit: Abkürzungen und Glossar	4
o.1 Abkürzungen	4
o.2 Glossar	6
1 Ausgangslage und Zielsetzung	11
1.1 Ausgangslage	11
1.2 Zielsetzung	12
1.3 Berichtsstruktur und Lesehilfe	14
2 Methodische Grundlagen und Vorüberlegungen	15
2.1 Einleitung	15
2.2 Berechnungsansatz zur Bestimmung der spezifischen Kennwerte	15
2.3 Bestimmung des Mengengerüsts	17
2.4 Verknüpfung von Mengengerüst und spezifischen Kennwerten	19
2.4.1 Ebene einzelnes Gebäude	19
2.4.2 Ebene Gebäudepark	20
2.5 Abgeleiteter Datenbedarf	21
3 Vorbereitende Datenanalysen und Datenbedarf	22
3.1 Potenziell verfügbare Datengrundlagen (Übersicht)	22
3.2 Mengengerüst	23
3.2.1 Wohnen	23
3.2.2 Nicht-Wohnen	25
3.3 Energiekennzahlen	27
3.3.1 Einflussfaktoren im Überblick	27
3.3.2 Heizwärme- und Warmwasserbedarfswerte von Neubauten	28
3.3.3 U-Werte von Neubauten und erneuerten Gebäuden	31
3.3.4 Geometrische Verhältnisse	32
3.3.5 Erhebung der Erneuerungstätigkeit zu Bestimmung der Erneuerungsaktivität	33
3.3.6 Bestimmung von Instandsetzungs- und energetischen Erneuerungsanteile und -raten	34

3.4	Energieträger	39
3.4.1	Wohnen	39
3.4.2	Nicht-Wohnen	41
3.5	Energieträgerentwicklung (Veränderungen durch Substitutionen) ab 2016	42
3.5.1	Validierung Energieträgeranteile	44
3.5.2	Warmwasser	45
<hr/>		
4	Methodik zur Berechnung von EBF, Heizsystem- und Energieträgeranteilen, EKZ und CO ₂ -Emissionen	46
<hr/>		
4.1	Definitionen	46
<hr/>		
4.2	Überblick über die Methodik	49
<hr/>		
4.3	Mengengerüst	54
4.3.1	Energiebezugsflächen	54
4.3.2	Differenzierung der EBF nach Heiz- bzw. Warmwassersystemen und nach Energieträgern	55
4.4	Energiekennzahlen differenziert nach Heiz- und Warmwassersystemen (HWS)	57
4.4.1	Spezifische Nutzenergie Raumwärme und Warmwasser (normativ)	57
4.4.2	Spezifische Nutzenergie Raumwärme und Warmwasser (inkl. Nutzereinfluss und EPG)	61
4.4.3	Häufigkeit der energetischen Erneuerungen pro Bauteil	62
4.4.4	Gewichtung der spezifischen Nutzenergie mit den energetischen Erneuerungsanteilen	64
4.4.5	Berechnen der HWS-Energiekennzahlen durch Verknüpfung von spezifischer Nutzenergie und Nutzungsgraden	67
4.5	Aggregierte Ergebnisse zu Endenergieverbrauch und CO ₂ -Emissionen	69
4.5.1	Endenergieverbrauch differenziert nach Energieträgern (ET)	69
4.5.2	CO ₂ -Emissionen	70
4.6	Ergebnisse zu EBF, Energieträgeranteilen und EKZ	70
4.6.1	Energiebezugsflächen	70
4.6.2	Energieträgeranteile	70
4.6.3	Ableiten der Energiekennzahlen differenziert nach Energieträgern (ET)	71
4.7	Plausibilisierung, iterative Verbesserungen und Validierung	72
4.7.1	Vergleich mit der gesamtschweizerischen Endenergie pro Energieträger	72
4.7.2	Visualisierungen der EKZ pro Kanton	73

4.7.3	Quervergleich mit kantonalen Statistiken	75
5	Ausgewählte Ergebnisse	77
5.1	Energiebezugsflächen	77
5.1.1	Wohnen	77
5.1.2	Nicht-Wohnen	78
5.2	Wärmebedarf für Heizung und Warmwasser	80
5.2.1	Wohnen	80
5.2.2	Nicht-Wohnen	81
5.3	Energieträger Raumheizung	82
5.3.1	Wohnen	82
5.3.2	Nicht-Wohnen	85
5.4	Energieträger Warmwasser	86
5.5	Spezifische CO ₂ -Emissionen (Emissionskoeffizienten)	87
5.6	Energieverbrauch und CO ₂ -Emissionen pro Kanton	89
5.6.1	Fossiler Energieverbrauch	89
5.6.2	CO ₂ -Emissionen	90
6	Fazit, Ausblick und weiteres Vorgehen	93
6.1	Fazit	93
6.2	Ausblick und weiteres Vorgehen	94
6.2.1	Mengengerüst	94
6.2.2	Empirische Abstützung Energieträgeranteile und Energiekennzahlen	94
6.2.3	Berechnungsansätze	95
6.2.4	Validierung	95
6.2.5	Anwendung	95
Anhang		96
A.1	Definitionen und Abgrenzungen	96
A.2	Weitere Annahmen	97
A.3	Weitere ausgewählte Detailergebnisse	101
A.4	Auswertungsergebnisse der Erhebung Erneuerungstätigkeiten in den Kantonen	102
Bibliographie		109

0 Begrifflichkeit: Abkürzungen und Glossar

0.1 Abkürzungen

A/EBF	Gebäudehüllzahl (auch als A_{th}/A_E bezeichnet)
A_E	Energiebezugsfläche
A_{th}	Thermisch relevante Gebäudehüllfläche
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BFE	Bundesamt für Energie
BFS	Bundesamt für Statistik
BGF	Bruttogeschossfläche
BP	Bauperiode
CO_2	Kohlendioxid
CO_2 -eq	Kohlendioxidäquivalente
EA	Energieträgeranteil
EBF	Energiebezugsfläche
EE	Endenergie
EF	Emissionsfaktor
EFH	Einfamilienhaus
EGID	Eidgenössischer Gebäudeidentifikator
EKZ	Energiekennzahl
EL	Elektrizität
EnDK	Konferenz Kantonaler Energiedirektoren
EnFK	Konferenz Kantonaler Energiefachstellen
EP	Erneuerungsperiode
EPG	Energy Performance Gap
ET	Energieträger
FW	Fernwärme
FWä	Freie Wärme (gemäss SIA 380/1)
GBAUP	Gebäudebauperiode (gemäss Merkmalskatalog des GWR)
GBAUPgrob	Grobe Gebäudebauperiode (gemäss Definition in Tabelle 9)
GEST	Gesamtenergiestatistik
GKLAS	Gebäudeklasse (gemäss Merkmalskatalog des GWR)
GPM	Gebäudeparkmodell
GWh	Gigawattstunde (1 Mio. kWh, 10^9 Wh)

GWR	(Eidgenössisches) Gebäude- und Wohnungsregister
GWS	Gebäude- und Wohnungsstatistik Schweiz
HGT	Heizgradtage
HS	Heizsystem
HWS	Heiz- und Warmwassersystem
JNG	Jahresnutzungsgrad
KT	Kanton
KVU	Konferenz der Vorsteher der Umweltschutzämter der Schweiz
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
MB	Merkblatt
MFH	Mehrfamilienhaus
MJ	Megajoule
MuKEEn	Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich
NE	Nutzenergie
NOGA	Nomenclature générale des activités économiques (Allgemeine Systematik der Wirtschaftszweige)
NWG	Nicht-Wohngebäude
Q _H	Heizwärmebedarf gemäss SIA 380/1
Q _W	Warmwasserwärmebedarf gemäss SIA 380/1
RW	Raumwärme
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
STATENT	Statistik der Unternehmensstruktur
T	Temperatur
TEP	Technology Economics Policy
TKG	TEP-Kantons-GPM
TWh	Terawattstunde (1 Milliarde kWh, 10 ¹² Wh)
VZ	Verwendungszweck
VZÄ	Vollzeitäquivalent
WG	Wohngebäude
WP	Wärmepumpe
WW	Warmwasser

0.2 Glossar

Aussenwandfläche (Symbol A_W , Einheit m^2)

Fläche der Aussenwand (ohne Fenster und Türen) gegen Aussenklima des betreffenden Wandausschnitts mit Aussenabmessungen.

Bi-valent

In der Regel Heizsystem mit zwei Teilsystemen (z.B. zwei Wärmeerzeuger, die sich gegenseitig ergänzen, z.B. bzgl. Grund- und Spitzelast). In Ausnahmefällen kann auch ein einzelnes Heizsystem bivalent mit zwei Energieträgern betrieben werden.

Bottom-up Modell

Hier: Modell, welches „von unten nach oben modelliert“, d. h. von kleinteiligen Strukturen (spezifischer Energieverbrauch einer einzelnen Anwendung in einem einzelnen Raum) mittels eines differenzierten Mengengerüsts (z. B. Flächen, Einwohner, Beschäftigte) zu aggregierten Grössen (kantonaler Energieverbrauch, CO₂-Emissionen) hochrechnet.

Bruttogeschossfläche

Die Bruttogeschossfläche ist definiert als die Summe der zum Wohnen oder Arbeiten dienenden, bzw. verwendbaren Geschossflächen, einschliesslich aller Wand und Dämmungs-Querschnitte. Möglicherweise vorhandene Vor- und Rücksprünge an den Aussenflächen des Gebäudes werden bei der Berechnung der BGF vernachlässigt. BGF ist ein baurechtlicher Begriff, im Gegensatz zu Geschossfläche (GF), der durch die SIA definiert ist. Quelle: BAWOS 2017 (siehe auch ARE GR 2014)

CO₂-Emissionsfaktor: CO₂-Emissionen pro Energieeinheit des eingesetzten Endenergieträgers (g/kWh)

CO₂-Emissionskoeffizient: Spezifische CO₂-Emissionen pro m² EBF (kg/m²)

Energiebezugsfläche (EBF, Symbol A_E , Einheit m^2 oder Mio. m^2)

Summe aller ober- und unterirdischen Geschossflächen, die innerhalb der thermischen Gebäudehülle liegen und für deren Nutzung ein Konditionieren notwendig ist (konditionieren: beheizen und/oder klimatisieren). Quelle: SIA 380:2015.

Energy Performance Gap (EPG)

Diskrepanz zwischen dem normativen bzw. berechneten (erwarteten) Energieverbrauch und dem tatsächlichen Energieverbrauch im Betrieb. Der EPG kann viele Ursachen haben (z.B. Abweichungen bei den technischen Kennwerten (U-Werte, Nutzungsgrade) und bei typischen betrieblichen Parametern wie Innenraumtemperatur, Luftwechselrate. Abweichungen können auch durch Messungenauigkeiten, mangelhafte Definition entstehen.

Endenergie (EE, Einheit kWh/m²)

Energie, welche den Hausanschluss des Verbrauchers oder die Arealgrenze passiert hat. Beinhaltet im Vergleich zu Nutzenergie die Umwandlungsverluste (z. B. zu Nutzenergie durch Wärmeerzeuger) im Haus. Nebst der kommerziell bezogenen Energie beinhaltet die Endenergie auch die auf dem Areal erzeugte oder genutzte Energie wie z. B. Solarenergie, Geothermie und die Umgebungsenergie, sofern die Nutzung mittels technischer Anlagen gewonnen wird (passiv genutzte Solarenergie durch Fenster ist in der Endenergie nicht enthalten).

Ex-Post Analysen

Jährlich vom BFE durchgeführte Analyse des schweizweiten Energieverbrauchs nach Verwendungszwecken (siehe z. B. BFE 2019).

Fassadenfläche (Symbol A_F , Einheit m^2)

Fläche der Aussenwand (inkl. Fenster und Türen) gegen Aussenklima des betreffenden Fassadenausschnitts mit Aussenabmessungen. Quelle: SIA 380:2015.

Energetische Erneuerungsaktivität

Genereller, nicht-technischer Begriff, um die Aktivität der Gebäudeeigentümer zur energetischen Erneuerung der Gebäude und Heizanlagen zu beschreiben. Die Aktivität beschreibt die Intensität der Tätigkeit einer Gruppe von (oder von allen) Eigentümern, in der Regel über einen bestimmten Zeitraum, und kann durch verschiedene Indikatoren charakterisiert werden (z.B. Erneuerungsrate).

Energetische Erneuerungsrate (Einheit %/Jahr)

Rate, mit welcher ein Bauteil (z.B. Wand, Fenster) oder eine Gebäudetechnikanwendung (z. B. Heizanlage) typischerweise energetische erneuert wird, angegeben in % pro Jahr.

Energetische Erneuerungstätigkeit

Tätigkeit eines Gebäudeeigentümers im Bereich energetische Erneuerung der Gebäude und Heizanlagen: welche Massnahmen wurden im welchem Bereich wann umgesetzt. Die Erneuerungstätigkeit kann mittels Fragebogen bei den einzelnen Eigentümern erhoben werden.

Energetischer Erneuerungsanteil (%)

Anteil der Gebäude bzw. Bauteile, die ab einem definierten Zeitpunkt (z.B. Baujahr, Jahr 1990) energetische erneuert wurden, angegeben in %.

Energetischer Erneuerungsstatus

Beschreibt, ob sich ein Bauteil (oder ein technisches System) noch im Originalzustand (zum Zeitpunkt des Neubaus) befindet oder ob es energetisch erneuert wurde (durch Ersatz oder Add-on Massnahmen wie Wärmedämmung). Die Beschreibung umfasst den Erneuerungszeitpunkt und, ggf. davon abgeleitet, die technische Charakterisierung.

Energiekennzahl (EKZ, Einheit kWh/m^2)

Die Energiekennzahl des Gebäudes ergibt sich durch Teilung des Endenergie durch die Energiebezugsfläche. Um die berechnete Energiekennzahl zu bestimmen, wird der Energiebedarf unter Verwendung der Standardklima und Nutzungsbedingungen des Gebäudes berechnet. Gemäss SIA 380:2015 wird der Energiebedarf nach Energieträger gewichtet, aber in diesem Bericht fliesst der Energieverbrauch ungewichtet in die Energiekennzahl ein.

Energiesystem

Sammelbegriff für Heizsystem, Warmwassersystem oder kombiniertes Heiz- und Warmwassersystem.

Erneuerung

Eine Erneuerung umfasst gemäss SIA 469 das Wiederherstellen eines gesamten Bauwerks oder von Bauteilen in einen mit dem ursprünglichen Neubau vergleichbaren Zustand d.h. es wird der Zustand zum Zeitpunkt des damaligen Neubaus wieder hergestellt. In diesem Bericht wird ein erweiterter Erneuerungs-begriff verwendet: eine

Erneuerung bringt das entsprechende Bauteil oder eine Heizanlage auf den heutigen Stand der Technik, d.h. beinhaltet eine energetische Verbesserung gegenüber dem ursprünglichen Neubauzustand. Bei opaken Bauteilen umfasst eine Erneuerung eine Wärmedämmung, bei den Fenstern eine Energieeffizienz gemäss heutigem (Neubau-) Standard und bei den Heizanlagen den Einsatz von erneuerbaren Energien. Quelle: SIA und TEP Energy.

Ersatz- bzw. Erneuerungsrate

Rate, mit welcher ein Bauteil oder eine Gebäudetechnikanwendung (z. B. eine Heizanlage, ein Fenster, eine Wand) typischerweise ersetzt bzw. erneuert wird, angegeben in % pro Jahr. Die Erneuerungsrate ist (bei einem Gebäudebestand oder -segment im «steady state») typischerweise umgekehrt proportional zur Nutzungsdauer.

Gebäude

Gebäude sind auf Dauer angelegte, mit dem Boden fest verbundene Bauten, die Wohnzwecken oder Zwecken der Arbeit, der Ausbildung, der Kultur oder des Sportes dienen. Bei Doppel-, Gruppen- und Reihenhäusern zählt jedes Gebäude als selbständig, wenn es einen eigenen Zugang von aussen hat und wenn zwischen den Gebäuden eine senkrechte vom Erdgeschoss bis zum Dach reichende tragende Trennmauer besteht. Quelle: BFS.

Gebäudehüllzahl (Symbol A_{th}/A_E , dimensionslos)

Verhältnis der thermischen Gebäudehüllfläche zur Energiebezugsfläche. Quelle: SIA 380:2015. In vielen Quellen auch A/EBF genannt.

Geschossfläche (GF, Einheit m^2)

Die Geschossfläche ist die allseitig umschlossene und überdeckte Grundrissfläche der zugänglichen Geschosse einschliesslich Konstruktionsflächen. Nicht als Geschossfläche gerechnet werden Flächen von Hohlräumen unter dem untersten zugänglichen Geschoss. Quelle: SIA.

Heiz- und Warmwassersystem (HWS)

Technisches Energiesystem, welches durch ein oder mehrere Wärmeerzeuger Wärme für Raumwärme und Warmwasser bereitstellt und diese im Gebäude verteilt bzw. direkt beim Verbraucher erzeugt (z.B. dezentrale Elektroboiler).

Heizwärmebedarf (HWB, Symbol Q_H , Einheit kWh oder kWh/m^2)

Wärme, die dem beheizten Raum während eines Berechnungsschritts zugeführt werden muss, um den Sollwert der Innentemperatur einzuhalten. Angabe absolut (kWh) oder bezogen auf die Energiebezugsfläche (kWh/m^2). Quelle: SIA 380:2015.

Instandhaltung

Die Instandhaltung beinhaltet die «Bewahrung der Gebrauchstauglichkeit durch einfache und regelmässige Massnahmen» (SIA 469). Es sind Reparaturmassnahmen an Bauteilen oder Ersatz einzelner Geräte oder Installationen. Im Fassadenbereich sind dies z.B. Reparaturen wie Putzausbesserung und Malerarbeiten, Reparaturen und Einzelerersatz von Rollläden, Sonnenschutz, Kittfugen etc. Bei den Heizanlagen stellt der Brennerersatz eine typische Instandhaltungsmassnahme dar. Quelle: SIA, TEP Energy.

Instandsetzung

Die Instandhaltung umfasst periodische Massnahmen am Ende des Lebenszyklus und zielt gemäss SIA 469 auf die «Wiederherstellen der Sicherheit und Gebrauchstauglich-

keit» des entsprechenden Bauteils oder der Anlage ab. Eine Instandsetzung gemäss Verwendung in diesem Bericht beinhaltet nicht eine Erneuerung oder Modernisierung, d.h. keine energetische Verbesserung. Quelle: SIA, TEP Energy.

Kohorte

Segment des Gebäudeparks (oder eines Anlagenbestands), welches bzgl. der relevanten Eigenschaften (Attribute) homogen ist. Ein Beispiel einer Kohorte sind alle EFH einer bestimmten Bauperiode, welche mit Öl beheizt werden und während einer bestimmten Periode im Bereich der Aussenwand instandgesetzt wurden.

Kohortenmodell

«Ein Kohortenmodell, auch als Bestandsmodell oder Altersstrukturmodell bezeichnet, ist ein Modell zur Beschreibung von zeitlichen Entwicklungen der Bestände von Objekten unterschiedlichen Alters. Das Kohortenmodell beruht auf dem sogenannten Kohortenprinzip. Bei dem Kohortenprinzip werden Objekte, z. B. Brennwärtekessel oder Gebäude eines Alters, in eine Kohorte zusammengefasst. Objekte einer Kohorte weisen ähnliche Eigenschaften auf, beispielsweise mit Blick auf den Energiebedarf oder hinsichtlich der Wirkung von Modernisierungsmaßnahmen auf diesen Bedarf.»
Quelle: EnArgus.

Lebensdauer

Entspricht, je nach Verwendung des Begriffs, der Nutzungsdauer oder der technischen Lebensdauer. Letztere beschreibt die Dauer (in Jahren), währenddessen ein bestimmter Anteil (z. B. 90 %) der Gebäude, Anlagen oder Geräte aus technischem Gesichtspunkt noch funktionstüchtig sind.

Mengengerüst

Datenstruktur (z.B. in Form von Datenbanktabellen), welche in einem Bottom-up Modell die quantitativen Grössen wie z.B. EBF, Anzahl Gebäude, Anzahl Personen, Anzahl Anlagen darstellen. In einem Mengengerüst werden diese Grössen nach verschiedenen Attributen (Eigenschaften) strukturiert, so dass sie mit spezifischen Kennwerten (z.B. Energie pro Mengeneinheit) verknüpft werden können.

Nutzenergie (NE, Einheit kWh/m²)

Thermische Energie, die dem Verbraucher unmittelbar zur Verfügung steht, z.B. als Wärme im Raum, als dem Raum entzogene Wärme (Kühlung) oder als Warmwasser an der Entnahmestelle. Quelle: SIA 380:2015.

Nutzungsdauer

Dauer (in Jahren), während der ein Gebäude, eine Anlage oder ein Gerät genutzt wird, bevor es ersetzt oder stillgelegt wird. Die Nutzungsdauer kann kürzer sein als die (technische) Lebensdauer (z. B. bei Bedürfnisänderungen oder veränderten Qualitätsansprüchen), ist jedoch üblicherweise länger als die Abschreib- oder Amortisationszeit.

Odds (dt.: Chance)

Chance ist die Häufigkeit eines bestimmten Ereignisses (z.B. ein Fensterersatz bei einem bestimmten Gebäudesegment innerhalb einer bestimmten Renovationsperiode) dividiert durch die Häufigkeit der dazu komplementären Ereignisse (Fensterinstandsetzung oder keine Massnahme innerhalb der entsprechenden Periode). Die Chance kann durch das Verhältnis der Wahrscheinlichkeit des bestimmten Ereignisses zur Wahrscheinlichkeit der komplementären Ereignisse bestimmt werden.

Odds ratio (dt.: Chancenverhältnis)

Mit dem Odds-ratio wird das Verhältnis von zwei Chancen miteinander verglichen (z.B. die Chance, dass eine Aussenwand eines bestimmten Gebäudesegments in einem bestimmten Kanton wärmegeklämt wird mit der entsprechenden Chance in einem anderen Kanton). Das Odds-ratio stellt entsprechend ein statistisches Mass dar, das etwas über die Stärke eines Zusammenhangs von zwei Merkmalen aussagt.

Raumheizung (Symbol E_H)

Erzeugung von Raumwärme (inkl. elektrische Hilfsenergie für die Speicherung, Verteilung und Abgabe von Raumwärme sowie Energie für Pumpen und Brenner). Dazu gehört auch die Energie für die Erwärmung der Zuluft, soweit sie nicht der Nachwärmung bei Befeuchtung und/oder Entfeuchtung dient. Quelle: SIA 380:2015.

Renovation

Allgemeinsprachlicher Begriff, der Massnahmen wie Instandhaltung, Instandsetzung, Erneuerungen, Modernisierungen und Umbauten umfasst. In diesem Bericht als Sammelbegriff verwendet (um sprachlich sperrige Aufzählungen zu vermeiden), der im Bereich Gebäudehülle und Heizung/Warmwasser insbesondere Instandhaltungen und -setzungen sowie Erneuerungen umfasst.

Thermische Gebäudehülle (Symbol A_{th} , m^2)

Setzt sich aus den Bauteilen zusammen, welche die konditionierten Räume allseitig und vollständig umschliessen (Quelle: SIA 380:2015)

Wärmebedarf für Warmwasser (WBW, Symbol Q_w , Einheit kWh oder kWh/m^2)

Wärme, welche während eines Berechnungsschritts notwendig ist, um die benötigte Menge Warmwasser (ohne Ausstossmenge) auf die Solltemperatur des Warmwassers zu erwärmen. Angabe absolut oder bezogen auf die Energiebezugsfläche. Quelle: SIA 380:2015.

Verwendungszweck (VZ)

Zweck, für welchen Endenergie verwendet bzw. Nutzenergie bereitgestellt wird. In diesem Bericht werden die VZ Raumwärme und Warmwasser unterschieden.

Wohnfläche

Der Begriff «Wohnfläche» wird für aggregierte, statistische Grössen und abgeleitete Kennwerte (Indikatoren) verwendet (im Gegensatz zu Wohnungsfläche, welche die Fläche einer konkreten Wohnung beschreibt, siehe unten stehende Erläuterung). Gemäss BFS wird z.B. die durchschnittliche Wohnfläche pro BewohnerIn berechnet, «indem die Summe der Wohnungsflächen durch die Gesamtzahl ihrer BewohnerInnen geteilt wird».

Wohnungsfläche (Symbol: WAREA, Einheit m^2)

«Als Wohnungsfläche ist die Summe der Flächen sämtlicher Zimmer, Küchen, Kochnischen, Badezimmer, Toiletten, Abstellräume, Gänge, Veranden usw. einer Wohnung erfasst. Zusätzliche separate Wohnräume (z.B. Mansarden), offene Balkone und Terrassen sowie nicht bewohnbare Keller- und Dachgeschossräume fallen bei der Berechnung der Wohnungsfläche ausser Betracht. Wo keine genauen Flächen ermittelt werden können, sind Schätzwerte (Länge x Breite der Wohnung) erfasst.» Quelle: BFS, Merkmalskatalog Eidgenössisches Gebäude- und Wohnungsregister, Version 4.1.

1 Ausgangslage und Zielsetzung

1.1 Ausgangslage

ECOSPEED (ES) und TEP Energy (TEP) haben 2016 gemeinsam im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU) eine sehr einfache Methodik für die Berechnung der CO₂-Emissionen von Gebäuden auf Basis des Eidgenössischen Gebäude- und Wohnungsregisters (GWR) des Bundesamts für Statistik (BFS) und des Gebäudeparkmodells (GPM) der TEP Energy GmbH definiert, um die Anforderungen der CO₂-Verordnung in Sachen Berichterstattung der Emissionen der Kantone im Gebäudebereich in einer ersten groben Annäherung zu erfüllen (im folgenden „kantonales CO₂-Reporting Gebäude“ genannt).

Die Umsetzung erfolgte in Form einer webbasierten Plattform auf der Softwaretechnologie der Firma ECOSPEED AG (ES). Dabei werden Daten aus dem GWR und dem GWS (Mengenrüst Wohngebäude) sowie aus dem Gebäudeparkmodell von TEP Energy (EBF Nicht-Wohngebäude, Energiekennzahlen, Energieträgermix) verknüpft.

Aufgrund der Erfahrungen und der Ergebnisse mit diesem Ansatz im Jahr 2018 wurde ersichtlich, dass eine Weiterentwicklung nötig ist, um kantonale Unterschiede besser berücksichtigen und kantonsspezifische Daten einbeziehen zu können, namentlich bzgl. der Flächen der Nicht-Wohngebäude, der Energiekennzahlen (EKZ) und der Energieträgeranteile.

Aufgrund von laufenden Aktualisierungsarbeiten beim Gebäude- und Wohnungsregister (GWR) ist die Methodik zudem anzupassen, um Artefakte bei den rapportierten Ergebnissen zu vermeiden. Konkret ist eine Trennung vorzunehmen

- zwischen den «scheinbaren» Effekten (z.B. von Datenaktualisierungen, namentlich der laufenden und teilweisen, aber nach wie vor nicht vollständigen empirische Abstützung der Energieträgerinformation im GWR²)
- und von tatsächlichen Effekten (z.B. tatsächliche Energieträgerwechsel).

Die laufenden Veränderungen und Datenaktualisierungen beim GWR stellen eine grosse Herausforderung dar, wenn es darum geht, die tatsächlichen Veränderungen bei der Energieversorgung der Gebäude und ihre Auswirkungen auf die CO₂-Emissionen in den verschiedenen Kantonen festzustellen. Umgekehrt wird eine Weiterentwicklung der Methodik in Richtung kantonale Differenzierung durch die zunehmende Verfügbarkeit von weiteren Datenquellen (z.B. 3D Model der Swisstopo) und durch laufende Arbeiten der TEP Energy erleichtert, z.B. im Rahmen der BFE-Energieperspektiven und des BFE-Forschungsprojekts MISTEE:

- Flächenberechnungen: Die Nicht-Wohn-Energiebezugsflächen können mit Hilfe von Daten des GWR, der STATENT und des 3D-Modells von swisstopo auf eine weit bessere

² Das GWR wird laufend aktualisiert, zum einen durch Gemeinden (und einige wenige Kantone) auf der Basis von Baugesuchen und anderen behördlichen Aktivitäten (z.B. durch die Feuerungskontrolle) und zum anderen durch das Bundesamt für Statistik (BFS) mittels Einbezugs von sogenannten Sekundärdaten (z.B. auf Datenbanken des GEAK, von Minergie, der Feuerungskontrolltätigkeiten). Dieser Prozess ist zwischen den verschiedenen Kantonen und auch innerhalb der Kantone, z.T. auch innerhalb der zuständigen Gemeinden, sehr heterogen und es besteht bzgl. Aktualisierungsaktivität keine Einheit (z.B. bzgl. Gebäudeklassen oder -grösse, Bauperioden, Gemeindegrössen etc.).

empirische Basis gestellt werden als im Vergleich zum 2018 angewandten Verfahren auf Basis eines Regressionsmodells.

- Zudem können mit dem 3D-Modell die Flächen der Gebäudehülle berechnet werden, um damit das Flächenverhältnis zwischen den Bauteilen der Gebäudehülle und der EBF zu berechnen. Dieses Flächenverhältnis ist eine wichtige Eingangsgrösse für die Berechnung der Energiekennzahlen, dies sowohl für Wohn- als auch für Nicht-Wohngebäude. Damit können die auf Annahmen basierten Kennwerte pro Gebäudetyp auf eine bessere empirische Basis gestellt werden und es können die relevanten von den nicht-relevanten Effekten getrennt werden.
- Energetische Gebäudeerneuerungen: Eines der Hauptziele des Projekts MISTEE ist die Erfassung des Instandsetzungs- und des energetischen Erneuerungsverhaltens. Dies beinhaltet die Erfassung aller Arten von durchgeführten Renovationsarbeiten und die dahinter steckenden Verhaltensweisen, Motivationen und Treiber. Damit soll namentlich an ähnliche Erhebungen des CEPE der ETH Zürich, von TEP Energy und des Projekts DUREE angeknüpft werden.³ Durch die breitere Anwendung dieser Stichprobenerhebung in möglichst vielen Kantonen kann eine kantonale Differenzierung der Ergebnisse erreicht werden. Aus den abgeleiteten energetischen Erneuerungsanteilen und -raten können zudem können daraus kantonspezifische Energiekennzahlen (EKZ) und Energieträgeranteile abgeleitet werden.

Auf Basis dieser Ausgangslage wurde im Herbst 2019 im Auftrag des BAFU, der EnDK und der KVV dieses Projekt «Kantonale Energiekennzahlen und CO₂-Emissionen im Gebäudebereich» lanciert, um die angesprochenen Verbesserungen umzusetzen. Dieser Bericht beschreibt die weiter entwickelte Methodik und die dabei verwendeten Datengrundlagen sowie die erzielten Zwischen- und Schlussergebnisse einer einmaligen Anwendung der Methodik.⁴ Der Bericht schliesst mit Empfehlungen in Bezug auf die wiederkehrende Anwendung der Methodik im Kontext der Berichterstattung der Emissionen der Kantone im Gebäudebereich.

1.2 Zielsetzung

Das Ziel des Projekts ist die Weiterentwicklung der Methodik zur CO₂-Berichterstattung der Kantone im Gebäudebereich (gemäss CO₂-Verordnung Art. 16, Abs 2b) und die einmalige Anwendung der Methodik im Sinne einer Erprobung. Dabei soll auf der Basis des einleitend erwähnten Ansatzes auf gebäudescharfe Daten des GWR und des GWS sowie auf zu erhebende Daten zu Erneuerungstätigkeit und Energieträgern und auf Daten aus dem GPM von TEP aufgebaut werden. Die Methodik soll so konzipiert und entwickelt werden, dass sie in der Folge regelmässig mit vertretbarem Aufwand angewendet werden kann.

Mit der Weiterentwicklung sollen in folgenden Bereichen spezifische Verbesserungen erzielt werden:

³ Projekt « DUREE – Analyse des durées de vie pour une meilleure gestion des rénovations. », siehe Lasvaux et al. (2019); Jakob M., Martius G., Catenazzi G., Berleth H. (2014); Ott et al. (2013); Banfi S., Farsi M., Jakob M. (2012); Jakob und Jochem (2003).

⁴ Ein Zwischenstand der Methodik diene als Basis für die Berichterstattung der CO₂-Emissionen im Jahr 2020 (für die Jahre 2016 bis 2018), siehe Jakob et al. (2021)

- Verbesserte Vergleichbarkeit der Ergebnisse zwischen den Kantonen, indem Methodik und Datengrundlagen so weit wie möglich harmonisiert werden.
- Erstellen einer konsistenten Zeitreihe bei den Emissionen, den Energieverbräuchen, den Energieträgeranteilen, den Energiekennzahlen und den Energiebezugsflächen.
- Ergänzender Einbezug von neu vorliegenden Daten, um eine kantonale Differenzierung zu ermöglichen.
 - EBF Nicht-Wohngebäude mittels GIS-Verschneidung von STATENT und Swisstopo-Daten
 - A/EBF bzw. A_{th}/A_E basierend auf Auswertungen von Swisstopo
 - Einbezug von Energieträgerinformationen aus dem GWR des BFS (inkl. sogenannte Sekundardaten), bereitgestellt durch das BFS
- Einbezug der mittels Umfrage erhobenen energetischen Erneuerungsaktivität sowie der Heizsystem- und Energieträgeranteile mit folgenden drei Teilzielen, wobei das erste die empirischen Grundlagen für die folgenden darstellt:
 - Erhebung der Erneuerungstätigkeit der Gebäudeeigentümer im Bereich Gebäudehülle und Heizanlagen und Energieträger. Die Erhebung fokussiert auf Wohngebäude. Nicht-Wohngebäude werden ebenfalls mit einbezogen, um die Machbarkeit der Methodik in diesem Bereich explorativ aufzuzeigen.
 - Bestimmung von Instandsetzungs- und energetischen Erneuerungsraten pro Bauteil, differenziert nach verschiedenen Einflussfaktoren (namentlich Kanton, Gebäudetyp, Bauperiode).
 - Berechnung von spezifischen Heizwärmebedarfswerten und energieträgerspezifischen Energiekennzahlen gestützt auf die erhobene energetische Erneuerungsaktivität.
 - Bestimmung der aktuellen Heizsystem- und Energieträgeranteile für die Gebäude der Bauperioden vor 2000, differenziert nach verschiedenen Einflussfaktoren (namentlich Kanton, Gebäudetyp, Bauperiode)
 - Bestimmen von Heizsystem- und Energieträger-Substitutionsraten mit Fokus Öl, Gas und übrigen (für Jahr-zu-Jahr-Veränderungen)
- Klimadaten (ein bis drei Regionen pro Kanton) als Input für die SIA 380/1-Berechnungen.
- Witterungskorrektur (für Jahr-zu-Jahr-Veränderungen).

Mit diesen Zielsetzungen wird gegenüber dem bisherigen Vorgehen (Hartmann und Jakob 2016, 2018) eine weitergehende «Kantonalisierung», namentlich im Bereich Energiekennzahlen und Energieträgermix, erreicht. Zudem eröffnen sich damit wesentlich bessere Möglichkeiten für künftige Modell- und Datenaktualisierungen. Hierbei werden sowohl die Energiekennzahlen als auch die Energieträgerwechsel (indirekt) empirisch abgestützt.

Bei der Weiterentwicklung der Methodik ist darauf zu achten, dass die angestrebte Differenzierung den Belangen der Zielsetzung, der Datenverfügbarkeit und dem Umsetzungsaufwand gerecht wird.

Basierend auf den Erfahrungen der Entwicklungs- und Analysearbeiten sollen Empfehlungen in Bezug auf die wiederkehrende Anwendung der Methodik im Kontext der Berichterstattung der CO₂-Emissionen der Kantone im Gebäudebereich formuliert werden.

1.3 Berichtsstruktur und Lesehilfe

Im Hinblick auf die Entwicklung der eigentlichen Methodik zur Berechnung von kantonalen EKZ und CO₂-Emissionen werden zunächst methodische Vorüberlegungen durchgeführt (Kap. 2). Gemessen am dabei festgestellten Datenbedarf werden grundsätzlich verfügbare Datenquellen identifiziert, zugänglich gemacht (oder erhoben) und bzgl. ihrer Qualität und Differenziertheit analysiert (Kap. 3). Auf der Grundlage dieser beiden Kap. werden Datenflüsse und Differenziertheit für die eigentlichen Berechnungen festgelegt und beschrieben (Kap. 4). In der Folge wird die Methodik angewendet und exemplarische Ergebnisse werden dargestellt und interpretiert (Kap. 5). Der Bericht schliesst mit einem Fazit und Empfehlungen für das weitere Vorgehen (Kap. 6).

2 Methodische Grundlagen und Vorüberlegungen

2.1 Einleitung

Wie bereits bei der vereinfachten Methodik für die Berichterstattung für das Jahr 2016 gemäss Hartmann und Jakob (2018, 2016) stützt sich auch die nachfolgend erläuterte Methodik weitgehend auf Berechnungen ab. Dass zur Ableitung der CO₂-Emissionen Berechnungen und nicht gemessene Energieverbräuche zur Anwendung kommen, liegt im Umstand begründet, dass eine teilweise oder vollständige Erhebung solcher Daten als zu aufwändig erachtet wird (siehe Jakob et al. 2015 für eine ausführlichen Bewertung verschiedener Methoden in Bezug auf Vorgehen, Voraussetzungen, Nutzen und Aufwand).

Bei den Berechnungen wird ein sogenannter Bottom-up Ansatz verfolgt, bei dem spezifische Kennwerte wie Energiebedarf- und verbrauch, Personenbelegung und CO₂-Emissionen pro m² oder pro Person mit einem sogenannten Mengengerüst verknüpft werden. Im vorliegenden Fall handelt es sich beim Mengengerüst um Energiebezugsflächen. Entsprechend umfasst ein solcher Bottom-up Ansatz folgende Hauptelemente:

1. Berechnung der spezifischen Kennwerte
2. Bestimmung des Mengengerüsts
3. Verknüpfung des Mengengerüsts mit den spezifischen Kennwerten

Sowohl spezifische Kennwerte als auch Mengengerüst werden gemäss verschiedenen Merkmalen differenziert. Die entsprechenden Grössen kann man sich demzufolge als Matrizen mit verschiedenen Dimensionen vorstellen, wobei jede Dimension ein Merkmal abbildet. Vereinfacht ausgedrückt bedeutet eine Verknüpfung (Schritt 3) konkret, dass die spezifischen Kennwerte und das Mengengerüst miteinander ausmultipliziert werden.

Die konkrete Umsetzung des Ansatzes hängt ab von der angestrebten Zielsetzung, d.h. des beabsichtigten Verwendungszwecks der Ergebnisse und damit verbunden der gewünschten Differenzierung sowie der tolerierten Bandbreiten bei den Unsicherheiten sowie von der Datenverfügbarkeit und der Datenlage, namentlich in Bezug auf eine adäquate Differenzierung. Weil auch Überlegungen zu Umsetzbarkeit und Aufwand zu berücksichtigen sind, beeinflussen sich Zielsetzung, Datenlage und konkrete Umsetzung gegenseitig und häufig ist eine iterative Annäherung erforderlich. Dies ist auch vorliegend der Fall.

Zunächst wird nachfolgend auf den Berechnungsansatz zur Bestimmung der spezifischen Kennwerte (Kap. 2.2) und des Mengengerüsts (2.3) eingegangen. Abschliessend wird in Kap. 2.4 auf die Verknüpfung von Mengengerüst und spezifischen Kennwerten eingegangen. Basierend darauf wird der potenzielle Datenbedarf abgeleitet (Kap. 2.5).

2.2 Berechnungsansatz zur Bestimmung der spezifischen Kennwerte

Eine Berechnung der CO₂-Emissionen kann für ein einzelnes Gebäude im einfachen Fall, bei dem nur ein Energieträger zum Einsatz kommt, wie folgt erfolgen:

$$CO_2\text{-Emissionen} = \text{Bezugsgrösse} * \text{Energiekennzahl} * CO_2\text{-Emissionsfaktor} \quad (1a)$$

Als Bezugsgrösse dient die Energiebezugsfläche (*EBF*) und als Energiekennzahl (*EKZ*) der (ungewichtete⁵) Endenergieverbrauch pro Energiebezugsfläche. Bezüglich CO₂-Emissionen sind die fossilen Energieträger Öl und Gas relevant. Hierbei kommen die CO₂-Emissionsfaktoren (*CO₂-EF*) des BAFU zur Anwendung, wobei die direkten Emissionen berücksichtigt werden (BAFU, 2019).

$$CO_2\text{-Emissionen} = EBF * EKZ * CO_2\text{-EF} \quad (1b)$$

Wenn weder die *EKZ* noch der Energieverbrauch bekannt sind, wird die *EKZ* berechnet und zwar aufgrund des Bedarfs an Nutzenergie (*NE*) und des Jahresnutzungsgrads (*JNG'*). Die *EKZ* ist in diesem Fall wie folgt definiert:

$$EKZ = NE / JNG' \quad (2a)$$

Hierbei wird die *NE* gemäss der Norm SIA 380/1 berechnet und zwar separat für die Verwendungszwecke (*VZ*) Raumwärme (*Q_H*) und Warmwasser (*Q_W*). Der Heizwärmebedarf *Q_H* hängt von den Transmissionsverlusten und -gewinnen durch die Gebäudehülle (*U*-Werte, *g*-Werte, Flächen der Bauteile *A_i* der Gebäudehülle), den thermischen Lüftungsverlusten *Q_V* sowie den externen Wärmegegewinnen *Q_S* (Solarstrahlung) und den internen Wärmegegewinnen *Q_i* und dem Ausnutzungsgrad *η_g* ab. Der Jahreswert ergibt sich durch Aufsummieren der einzeln berechneten Monatswerte über alle 12 Monate *M* des Jahres, siehe Gleichung (2b).

$$Q_H = \sum_M [Q_V + Q_T - \eta_g \cdot (Q_i + Q_s)] \quad (2b)$$

Der Wärmebedarf für Warmwasser (*Q_W*) ergibt sich aus den Standardnutzungswerten gemäss SIA 380/1 (Tabelle 27), wobei die Werte mit der effektiven Personenbelegung skaliert werden (siehe Abschnitt 4.4.1).

Um den Unterschieden in zahlreichen nationalen Studien und wissenschaftlichen Veröffentlichungen zwischen derart berechneten *EKZ* und auf Messungen beruhenden *EKZ* Rechnung zu tragen, können die Berechnungsparameter von der Norm abweichend angepasst werden, um eine bessere Übereinstimmung zu erzielen. Damit wird der sogenannte Energy Performance Gap (*EPG*) berücksichtigt.

$$EKZ_{VZ} = NE^*_{VZ} / JNG'_{VZ} \quad (3)$$

Im Folgenden bedeutet ein Stern (*) wie in Gleichung (3), dass von den Berechnungsverfahren und den Berechnungsparametern abgewichen wird, um den *EPG* zu berücksichtigen. Die Notationen sind entsprechend *Q^{*}_H* für Raumwärme und *Q^{*}_W* für Warmwasser.

Die oben stehend dargelegten Berechnungen zur Bestimmung der spezifischen Kennwerte sind grundsätzlich für alle Gebäude des zu betrachtenden Gebäudeparks durchzuführen, wobei dies je nach methodischem Ansatz für Repräsentanten oder Gruppen (Segmenten) von Gebäuden (sog. Kohorten) erfolgen kann. Das Mengengerüst ist entsprechend zu differenzieren (siehe folgender Abschnitt 2.3) und anschliessend sind spezifische Berechnungen und Mengengerüst miteinander zu verknüpfen (siehe Abschnitt 2.4).

⁵ Gemäss SIA 380:2015 ist bei der *EKZ* der Endenergiebedarf je nach Energieträger zu gewichten. In diesem Bericht hat die *EKZ* die Funktion, die CO₂-Emissionen zu berechnen, weshalb eine solche Gewichtung nicht zielführend ist.

2.3 Bestimmung des Mengengerüsts

Das zweite wichtige Element bei einem Bottom-up-Ansatz ist die Bestimmung des sogenannten Mengengerüsts. Vorliegend handelt es sich um die Energiebezugsfläche der Gebäude sowie um die Personen, welche die Gebäude nutzen. Hierbei sind drei Aspekte zu berücksichtigen:

- Definition Systemgrenze
- Quantifizierung
- Differenzierung

Auf diese Aspekte wird nachfolgend näher eingegangen.

DEFINITION SYSTEMGRENZE

Die Berechnung der CO₂-Emissionen und damit des Mengengerüsts deckt die Sektoren Wohnen und Dienstleistungen ab. Bei der EBF betrifft dies die Wohn-EBF und die Nicht-Wohn-EBF des Dienstleistungssektors, bei den Personen die Bewohner von Privathaushalten und die Beschäftigten des Dienstleistungssektors der Branchen mit den zweistelligen NOGA-Codes 45 bis 96).

Die Wohn-EBF umfasst die EBF von reinen Wohngebäuden sowie die dem Sektor Wohnen zuzuordnenden Flächenanteile von Wohngebäuden mit weiteren Nutzungen. Zudem innerhalb der Systemgrenze ist die Wohn-EBF in Gebäuden, bei denen der Flächenanteil des Wohnens geringer ist als der Nicht-Wohnanteil. Ebenfalls dem Wohnsektor zugerechnet werden vorübergehend leere oder teilweise genutzte Wohnungen (namentlich Ferienwohnungen). Nicht dem Wohnsektor zugerechnet werden jedoch sog. «Kollektivhaushalte» wie z.B. Heime.

Bei der Nicht-Wohn-EBF werden also sämtliche Energiebezugsflächen Dienstleistungssektors berücksichtigt. Bei Nicht-Wohngebäuden, die aufgrund der Gebäudeklasse eindeutig diesem Sektor zuzuordnen ist, wird die gesamte EBF berücksichtigt. Bei gemischt genutzten Gebäuden werden die Flächen des Industrie- und Landwirtschaftssektors von den Berechnungen ausgeschlossen sind. Konkret wird wie folgt vorgegangen: In gemischt genutzten Gebäuden werden die Flächen der Sektoren Industrie und Landwirtschaft gemäss den Flächenanteilen der Beschäftigten abgezogen. Gebäude, die gemäss Gebäudeklasse dem Industrie- und Landwirtschaftssektors zuzuordnen sind, werden nicht berücksichtigt, wenn sich darin weder Wohnfläche noch Beschäftigte des Dienstleistungssektors befinden.

QUANTIFIZIERUNG

Die Anzahl Personen (Einwohner und Beschäftigte) ist pro Kanton aus statistischen Grundlagen des Bundesamts für Statistik (BFS) bekannt. Hierbei wird der Bereich Wohnen durch die Gebäude- und Wohnungsstatistik Schweiz (GWS) abgedeckt und der Bereich Nicht-Wohnen durch STATENT (BFS, 2016, 2019).

Über die Energiebezugsflächen sind jedoch keine vergleichbaren Datengrundlagen verfügbar. Die EBF sind demzufolge zu berechnen. Hierbei ist zwischen den Bereichen Wohnen und Nicht-Wohnen zu unterscheiden (wobei letzterer in diesem Bericht vereinbarungsgemäss den Dienstleistungssektor umfasst).

Die EBF des Bereichs Wohnen wird grundsätzlich ausgehend von der Wohnfläche gemäss Gebäude- und Wohnungsstatistik (GWS) berechnet. Dabei wird die Wohnfläche pro Gebäude gemäss Gleichung (4) mit einem Skalierungsfaktor multipliziert

$$EBF_{Wohnen,EGID} = \text{Wohnfläche}_{EGID} * \text{Skalierungsfaktor}_M \quad (4)$$

Der Skalierungsfaktor hängt von verschiedenen Gebäudemerkmalen (M) ab, die in der GWS verfügbar sind (Details siehe unten und in Kap. 3.2 bzw. 3.2.1).

Die Nicht-Wohn-EBF des Dienstleistungssektors kann grundsätzlich mit einem ähnlichen Ansatz über die Bruttogeschossfläche (BGF) oder über die Geschossfläche (GF) bestimmt werden. Diese beiden Flächenmasse sind als solche nicht direkt verfügbar, könnten aber angenähert werden. Als Datengrundlage dienen hauptsächlich das 3D-Modell von swisstopo sowie das GWR (für die Grundfläche und die Anzahl Stockwerke). Mit einem spezifischen Verfahren kann die oberirdisch sichtbare Geschossfläche ermittelt werden (siehe Kap. 3.2). Diese umfasst jeweils den gesamten Baukörper, also u.U. mehr als 1 Gebäude gemäss Definition des GWR und sowohl Wohn- als auch Nicht-Wohnflächen. Dies bedeutet, dass für die Bestimmung der Nicht-Wohn-EBF die EBF des Wohnteils (siehe Gleichung 8) in Abzug zu bringen ist.

Ein Teil der Gebäude und Flächen ist nicht durch das 3D-Modell abgedeckt, z.B. weil es sich um neuere Gebäude handelt (die Daten des 3D-Modells basieren auf Überflügen, welche nur alle sechs Jahre durchgeführt werden). Diese Flächen werden durch beschäftigungsspezifische Flächenkennwerte angenähert (Details siehe unten und in Kap. 3.2 bzw. 3.2.2).

DIFFERENZIERUNG

Wenn die Datenlage für eine gebäudescharfe Betrachtung nicht ausreichend ist, kann entweder ein sogenannter Repräsentantenansatz oder ein sogenannter Kohortenansatz verfolgt werden. Im Fall des Kohortenansatzes handelt es sich um Gruppen (Kohorten) von Gebäuden, die so gebildet werden, dass sie in sich möglichst homogen sind. Eine Kohorte umfasst also entsprechend alle Gebäude einer bestimmten Gebäudekategorie (oder -klasse), einer bestimmten Bauperiode, eines bestimmten energetischen Erneuerungszustands mit einer bestimmten Heizenergieversorgung etc.

Aufgrund der historischen Entwicklung und der Heterogenität des Gebäudeparks hängen die in Tabelle 1 genannten Daten sowie die Daten des Mengengerüsts von verschiedenen Einflussfaktoren ab. Das Mengengerüst ist entsprechend sachgerecht und gemäss den Anforderungen der Zielsetzung zu differenzieren. Mit Verweis auf die langjährige Modellierungserfahrung durch TEP Energy und auf Tabelle 1 stehen folgende Einflussfaktoren und Attribute, nach welchen das Mengengerüst zu differenzieren ist, im Vordergrund:

- Gebäudekategorie, -klasse etc.
- Nutzung (Wohnen, Nicht-Wohnen)
- Bauperiode
- Energetischer Erneuerungsstatus (pro Bauteil), abhängig vom Erneuerungsjahr
- Heiz- und Warmwassersystem (separat oder ganz oder teilweise kombiniert)
- Energieträger
- Standortkanton
- Klimaregion (für Gebäudestandort relevante Klimastation)

Aufgrund des unterschiedlichen Datenbedarfs erfolgt diese Differenzierung einmal als Grundlage für den VZ Raumheizung und einmal für den VZ Warmwasser. Eine Differenzierung des Mengengerüsts bedeutet konkret, dass die entsprechenden Grössen, vorliegend v.a. die EBF,

aufzuteilen sind, entweder absolut oder anteilmässig (was algebraisch ineinander überführt werden kann). Diese Differenzierung kann entweder für jeden Einflussfaktor separat erfolgen oder kaskadisch im Sinne einer mehrdimensionalen Matrix. In der Tat sind einige der genannten Einflussfaktoren voneinander abhängig (z.B. die Heizsystemanteile von der Bauperiode), jedoch nicht alle. In welchem Umfang und in welcher Art die Daten des Mengengerüsts und der spezifischen Berechnungen zu differenzieren sind, wird u.a. mit Bezug auf die erwähnten Voranalysen der Datengrundlagen evaluiert (Kap. 3).

2.4 Verknüpfung von Mengengerüst und spezifischen Kennwerten

Die Verknüpfung von Mengengerüst und spezifischen Kennwerten wird der einfacheren Nachvollziehbarkeit zunächst für ein Gebäude beschrieben (2.4.1), bevor dann auch die Verknüpfung auf Ebene Gebäudepark eingegangen wird.

2.4.1 Ebene einzelnes Gebäude

Bei einem Gebäude, bei dem verschiedene Systeme für die Bereitstellung von Raumwärme (RW) und Warmwasser (WW) zur Anwendung kommen und/oder bei den eingesetzten Systemen verschiedene Energieträger (ET), berechnen sich die CO₂-Emissionen wie folgt:

$$CO_2 = EBF * \sum_{VZ,ET}(TeilEKZ_{VZ,ET} * Emissionsfaktor_{ET}) \quad (5)$$

Bei einem System mit mehr als einem Energieträger ist die Teil-Energiekennzahl *TeilEKZ* durch den Verbrauch des entsprechenden Energieträgers durch die Energiebezugsfläche definiert. Für die weiteren Berechnungen wird ein Energieträgeranteil (*EA*) wie folgt definiert. Dieser Anteil bezieht sich auf den Anteil der Nutzenergie (NE), welcher der entsprechende Energieträger bereitstellt (also nicht auf den Verbrauch). Entsprechend gilt, je für die beiden VZ Raumwärme und Warmwasser separat:

$$\sum_{ET} EA_{ET,VZ} = 1 \quad (6)$$

Dieser Energieträgeranteil ist insbesondere relevant für Wärmepumpensysteme sowie für Heiz- und/oder Warmwassersysteme mit mehr als einem Energieträger, z.B. Öl-, Gas- oder Holzheizungen mit Solarenergie⁶ oder andere bivalente Systeme. Die Teil-Energiekennzahl für einen bestimmten Verwendungszweck *TeilEKZ_{VZ}* ergibt sich demzufolge wie folgt:

$$TeilEKZ_{VZ} = EA_{ET,VZ} * NE_{VZ} / JNG'_{ET,VZ} \quad (7a)$$

In Abweichung zu den üblichen Definitionen wird bei den Wärmepumpen (WP) der JNG' in Gleichung (7a) als 1 definiert, womit sich die EA für die beiden Energieträger Elektrizität⁷ (EL) und Umweltwärme (UW) und aus dem JNG gemäss üblicher Definition wie folgt ergibt:

$$EA_{EL} = 1 / JNG \quad (7b)$$

$$EA_{UW} = 1 - 1 / JNG = (JNG - 1) / JNG \quad (7c)$$

⁶ Mit Solarenergie ist die thermische Solarenergie gemeint, denn die Elektrizität aus Photovoltaikanlagen wird in der Regel nicht (nur) in Heizungen und/oder für die Warmwassererzeugung direkt verwendet, sondern auch für andere Stromanwendungen (Eigenverbrauch) und wird teilweise ins Netz zurückgespeist. In Energiestatistiken wird PV-Strom nicht als Endenergieträger gewertet (sondern der Erzeugungsseite zugeordnet).

⁷ Weitere mögliche hochwertige Energieträger wie Gas, Biogas, Heizöl oder Diesel werden bei dieser Methodik aus Gründen der geringen quantitativen Relevanz nicht berücksichtigt.

Pro Verwendungszweck werden nachfolgend in der Regel zwei ET berücksichtigt (z.B. Öl und Solar). Eine Ausnahme bilden WP, wenn sie mit einem weiteren Energieträger eingesetzt werden (was bis dato eher selten ist); in diesem Fall kämen drei ET zur Anwendung (Elektrizität, Umweltwärme und der weitere Energieträger).

Bezugnehmend auf die oben stehenden Notationen und das Abkürzungsverzeichnis ergeben sich die CO₂-Emissionen eines Gebäudes wie folgt:

$$CO_2 = EBF * \sum_{VZ,ET} (EA_{ET,VZ} * NE_{VZ} / JNG_{ET,VZ} * Emissionsfaktor_{ET}) \quad (8)$$

2.4.2 Ebene Gebäudepark

Die CO₂-Emissionen des Gebäudebestands eines Kantons ergeben sich grundsätzlich durch eine Summation der CO₂-Emissionen aller Gebäude auf dem Kantonsgebiet (Kantonsindex hier abstrahiert).

$$CO_2 = \sum_{EGID,ET} (EBF_{EGID} * EKZ_{EGID} * Energieträgeranteil_{EGID,ET} * Emissionsfaktor_{ET}) \quad (9)$$

Dabei steht *EGID* für den Eidgenössischer Gebäudeidentifikator und die Variable *Energieträgeranteil_{ET}* stellt den nutzenergiespezifischen Anteil des Energieträgers ET am jeweiligen Heizsystem des Gebäudes (in %) dar (Erläuterung siehe Abschnitt 2.2).

Weil die Faktoren der o.g. Gleichungen nicht für jedes Gebäude im Einzelnen bekannt sind, erfolgt die Verknüpfung des Mengengerüsts mit den spezifischen Kennwerten je nach Ansatz auf Ebene von Repräsentanten oder auf Ebene von Kohorten. Der Repräsentantenansatz wurde bei der Berichterstattung des Jahres 2020 für die Emissionen von 2016 bis 2018 angewandt (siehe Zwischenbericht Jakob et al. 2021 vom April 2020). Aufgrund von der Ebene von Kohorten.

Die für die CO₂-Berichterstattung angewandte Methodik für die Berechnung der CO₂-Emissionen im Gebäudebereich für einen bestimmten Kanton basiert, abstrakt und vereinfacht formuliert, auf dem folgenden Ansatz:

$$CO_2 = \sum_{Mi,ET} (EBF_{M1} * EKZ_{M2,ET} * Energiesystemanteil_{HWS,M3} * Energieträgeranteil_{M4,ET} * Emissionsfaktor_{ET}) \quad (10)$$

Dabei steht *Energiesystemanteil* für den flächenbezogenen Anteil der verschiedenen Heizungs- und/oder Warmwassersysteme (*HWS*) im jeweiligen Segment (Kohorte) des Gebäudeparks. *Energieträgeranteil* charakterisiert den nutzenergiebezogenen Anteil der verschiedenen Energieträger am jeweiligen Heizungs- und/oder Warmwassersystem (siehe Gleichungen). *Mi* (*M1* bis *M4*) kennzeichnen eine Serie von Gebäudemerkmalen, mit welchen verschiedene Segmente (Kohorten) des Gebäudeparks definiert werden. Je nach Datenlage enthalten die Indizes *M1* bis *M4* eines oder mehrere der bereits oben erwähnten Attribute: Kanton, Bauperiode und/oder, Gebäudetyp⁸.

⁸ Gebäudetyp ist ein Sammelbegriff für die in diesem Bericht angewandte Kombination von Gebäudesektor (EFH, MFH, Nichtwohngebäude), Gebäudekategorie (GKAT) und Gebäudeklasse (GKALS), siehe Tabelle 8 und Tabelle 24 im Anhang.

2.5 Abgeleiteter Datenbedarf

Der erforderliche Datenbedarf für die Berechnung der spezifischen CO₂-Emissionen eines Gebäudes und damit sinngemäss für die Kohorten eines Kohortenmodells lässt sich aus den oben ausgeführten Überlegungen und Formeln ableiten und ist zusammengefasst in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1 Datenbedarf (quantitative Grössen, Attribute) zur Berechnung der CO₂-Emissionen eines Gebäudes sowie von Kohorten von Gebäuden

Mengengerüst
EBF
Anzahl Personen
Spezifische Nutzenergie (normativ) Q_H und Q_W
Geometrie (Flächenverhältnis der thermischen Gebäudehüllenelemente zur EBF)
Bau- und energietechnische Kennwerte der thermischen Gebäudehüllenelemente (U-Werte und g-Werte)
Nutzungsdaten gemäss SIA 380/1 (Personenbelegung, interne Wärmelasten durch Geräte, Raumtemperaturen, Luftwechsel etc.)
Weitere Parameter wie z.B. Verschattung und Sonnenschutz Einsatz
Klimadaten
EKZ (inkl. EPG)
Von der Norm abweichende Parameter zu Berücksichtigung des EPG
Nutzungsgrade
Witterung
Heizsystem, Energieträger und Emissionen
Art des Systems zur Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser (ganzjährig gekoppelt, saisonal gekoppelt, ganzjährig getrennt) und ihre Anteile
Eingesetzte Heiz- und Warmwassersysteme und ihre Energieträger und ihre Anteile
CO ₂ -Emissionsfaktor

Ein Teil dieser Daten ist für den Gebäudepark der Kantone nicht verfügbar und ein Teil davon lässt sich realistischere auch nicht direkt erheben, so dass diese Daten indirekt erhoben und/oder bestimmt werden müssen. Dies betrifft insbesondere die - und energietechnischen Kennwerte der Gebäudehülle. Darauf wird in den nächsten Kapiteln näher eingegangen.

3 Vorbereitende Datenanalysen und Datenbedarf

Im Hinblick auf die Entwicklung der eigentlichen Berechnungsmethodik und auf die Festlegung einer zielführenden Differenzierung werden in diesem Kap. 3 zunächst vorbereitende Datenanalysen durchgeführt, welche eine Basis und Entscheidungsgrundlage für die in Kap. 4 beschriebene Methodik bilden.

3.1 Potenziell verfügbare Datengrundlagen (Übersicht)

In Tabelle 2 ist dargestellt, welche Datenquellen für die Berechnung der einzelnen Faktoren grundsätzlich zur Verfügung stehen könnten. Hieraus wird ersichtlich, dass bei den wichtigen Faktoren EBF und Gebäudeform gebäudescharfe Datenquellen zur Anwendung vorliegen, und dass bei anderen Faktoren wie z.B. bei den Energieträgeranteilen und bei den energetischen Gebäudeerneuerungen nur eine gröbere Differenzierung möglich ist.

Tabelle 2 Mögliche Datenquellen für die verschiedenen Einflussfaktoren und mögliche Differenzierung der Merkmale (M). Tatsächlich verwendete Differenzierung siehe Kap. 4

Bereich	Datenquellen, mögliche Differenzierung der Merkmale
Mengengerüst (EBF)	
Wohnen	Wohnfläche aus GWS
Nicht-Wohnen	Auswertung EBF/Beschäftigte (BFE-Erhebung), bzw. gemäss STATENT und 3D Modell von Swisstopo ergänzt mit Auswertung des 3D Modells von Swisstopo Beschäftigte, pro Arbeitsstätte, Branchengruppe (STATENT)
EKZ-Einflussfaktoren	
A/EBF pro Bauteil	3D Modell von Swisstopo pro Gebäude (Datengrundlage) bzw. pro Dachtyp und grobe Bauperiode (Modellinput)
U-Werte und g-Werte	Pro Bauperiode (Neubau), pro Erneuerungssperiode und pro Bauteil gemäss kantonalen Massnahmen
Erneuerte Anteile Bauteilflächen	Erhebung Erneuerungsarbeiten für die verschiedenen Bauteile (pro Erneuerungsperiode, pro Kanton, Gebäudesektor, Bauperiode) Ergänzende Annahmen
Nutzungsgrade	GPM, pro Heizsystem/Energieträger und Bauperiode
Belegung	GWR (auf Basis von Daten der Einwohnerbehörden), pro EGID
Klimadaten	40 SIA-Stationen, den Kanton anteilig zugeordnet als Funktion der Einwohnerverteilung, der Standorte und der Höhenlage
Anteile Heiz- und Warmwassersysteme	
Wohngebäude	GWR/GWS (neue BP), Erhebung 2019/2020
Nicht-Wohngebäude	GWR/GWS (neue BP), Erhebung 2019/2020
Eichung, Validierung	
	BFE-Gesamtenergiestatistik: Energieverbrauch der Sektoren Haushalte und Dienstleistungen (DL) BFE-«Energieverbrauchserhebung Industrie und Dienstleistungen»: Verbrauch pro Branche

In den nachfolgenden Kapiteln wird auf verschiedene Voranalysen und Datengrundlagen näher eingegangen.

3.2 Mengengerüst

3.2.1 Wohnen

Der Bereich Wohnen setzt sich aus permanent besetzten Wohnnutzungen sowie aus Ferienhäusern und -wohnungen zusammen. Letztere zeichnen sich durch eine geringere zeitliche Nutzungsintensität und damit durch einen vergleichsweise geringeren Energieverbrauch aus.

Die EBF des Bereichs Wohnen wird grundsätzlich ausgehend von der Wohnungsfläche gemäss Gebäude- und Wohnungsstatistik (GWS) berechnet. Dabei wird die Wohnungsfläche pro Gebäude gemäss Gleichung (11) skaliert.

$$EBF_{\text{Wohnen}_M} = \text{Wohnfläche}_M * \text{Skalierungsfaktor}_G * \text{Skalierungsfaktor}_M \quad (11)$$

Die Skalierung erfolgt in zwei Schritten, und zwar mit einem generischen und einem spezifischen Skalierungsfaktor:

- 1 Generische Skalierungsfaktoren gemäss bisheriger Methodik (Hartmann und Jakob 2016), um damit die Referenz-Wohn-EBF zu berechnen.
- 2 Berücksichtigung von weiteren Merkmalen, die das Verhältnis GF zu Wohnfläche bestimmen.

Mit den generischen Skalierungsfaktoren wird die Referenz-Wohn-EBF, d.h. das grundsätzliche Niveau der Wohn-EBF, bestimmt.⁹ Dabei kommen die Faktoren gemäss bisheriger Methodik (Hartmann und Jakob 2016) zur Anwendung: 1.3 für EFH (GKAT 1021 gemäss GWR-Merkmalenkatalog 3.7)¹⁰ und 1.25 für MFH und andere Gebäude mit Wohnnutzung (GKAT 1025, 1030 und 1040).

In Erweiterung der bisherigen Methodik wird untersucht, ob und wie Verhältnis GF zu Wohnfläche von weiteren Merkmalen M abhängt. Zu diesem Zweck wird das 3D-Modell von swisstopo mit der Gebäude- und Wohnungsstatistik (GWS) verschnitten. Die Wohnungsfläche pro EGID wird der GWS entnommen. Die Geschossfläche (GF), welche in diesem Verfahren als Hilfsgrösse dient, wird mittels geometrischer Verfahren im GIS mit den folgenden drei Schritten berechnet (siehe Abbildung 1 für eine exemplarische Illustration):

- 1 Berechnung der GF des Erdgeschosses
- 2 Berechnung der GF der oberen Geschosse, falls sie aufgrund der Gebäudeform eine kleinere Fläche aufweisen.
- 3 Bestimmung, ob das Dachgeschoss ausgebaut ist oder nicht (abhängig von der Höhe und der Form des Dachbereichs)

⁹ Weil im Rahmen dieses Projekts keine Auswertungen des Verhältnisses Wohn-EBF zu Wohnungsfläche möglich war, wird mit diesem Ansatz die Konsistenz zur bisherigen Berechnung sichergestellt, was das Niveau betrifft.

¹⁰ Mit dem Attribut GKLAS können EFH (GKAT 1025, MFH (GKAT 1030: reine Wohngebäude und Wohngebäude mit anderer Nutzung zusammen) und andere Gebäude mit Wohnungen (GKAT 1040) unterschieden werden. Damit wird im GPM die bisherige GKAT restituiert und an ECOSPEED Immo geliefert. Anzumerken ist hierzu, dass die Datenqualität diesbezüglich mit Vorsicht zu geniessen; zwischen verschiedenen Datenständen des GWR sind nicht erklärbare Unterschiede in Bezug auf das Attribute GKAT festzustellen.

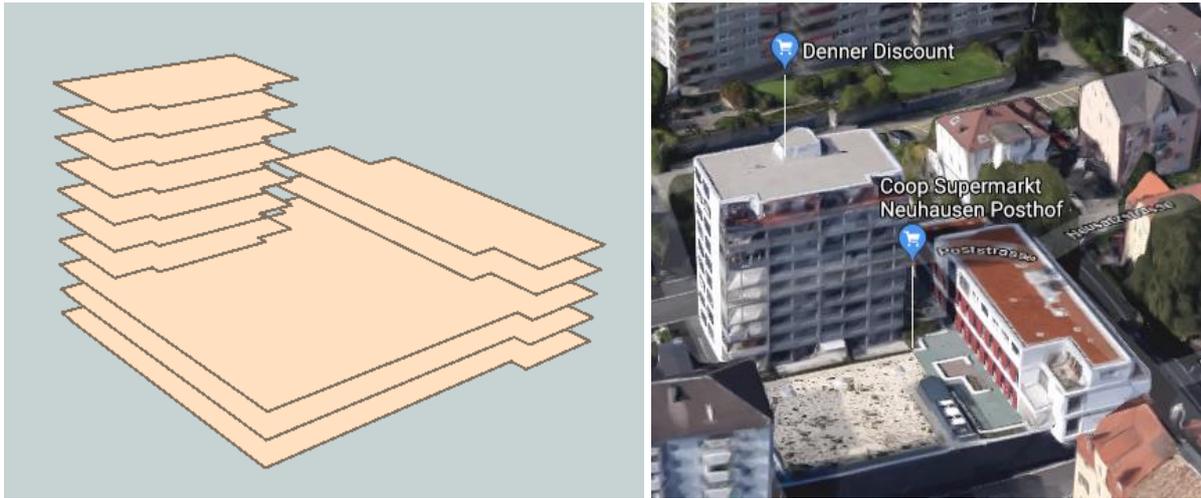


Abbildung 1 Beispiel des geometrischen Verfahrens zur Bestimmung der GF anhand des 3D-Modells von Swisstopo.

Die so erhaltenen Daten werden mittels eines multiplen Regressionsmodells ausgewertet, um den Einfluss der wichtigsten Gebäudemerkmale Wohnfläche, Gebäudetyp und Bauperiode auf die GF zu ermitteln. Am Ende wird die GF skaliert, um die im ersten Schritt berechnete Referenz-Wohn-EBF zu erhalten.

Im Ergebnis zeigt sich, dass das beste Modell die Merkmale Gebäudetyp (hier zusammengefasst in EFH und MFH/andere) und Bauperiode umfasst und dass der Kantonsstandort im Regressionsmodell keine wesentliche zusätzliche Erklärung bietet. Dies bedeutet, dass die Unterschiede zwischen den Kantonen im Wesentlichen auf die Merkmale Gebäudetyp und Bauperiode zurückgeführt werden können (siehe Abbildung 2).

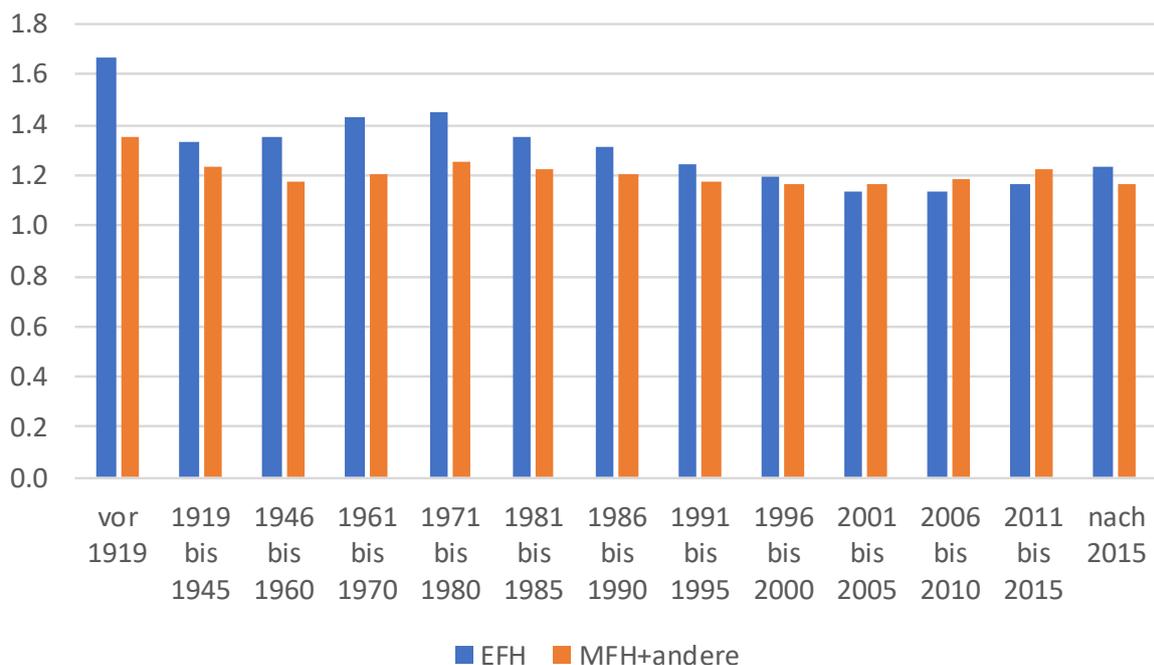


Abbildung 2 Skalierungsfaktor zwischen Wohnfläche und EBF nach Gebäudekategorie (Einfamilienhäuser in Blau, restliche Gebäude in Orange) und nach Bauperiode.

Der Information halber wird nachfolgend das resultierende (aggregierte) Verhältnis zwischen Wohn-EBF zu Wohnfläche pro Kanton angegeben. Aufgrund der zwischen den Kantonen unterschiedlichen Struktur des Gebäudebestands bzgl. der Attribute Gebäudekategorie und Bauperiode ergeben sich die folgenden Unterschiede zwischen den Kantonen (Abbildung 3).

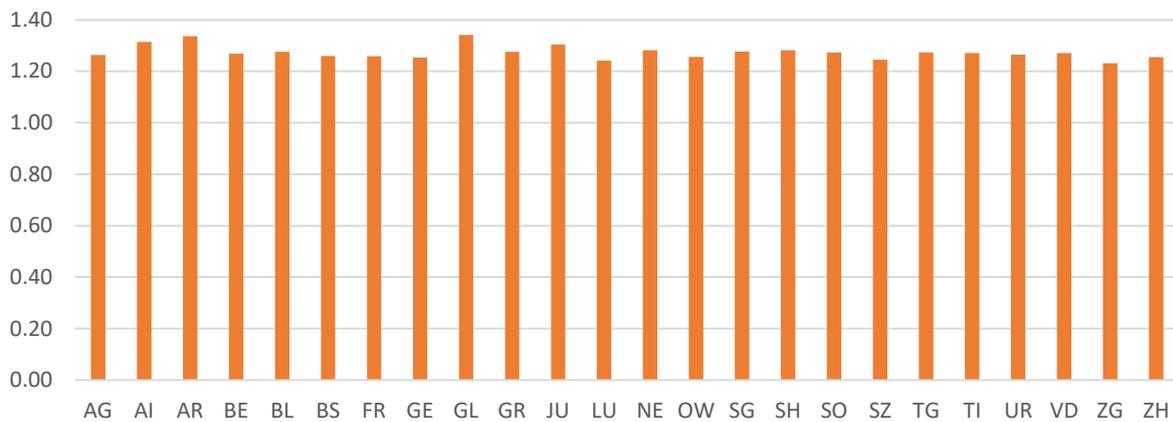


Abbildung 3 Gewichteter durchschnittlicher Skalierungsfaktor über Bauperioden und Gebäudetypen mit Wohnnutzung zwischen Wohn-EBF und Wohnfläche nach Kanton

3.2.2 Nicht-Wohnen

Die Nicht-Wohn-EBF des Dienstleistungssektors (ohne und mit zusätzlicher Wohnnutzung) in Nicht-Wohngebäuden und in Wohngebäuden mit Zusatznutzung wird die EBF wie folgt berechnet:

- Die GF pro Gebäude wird aus dem 3D-Modell gemäss oben beschriebenem geometrischen Verfahren berechnet (Text oberhalb Abbildung 1).
- Die EBF pro Gebäude wird mittels einem GF-zu-EBF Faktor bestimmt. Dieser Faktor wurde anhand einer Analyse der reinen Wohngebäude bestimmt. Der resultierende Faktor 0.83 wird für alle Gebäudetypen angewandt.
- Die Wohn-EBF wird, wo vorhanden, von der Gesamt-EBF abgezogen, um schliesslich die Nicht-Wohn-EBF zu erhalten.

Bei gewissen Gebäuden fehlen Daten aus dem 3D-Modell. Betroffen sind ca. 20% der Gebäude im Nicht-Wohn-Bereich (ohne Sektoren Industrie- und Landwirtschaft). In diesen Fällen wird die Fläche mittels der Anzahl Beschäftigten pro Standort und Kennwerten Fläche pro Beschäftigten bestimmt. Dazu wird wie folgt vorgegangen:

- Flächenkennwerte pro Anzahl Vollzeitäquivalente, differenziert nach Branchengruppe, werden mittels eines multiplen Regressionsmodells bestimmt, mit dem die Gebäudefläche pro Arbeitsstätte mit den Beschäftigten pro Arbeitsstätte korreliert werden, dies basierend auf folgenden Datengrundlagen:
 - Als Grundlage für die Regressionsanalyse dienen die Anzahl Vollzeitäquivalente pro Branchengruppe und Standort gemäss STATENT (georeferenziert) für diejenigen Gebäude, bei denen Daten aus dem 3D-Modell vorhanden sind.

- Die Anzahl Vollzeitäquivalente (VZä) pro Gebäude werden bestimmt, indem die georeferenzierten Standorte aus dem STATENT dem GWR zugeordnet werden (Abbildung 4). Die VZä werden nach den Branchengruppen gemäss Abbildung 5 differenziert.
- Die Nicht-Wohn-EBF für die fehlenden Gebäuden wird berechnet, indem die mit dem Regressionsmodell erhaltenen Flächenkennwerte (siehe Abbildung 5) mit den Vollzeitäquivalenten pro Gebäude multipliziert werden

Wo mehrere Gebäude in der Unternehmensstatistik zu einer einzigen Arbeitsstätte gehören, wird gegenwärtig nur das Hauptgebäude berücksichtigt. Das kommt z.B. in der Gesundheitsbranche vor, wo zwar mehrere Spitalgebäude auf einem Areal vorliegen, in der Arbeitsstatistik jedoch das Spital als eine Arbeitsstätte erfasst wird. In diesen Fällen wird mit der gegenwärtigen Methodik die EBF unterschätzt. Eine Quantifizierung dieser Fälle und Korrektur der EBF kann ab der nächsten Berechnungsperiode (2022) vorgenommen werden.

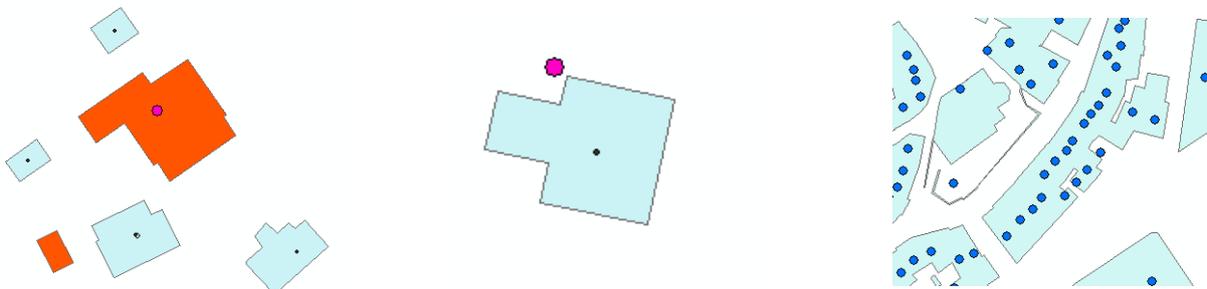


Abbildung 4 Zuordnung zwischen Gebäudegrundriss aus dem 3D-Modell mit Daten aus dem GWR (blaue Punkte) sowie STATENT (rosa Punkte). Da gewisse Punkte ausserhalb der Grundfläche liegen (mittleres Bild) wird bei der Zuordnung mit einer Toleranz von 5 m gearbeitet. Ein 3D-Gebäude kann aus mehreren GWR Gebäuden bestehen, wie im Extremfall hier in einer Innenstadt dargestellt (Bild rechts).

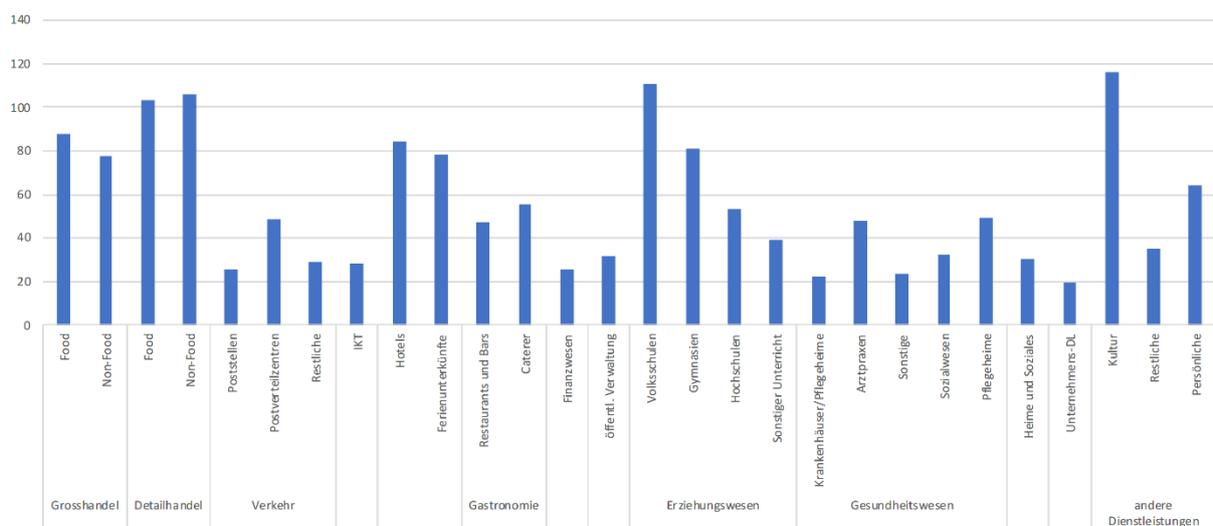


Abbildung 5 Flächenkennwerte (m² EBF pro Vollzeitäquivalente) pro Branche

3.3 Energiekennzahlen

3.3.1 Einflussfaktoren im Überblick

Mit Verweis auf die methodischen Überlegungen in Kap. 2.2 lassen sich folgende Einflussfaktoren auf Heizwärmebedarf und damit die EKZ identifizieren:

- Geometrische Verhältnisse, konkret vom Verhältnis A_{th}/A_E wobei A_{th} für die thermische Gebäudehülle gemäss SIA 380/1 und A_E für die EBF steht.
- Für neuere Gebäude im Gebäudepark, welche sich noch im Originalzustand befinden, werden Daten und Einschätzungen zu den Variablen der Gleichung (2b) oder (2c) benötigt. Zeitlich hängen diese im Wesentlichen vom Zeitpunkt der Umsetzung der MuKE in den verschiedenen Kantonen ab (Kap. 3.3.2).
- Für den älteren und damit den grössten Teil des Gebäudepark sind zudem Zeitpunkt und Anteile der erneuerten Bauteilflächen (siehe Kap. 3.3.6) sowie die damit erreichten U-Werte relevant. Die Erneuerungsanteile werden den jeweiligen Gebäudesegmenten und Bauteilen zugeordnet (Details siehe Kap. 3.3.5 und 3.3.6).

Damit ergeben sich die in Tabelle 3 aufgeführten Einflussfaktoren.

Tabelle 3 Verschiedenen Einflussfaktoren bei der Bestimmung der kantonalen Energiekennzahlen und mögliche Art der Berücksichtigung

Einflussfaktor	Mögliche Art der Berücksichtigung, mögliche Grundlagen, Quellen
Q_H und Q_W	Neubau seit 1900: Pro Kanton basierend auf SIA 380/1, der Einführung der MuKE gemäss „Stand der Energiepolitik der Kantone“ und gemäss Jakob (2008) sowie Auswertung kantonale Energiegesetze.
Geometrische Verhältnisse (A/EBF bzw. A_W/EBF , A_R/EBF etc.)	Auswertung des 3D Modells pro Gebäudetyp, um die Flächen der Bauteile der Gebäudehülle im Verhältnis der EBF zu bestimmen. Annahme der Fensteranteile pro Fassadenfläche mittels Auswertung von Google Street View Daten.
Anteil erneuerte Bauteilflächen	Erhebung 2019/2020 für 18 Kantone (AG, AI, AR, BE, BL, GL, GR, LU, NE, NW, OW, SG, SO, SZ, TI, UR, VD, ZG) gemäss unten stehender Beschreibung (Kap. 3.3.5 und 3.3.6). Erhebung in 5 Kantonen (AG, BE, BL, TG, ZH) aus den Jahren 2001/2002 und 2009/2010 zur Validierung.
U-Werte und g-Werte der opaken und transparenten Gebäudehülle	Gebäudebestand mit BP vor 1990: unterschieden nach Bauteil und nach nicht erneuert / erneuert, pro Erneuerungsperiode seit 1990 und pro Kanton, bezugnehmend u.a. auf die Berichte „Stand der Energiepolitik der Kantone“.
Nutzungsgrade Wärmeerzeugungsanlage(n)	Annahmen pro Energieträger, in Abhängigkeit der Bauperiode (zu prüfen: nach Gebäudetyp und nach Erneuerungsperiode)
Belegungsdichte (Anzahl Person pro m^2), relevant für Warmwasserverbrauch und innere Wärmegewinne	Berücksichtigung der Belegung (inkl. Leerstand und Teilnutzung) gemäss GWS (Einwohner) und STATENT (Beschäftigte). Ausgehend von wohnungsscharfen Daten, Aggregation nach EFH und MFH und pro Kanton.
Weitere Parameter	Luftdichtigkeit, Innenraumtemperatur, Verschattung, innere Wärmegewinne von Geräten etc. gemäss SIA 380/1
Klima	Pro Kanton (gewichtet nach Einwohner und Beschäftigten pro Gemeinde) und Verwendung der relevanten Meteostation gemäss SIA als langjähriges Mittel
Witterung	Korrekturfaktoren aufgrund der Heizgradtage für die Jahre 2016, 2017 und 2018.

3.3.2 Heizwärme- und Warmwasserbedarfswerte von Neubauten

Die Festlegung der Heizwärme- und Warmwasserbedarfswerte Q_H und Q_W von Neubauten der verschiedenen Bauperioden orientiert sich an den Energiegesetzen der Kantone. Die ersten Energiegesetze, welche Anforderungen an die Energieeffizienz der Gebäude stellten, wurden in einigen Kantonen bereits in den 1980er Jahren eingeführt. Die Bedarfswerte für Neubauten hängen entsprechend von der Bauperiode ab (siehe Tabelle 4, entnommen aus Jakob, 2008 und ergänzt basierend auf den MuKEn 2008 und 2014). Aufgrund des Umstands, dass sich die Energiegesetze in der Regel auf U-Werte oder das SIA 380/1-Berechnungsverfahren beziehen, hängen die Bedarfswerte von Neubauten zudem vom Gebäudetyp und von der Gebäudeform (A/EBF) ab (siehe die diversen Ausgaben der SIA 380/1 für Details).

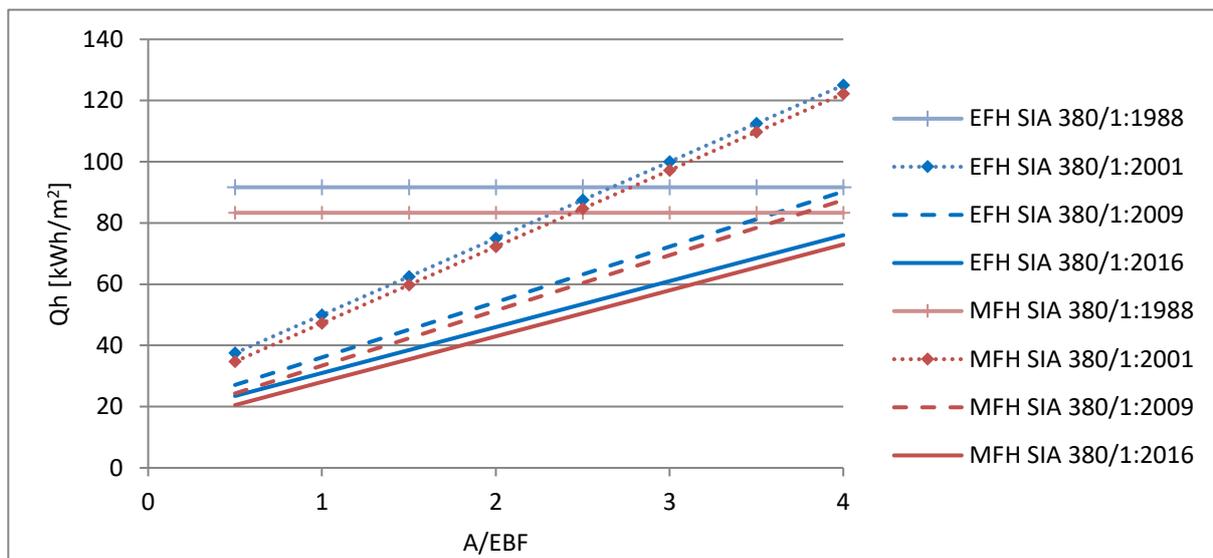


Abbildung 6 Heizwärmebedarf von Neubauten gemäss SIA 380/1 für Einfamilienhäuser (EFH) in blau und Mehrfamilienhäuser (MFH) in rot in Abhängigkeit der Gebäudeform (A/EBF bzw. A_{th}/A_e)

Um die Effekte von energetischen Erneuerungsmassnahmen auf die Gebäude der verschiedenen Bauperioden berechnen zu können, sind diese energie- und bautechnisch zu beschreiben (u.a. mit Flächen sowie U- und g-Werten). Damit werden mittels SIA 380/1 die erwähnten Bedarfswerte berechnet. Bei Neubauten (und umfassenden Gebäudeerneuerungen) werden die U- und g-Werte von den Planern jeweils so angepasst, dass die jeweils vorgegebenen Systemwerte (Q_H) eingehalten werden. Dies soll künftig auch im GPM so gehandhabt werden. Datengrundlagen für die energie- und bautechnischen Kennwerte bilden:

- der Bericht «Grundlagen zur Wirkungsabschätzung der Energiepolitik der Kantone im Gebäudebereich» (Jakob, 2008)
- die diversen Ausgaben der MuKEn und der SIA 380/1
- die Berichte zum Stand der Energiepolitik der Kantone (ab 1995)
- Daten des Gebäudeparkmodells, welche im Rahmen zahlreicher Projekte erarbeitet wurden, u.a. im Rahmen des Projekts GEPAMOD (Jakob et al. 2016)
- Einschätzungen von kantonalen Energieexperten, erhoben im Rahmen dieses Projekts.

Tabelle 4 Verlauf des mittleren k-Werts (W/m²K) nach SIA 180/1 und der Systemanforderungen nach SIA 380/1 bei Vorschriften und in den SIA-Normen

	Vorschriften Kanton ZH und CH Mittlerer k-Wert C ₀ [W/m ² K] gemäss SIA 180/1 bzw. Systemnachweis Heizwärmebedarf Q _h [MJ/m ² a] gemäss SIA 380/1	SIA-Normen	
		Grenzwerte (GW), Zielwerte (ZW) Mittl. k-Wert C ₀ [W/m ² K] Heizwärmeb. Q _h [MJ/m ² a]	Einführung, Aktualisierung
1970		Keine Werte publiziert	Empfehlung SIA 180
1975			Empfehlung SIA 380
1977		Co 1.1 (GW)	Empfehlung SIA 180/1:
1980		Co 0.9 (GW) (bis Ende 1981)	Empfehlung SIA 180/1 (mit Übergangsfrist)
1982	WDV ZH 1981: C ₀ ≤ 0.75 (ab 1.1.82)	Co 0.75 (GW) (ab 1.1.82)	
1985		Rechenverfahren und Grenzwerte Heizenergiebedarf	Vornorm SIA V 380/1 in verlängerter Vernehmlassung
1986	WDV ZH: C ₀ ≤ 0.65 MVO 86 (Δ): k-Werte oder Heizenergiebedarf ge- mäss „anerkannten Regeln der Technik“ d.h. SIA 180/1 oder SIA V 380/1 (als nicht verbind. Anhaltspunkt, da erst in Vernehmll.)		
1988		EFH 330 (GW), 300 (ZW) MFH 300 (GW), 250 (ZW) C ₀ ≤ 0.75 (GW), 0.65 (ZW)	Empfehlung SIA 380/1, Norm SIA 180, 180/1
1989	ZH: C ₀ = 0.65		
1991	ZH: EFH 300 (GW: A/EBF=1.8) ZH: MFH 230 (GW: A/EBF=1.4)		
1992	CH: wie ZH 1991 (entspr. SIA 380/1 ZW) gleichzeitig Einzelbauteile gemäss SIA 180		
1994	ZH: wie 1991		
1997	ZH: GW k-Werte und Q _h wie 1991 + Beschränkung Anteil nicht-erneuerbare Energien für Heizen und Warmw. auf 80%		
1999			Norm SIA 180
2000	Verweis auf zu ersch. Norm SIA 380/1: 2001		
2001		EFH 252 (GW: A/EBF=1.8) MFH 206 (GW: A/EBF=1.4)	Norm SIA 380/1
2002	EFH 252 (GW: A/EBF=1.8) MFH 206 (GW: A/EBF=1.4)		
2007		GW und ZW wie 2001, stärkere Berücksichtigung Wärmebrücken	Norm SIA 380/1
2008	EFH 182 (GW: A/EBF=1.8) (ΔΔ) MFH 146 (GW: A/EBF=1.4) (ΔΔ) Umsetzung Art. 1.6 in ZH 2010		MuKEn 2008
2009		EFH 182 (GW: A/EBF=1.8) MFH 146 (GW: A/EBF=1.4)	Norm SIA 380/1
2014	EFH 155 (GW: A/EBF=1.8) (ΔΔ) MFH 122 (GW: A/EBF=1.4) (ΔΔ)		MuKEn 2014
2016	EFH 155 (GW: A/EBF=1.8) MFH 122 (GW: A/EBF=1.4)		Norm SIA 380/1

(Δ) Musterverordnung 1986, 1992; (ΔΔ) MuKEn 2008, 2014,

Quelle: Baudirektion (BD) Kanton ZH (Wärmedämmvorschriften Ausgaben 1981, 1986, 1989, 1991, 1994, 1997, 2002, 2008), SIA 180 (Ausgaben 1988, 1999), SIA 180/1 (1977 1980), SIA 380/1 (Ausgaben V1985, 1988, 2001, 2007, 2009, 2016), SIA D 80, SIA Do80, MVO 1986, 1992, MuKEn 2000, 2008, 2014.

Die MuKEN wurden zu jeweils unterschiedlichen Jahren umgesetzt. Abbildung 7 zeigt eine Übersicht für die Umsetzung der Anforderungen an den winterlichen Wärmeschutz für die Jahre 2002 bis 2019. Das + steht jeweils für eine verschärfte inhaltliche Abweichung, bei den übrigen Feldern mit inhaltlichen Abweichungen ist unbekannt ob es sich um Verschärfungen oder um weniger strengere Anforderungen handelt.

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019		
ZH																				
BE																				
LU																				
UR																				
SZ																				
OW																				
NW																				
GL																				
ZG																				
FR																				
SO																				
BS								+	+	+	+	+	+	+	+	+				
BL								+	+	+	+	+	+	+	+					
SH																				
AR																				
AI																				
SG																				
GR																				
AG																				
TG																				
TI																				
VD																				
VS																				
NE																				
GE																				
JU																				
MuKEN 2000	mit inhaltlichen Abweichungen							MuKEN 2008	mit inhaltlichen Abweichungen (+verschärft)					MuKEN 2014						mit inhaltlichen Abweichungen

Quelle: EnergieSchweiz: Stand der Energiepolitik in den Kantonen 02-19, www.EnDK.ch

Abbildung 7 Übersicht über die Umsetzung der MuKEN in den Kantonen seit 2002 in Bezug auf Grenzwerte, Anforderungen und Nachweis winterlichem Wärmeschutz gemäss Art. 1.7 MuKEN 2014, Art. 1.6 MuKEN 2008, Basismodul MuKEN 2000.

Um den Effekt dieser unterschiedlichen Umsetzung der MuKEN auf die Neubau-Bedarfswerte nachvollziehbar und kompakt zu berücksichtigen, werden die U-Werte pro Kanton festgelegt. Exemplarisch ist dies für den Bereich der Aussenwand in der Tabelle 28 im Anhang dokumentiert. Die U-Wert-Grundlagen der weiteren Bauteile werden der AG Energiedaten der EnDK in elektronischer Form zur Verfügung gestellt.

Nebst den Anforderungen an den winterlichen Wärmeschutz ist die Einführung des Höchstanteils nicht erneuerbarer Energien von hoher Relevanz. In der folgenden Abbildung ist eine Übersicht zur kantonalen Umsetzung dargestellt für die Jahre 2002-2019.

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
ZH																			
BE																			
LU																			
UR																			
SZ																			
OW																			
NW																			
GL																			
ZG																			
FR																			
SO																			
BS	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+				
BL	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+				
SH																			
AR																			
AI																			
SG																			
GR																			
AG																			
TG																			
TI																			
VD																			
VS																			
NE																			
GE																			
JU																			
MuKE _n 2000	mit inhaltlichen Abweichungen							MuKE _n 2008					MuKE _n 2014						
MuKE _n 2000	mit inhaltlichen Abweichungen (+Verschärfte)							MuKE _n 2008 mit inhaltlichen Abweichungen (+Verschärfte)					MuKE _n 2014 mit inhaltlichen Abweichungen						

Quelle: EnergieSchweiz: Stand der Energiepolitik in den Kantonen 02-19, www.EnDK.ch

Abbildung 8 Übersicht über die Umsetzung der MuKE in den Kantonen seit 2002 in Bezug auf die Anforderung an den Höchstanteil nicht erneuerbarer Energien bei Neubauten gemäss Art. 1.22-1.25 MuKE 2014, Art. 1.2 MuKE 2008, Modul 2 „Erweiterte Anforderungen an Neubauten“ MuKE 2000.

3.3.3 U-Werte von Neubauten und erneuerten Gebäuden

Durch energetische Erneuerungen wie Wärmedämmungen und den Ersatz von Fenster lassen sich die U-Werte im Vergleich zum Neubau der jeweiligen Bauperiode verbessern. Bei gegebener Dämmstärke und bei gegebenem Dämmmaterial hat der U-Werte des Ausgangszustands einen gewissen, aber keinen entscheidenden Einfluss auf den U-Wert nach der Erneuerung, wie aus Jakob et al. (2002) oder mittels gängiger U-Wert-Berechnungsprogrammen nachvollzogen werden kann. Weil bei der energetischen Erneuerung zudem auf energetische Vorschriften und/oder Anforderungen von Förderprogrammen geachtet wird, kann der U-Wert des Ausgangszustands bei der Bestimmung des Zustands nach der energetischen Erneuerung vernachlässigt werden.

Basierend auf oben erwähnten Quellen und Erfahrungswerten aus der Gebäudeparkmodellierung (z.B. Jakob et al. 2016) können generische U-Werte für den Ausgangszustand pro Bauperiode und U-Werte nach einer energetischen Erneuerung nach Erneuerungsperiode zusammengestellt werden. In Tabelle 5 sind die entsprechenden Werte für das Beispiel Aussenwand dargestellt.

Tabelle 5 U-Werte nach energetischem Zustand für das Bauteil Aussenwand: generische U-Werte im Ausgangszustand pro Bauperiode (z.T. sind zwei GBAUP zusammengefasst) und U-Werte nach energetischen Erneuerungen nach Erneuerungsperiode

Bauperiode	Ausgangszustand nicht erneuert	Erneuerungsperiode		
		1991 bis 2000	2001 bis 2010	2011 bis 2018
Vor 1945	0.90	0.45	0.35	0.21
1946 bis 1960	1.05	0.45	0.35	0.21
1961 bis 1970	1.05	0.45	0.35	0.21
1971 bis 1980	0.90	0.45	0.35	0.21
1981 bis 1990	0.48	0.45	0.35	0.21
1991 bis 2000	0.35		0.30	0.21
2001 bis 2010	0.30			
2011 bis 2015	0.23			
2016 bis 2020	0.20			

Die detaillierten Annahmen werden den Auftraggebern als Excel-Tabellen zur Verfügung gestellt (File TEP_GPM_Kanton-2021-06-30_Teil1_Inputs.xlsx, Blatt «U-Werte»)

3.3.4 Geometrische Verhältnisse

Die geometrischen Verhältnisse der sichtbaren Gebäudehülle werden aus dem 3D-Modell von Swisstopo ausgewertet. Dabei wird wie folgt vorgegangen:

- Die GF pro Gebäude wird mittels dem in Kapitel 3.2.1 beschriebenen geometrischen Verfahren berechnet.
- Die Fläche der Aussenhülle wird pro Gebäude und Bauteil (Wand, Dach, Boden) direkt aus dem 3D-Modell berechnet.
- Im 3D-Modell kommen die Flächen vom Dachüberstand teilweise doppelt vor. Zudem werden die Wände aus Darstellungsgründen um 3 m in den Boden hinein verlängert. Um diesen Tatsachen Rechnung zu tragen werden die Flächen von Dach und Wand mittels Faktoren korrigiert.
- Gebäude ausserhalb des Scopes (Tabelle 24) sowie solche mit unplausiblen Werten ($EBF \leq 50m^2$) werden ausgeschlossen.
- Für jedes der drei Bauteile Wand, Dach und Boden wird ein Regressionsmodell aufgestellt, welches das Verhältnis A_{th}/A_e anhand der zwei Variablen «grobe Gebäudeklasse» und «grobe Bauperiode» erklärt. Beim Regressionsmodell für die Dachfläche fliesst zusätzlich als Variable der Dachtyp (Flachdach/Steildach) mit ein. Es kommt ein lineares Regressionsmodell zum Einsatz.

Die resultierenden Verhältnisse A_{th}/A_e sind in Tabelle 15 zu finden.

- Das 3D Modell gibt keine Auskunft über den verglasten Anteil der Fassade. Dieser wird gemäss einem separaten Ansatz bestimmt, beruhend auf einer Analyse von Gebäuden

auf Google Street Maps. Entsprechende Auswertungen wurden im Rahmen des EIT Climate-KIC Projekts «Building Market Briefs» (BMB) vorgenommen.

- Bei Steildächer ab 35° kann die thermische Gebäudehülle entweder entlang dem Estrichboden oder entlang der Dachschräge verlaufen. Diese Tatsache ist ebenfalls nicht in den Verhältnissen A_{th}/A_e widerspiegelt, sondern findet als Wahrscheinlichkeitsrechnung in der Berechnung der Q_h Werte statt. Die Anteile der Flachdächer pro Bauperiode und Gebäudeklasse wird in Abbildung 46 dargestellt.
- Beheizte Keller werden gegenwärtig nicht berücksichtigt.

Das Regressionsmodell zeigt, dass ausgeprägte Stadtkantone eigentlich separat zu berücksichtigen wären. Dies wurde bis zum Projektabschluss (April 2021) in Absprache mit dem Auftraggeber nicht umgesetzt, ist aber für das weitere Vorgehen zu empfehlen.

3.3.5 Erhebung der Erneuerungstätigkeit zu Bestimmung der Erneuerungsaktivität

Die Erneuerungsaktivität wird für 18 Kantone empirisch mit aktuellen Daten abgestützt (siehe Tabelle 3). Zu diesem Zweck wurde die Renovationstätigkeit der vergangenen dreissig Jahre bei einer Stichprobe von Gebäudeeigentümern kantonsspezifisch erhoben (ähnlich wie durch Jakob et al. 2003/2009). Für weitere 5 Kantone (AG, BE, BL, TG, ZH) liegen analoge Grundlagen zu Instandsetzungen und energetischen Erneuerungen für die Renovationsperiode 1986 bis 2009 vor (Jakob et al. 2002/2009 und Banfi et al. 2012), welche zu Validierungszwecken herangezogen werden.¹¹

Die Erneuerungsaktivität wird aus der Erhebung der Renovationstätigkeit (in einem breiten Sinn des Begriffs Renovation) abgeleitet. Die Erhebung bei einer Stichprobe von Gebäudeeigentümern erhoben wird. Die Erhebung basiert auf einem bewährten Fragebogen gestützten Ansatz, der seit 2001/2002 bereits in mehreren früheren Projekten in ähnlicher Form zur Anwendung kam (Jakob et al. 2003/2009, Banfi et al. 2012, 2011, 2010, zuletzt in ähnlicher Form durch die Universität Neuenburg zur Bestimmung der Lebensdauer von Bauteilen mit Fokus auf Gebäudehülle und Heizanlagen im Rahmen des Projekts DUREE).

Der Ansatz besteht darin, eine Stichprobe von Gebäudeeigentümern zu ihren durchgeführten Instandsetzung- und energetischen Erneuerungsarbeiten zu befragen. Dies erfolgt für die wichtigsten Elemente der Gebäudehülle sowie für den Bereich Heizanlagen. Den Befragten werden pro Element einige wenige Arten von Arbeiten zur Auswahl gegeben (z.B. Putzausbesserung, Wandanstrich, Wandwärmedämmung, keine Arbeiten). Für die durchgeführten Arbeiten geben sie zudem an, wann diese durchgeführt wurden, u.a. in Bezug auf vorgegebene Renovationsperioden (1991-1995, 1996-2000, 2001-2005, 2006-2010, 2011-2015, 2016-2019). Die Erhebung wird mittels Online-Fragebogen durchgeführt.¹² Die Erneuerungsaktivität wird anschliessend durch spezifische Auswertungen der erhobenen Daten bestimmt (siehe nachfolgendes Unterkapitel).

Die Stichprobengrösse und die Anzahl der zu versendenden Anschreiben ergibt sich aus dem Anspruch an den Stichprobenfehler bzw. an das Vertrauensintervall und dem zur Verfügung

¹¹ Als Quervergleich und für Validierungszwecke liegen zudem empirische Grundlagen für die Schweiz als Ganzes durch die Ergebnisse des Projekts DUREEE verfügbar (Farsi et al. 2019).

¹² Die Online-Erhebung erfolgte in Zusammenarbeit mit dem BFE-Forschungsprojekt MISTEE, in dessen Rahmen das Investitions- und Erneuerungsverhalten der Eigentümer in einen breiteren Kontext gestellt wird und insbesondere ihre Motivationen untersucht werden. Weitere Informationen sind in Forschungsberichten und wissenschaftliche Artikeln zu finden (in Vorbereitung).

stehenden Budget. Bezugnehmend auf die mit den Kantonen vereinbarten diesbezüglichen Rahmenbedingungen ist pro Kanton im Minimum eine Stichprobengrösse von rund 200 realisierten Antworten im Bereich Wohngebäude (je 100 EFH und MFH) und rund 140 im Nicht-Wohngebäude erforderlich. Zu empfehlen ist eine Stichprobengrösse von 400 realisierten Wohngebäuden und 300 realisierten Nicht-Wohngebäuden (v.a. bei mittleren und grösseren Kantonen, um bei diesen wichtigen Kantonen den statistischen Fehler zu verringern).

Die Adressdaten wurden direkt oder indirekt durch die Kantone bereitgestellt und der Versand der Umfrageschreiben erfolgte je nach Kanton entweder durch den Kanton selbst, durch dessen Gebäudeversicherung oder durch TEP Energy. Nach einem ausführlichen Pretest im Herbst 2019 wurde die Erhebung zwischen Dez. 2019 und Nov. 2020 in den folgenden 18 Kantonen durchgeführt: AG, AI, AR, BE, BL, GL, GR, LU, NE, NW, OW, SG, SO, SZ, TI, UR, VD, ZG.

Die tatsächlich erreichte Rücklaufquote pro Kanton ist in Tabelle 6 aufgeführt. Die Rücklaufquote ist vergleichsweise hoch und beträgt zwischen 25% und 49%. Sie ist damit in allen Kantonen höher als im Minimum erwartet (20%), was sich positiv auf den Stichprobenfehler bzw. auf die Standardfehler von Regressionsmodellen auswirkt.

Tabelle 6 Netto-Rücklaufquote aus der Erhebung bei den 18 Kantonen (Mittelwert über alle Gebäudesektoren).

AG	AI	AR	BE	BL	GL	GR	LU	NE	
39%	43%	36%	33%	37%	41%	37%	26%	36%	
NW	OW	SG	SO	SZ	TI	UR	VD	ZG	Alle
49%	25%	44%	35%	43%	35%	44%	31%	25%	36%

3.3.6 Bestimmung von Instandsetzungs- und energetischen Erneuerungsanteile und -raten

Die Instandsetzungs- und energetischen Erneuerungsanteile (kumuliert über die letzten Jahrzehnte) bzw. jährlichen -raten pro Gebäudetyp und pro Bauteil werden wie folgt ermittelt:

- Erhebung der Erneuerungsaktivitäten (siehe Kap. 3.3.5): Kantone AG, AI, AR, BE, BL, GL, GR, LU, NE, NW, OW, SG, SO, SZ, TI, UR, VD, ZG (Erhebung 2019/2020, dieses Projekt).
- Die durch den Fragebogen erhobenen Daten werden zum einen mittels deskriptiver Statistik und zum anderen mittels eines Logit-Ansatzes ausgewertet.

Instandsetzungs- und energetischen Erneuerungsraten basierend auf der Erhebung – deskriptive Auswertung

Aus den Angaben zu den durchgeführten Arbeiten an der Gebäudehülle werden die jährlichen Instandsetzungs- und Erneuerungsraten pro Renovationsperiode berechnet und tabellarisch und graphisch dargestellt. Diese Raten werden für die verschiedenen Bauteile und Arten von Massnahmen separat berechnet und sind definiert als Anzahl Massnahmen (am entsprechenden Bauteil) dividiert durch die Anzahl Gebäude in der Stichprobe (wobei nur Renovationsperioden ausgewertet werden, während derer die Befragten das Gebäude besaßen oder verwalteten).

Um Doppelzählungen zu vermeiden, wird bei Angabe von mehreren Arten von Erneuerungsarbeiten am selben Bauteil in derselben Renovationsperiode jeweils nur die «energetisch

dominante» Erneuerungstätigkeit gezählt. Beispielsweise wird bei gleichzeitiger Nennung von «Fensterinstandhaltung» und «Fensterersatz» nur letzterer gezählt. Bezugnehmend auf die Erfahrung aus früheren Projekten dieser Art wird nach verschiedenen Merkmalen wie z.B. Gebäudetyp (EFH, MFH, andere), Renovations- oder Bauperiode differenziert.¹³

Mit Bezug auf die vorliegenden Fallzahlen pro Segment sind die Daten bei der Auswertung zusammenzufassen, siehe Abbildung 9 für eine beispielhafte Darstellung für den Bereich Fenster bei den Wohngebäuden in den Kantonen AI, AR, LU, NE und Rest (restliche Kantone). Die vier Kantone AI, AR, LU, und NE weisen signifikant höhere energetische Erneuerungsraten auf (siehe Logit-Analyse). Für die restlichen Kantone bewegen sich die energetischen Erneuerungsraten für Wohngebäude im Fensterbereich zwischen rund 2% bis 3% pro Jahr.

Die Renovationsraten der weiteren Bauteile sind im Anhang A.4 dokumentiert.

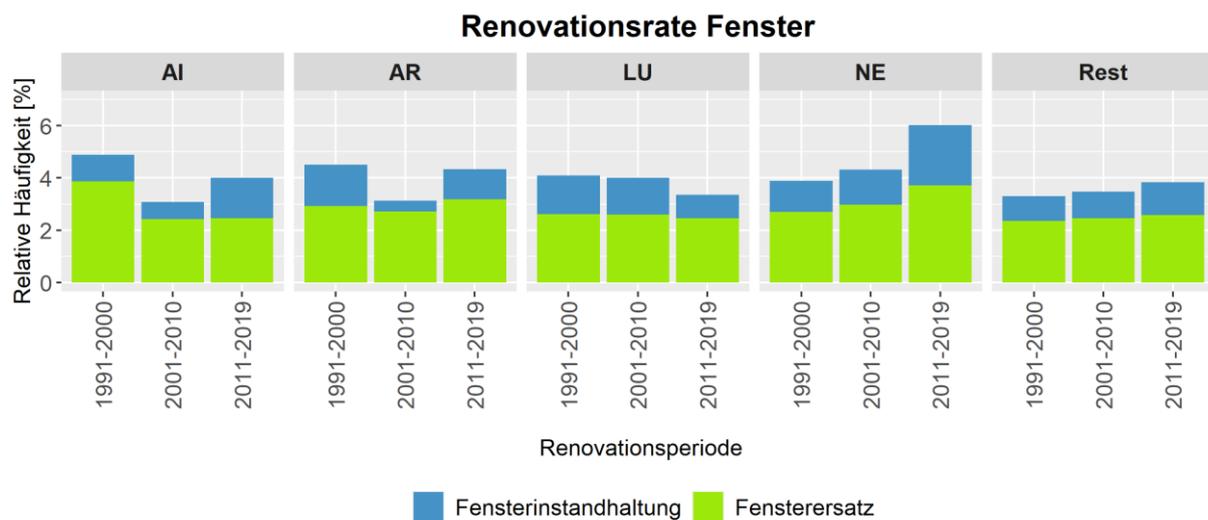


Abbildung 9 Renovationsraten (% pro Jahr, separat für Instandhaltung und Erneuerung, gemittelt für Renovationsperioden mit einer Dauer von 10 Jahren) bei Fenstern für Wohngebäude (deskriptive Auswertung).

Energetische Erneuerungsraten basierend auf der Erhebung – Auswertung mittels statistischem Modell

Bei der Auswertung mit dem Logit-Ansatz wird die Wahrscheinlichkeit, dass eine bestimmte Massnahme durchgeführt wurde, als Funktion verschiedener Einflussfaktoren geschätzt. In Absprache mit dem Auftraggeber werden bei der Spezifikation des statistischen Modells nur die folgenden gebäudespezifischen Merkmale berücksichtigt: Gebäudesektor, Bauperiode, Standortkanton, Erneuerungsperiode und Bauteil.¹⁴ Wie bei multiplen Regressionsansätzen mit kategoriellen Variablen üblich, ist pro Variable jeweils eine Basiskategorie festzulegen, was nachfolgend jeweils spezifiziert ist.

¹³ Eine weitere Differenzierung ist grundsätzlich möglich und wird im Rahmen weiterer Arbeiten vorgenommen, namentlich im Rahmen des BFE-Forschungsprojekts MISTEE.

¹⁴ Weitere Einflussfaktoren betreffen eigentümerspezifische Merkmale (Alter, weitere sozio-ökonomische Daten), wirtschaftliche Faktoren wie Energiepreise und Zinsniveau im Zeitablauf sowie kantonsspezifische Merkmale (Förderprogramme, weitere energiepolitische Massnahmen, steuerliche Bestimmungen etc.). Solche Einflussfaktoren werden im Rahmen des BFE-Forschungsprojekts MISTEE berücksichtigt.

Mit diesem Ansatz wird es entsprechend möglich, Aussagen zu treffen, welche Merkmale einen statistisch relevanten Einfluss haben und welche nicht. Konkret kann damit eruiert werden, ob sich die energetischen Erneuerungsraten zwischen den Kantonen unterscheiden (und zwar bereinigt um die weiteren einbezogenen Einflussfaktoren).

Der Output des statistischen Modells ist in Tabelle 7 dargestellt. Der statistische Fehler (Standardfehler) und der p-Wert sind für jede einzelne Variable angegeben. Der Einfluss der berücksichtigten Variablen ist in der Regel statistisch hoch signifikant. Die Resultate anhand des Logit-Ansatzes zeigen signifikant höhere energetischen Erneuerungsraten für die Kantone AI, AR, LU und NE verglichen zur Basiskategorie (restliche Kantone der Erhebung, mit «Rest» bezeichnet).

Zur leichteren Interpretation werden die Changenverhältnisse berechnet (siehe Spalte «Odds-Ratio»). Lesebeispiel: der Kanton NE weist eine um den Faktor 1.2 höhere Chance für eine energetische Massnahme (und damit eine 1.2 mal so hohe energetische Erneuerungsraten) im Vergleich zu den restlichen Kantonen auf.

Die Modellresultate zeigen weiter, dass die energetischen Erneuerungsraten bei Aussenwand, Steildach und Kellerdecke signifikant tiefer als bei der Basiskategorie Fenster sind (die entsprechenden «Odds-Ratio» sind kleiner als 1). Die Ergebnisse widerspiegeln damit die Erkenntnisse aus den deskriptiven Auswertungen. Wie zu erwarten sind die Erneuerungsraten insbesondere bei den Wohngebäuden und älteren Gebäuden höher. In der Erneuerungsperiode 1991-2000 sind die Raten signifikant tiefer, wobei bei der Erneuerungsperiode 2011-2019 kein Unterschied mehr zur Basiskategorie (2001-2010) festzustellen ist.

Die Interaktionsterme (in Tabelle 7 zwei mit einem Doppelpunkt verbundene Variablen) erlauben es aufzuzeigen, ob und wie sich Einflussfaktoren in Kombination auf die Wahrscheinlichkeit einer energetischen Massnahme auswirken. Die Interaktionsterme helfen bei der Stabilisierung der Modellresultate und liefern weitere Erkenntnisse. So zeigen sich beispielsweise insbesondere bei den Kellerdecken höhere Raten für die Wohngebäude, während bei der Aussenwand keine Unterschiede zu den Nichtwohngebäuden feststellbar sind.

Tabelle 7: Modelloutput zur Schätzung der Wahrscheinlichkeit einer durchgeführten energetischen Massnahme (Basiskategorien: Rest, Fenster, Erneuerung_2001_2010, BAUP_bis1945, NWG, Signifikanzniveau: * 0.001, ** 0.01, *0.05).**

Variable	Koeff.	Std.Fehler	Teststatistik	p-Wert	Odds-Ratio
Intercept	-1.98	0.05	-39.50	0.00 ***	0.14
AI	0.26	0.05	4.87	0.00 ***	1.30
AR	0.20	0.06	3.55	0.00 ***	1.23
LU	0.17	0.06	2.91	0.00 **	1.18
NE	0.18	0.05	3.64	0.00 ***	1.20
Kellerdecke	-1.54	0.10	-15.92	0.00 ***	0.21
Aussenwand	-0.73	0.08	-9.17	0.00 ***	0.48
Steildach	-0.70	0.08	-8.40	0.00 ***	0.50
Erneuerung_1991_2000	-0.14	0.06	-2.37	0.02 *	0.87
Erneuerung_2011_2019	0.05	0.05	1.11	0.27	1.06
BAUP_1946_1980	-0.01	0.04	-0.33	0.74	0.99
BAUP_1981_2000	-1.54	0.08	-20.46	0.00 ***	0.21
BAUP_ab2001	-2.58	0.34	-7.67	0.00 ***	0.08
EFH	0.35	0.05	7.48	0.00 ***	1.42
MFH	0.30	0.05	6.54	0.00 ***	1.36
Kellerdecke:Erneuerung_1991_2000	0.19	0.10	1.95	0.05 .	1.21
Aussenwand:Erneuerung_1991_2000	0.26	0.09	2.95	0.00 **	1.30
Steildach:Erneuerung_1991_2000	0.32	0.09	3.51	0.00 ***	1.37
Kellerdecke:Erneuerung_2011_2019	-0.08	0.08	-1.04	0.30	0.92
Aussenwand:Erneuerung_2011_2019	-0.02	0.07	-0.24	0.81	0.98
Steildach:Erneuerung_2011_2019	-0.01	0.07	-0.16	0.87	0.99
Erneuerung_1991_2000:BAUP_1946_1980	-0.21	0.07	-3.13	0.00 **	0.81
Erneuerung_2011_2019:BAUP_1946_1980	0.04	0.06	0.73	0.47	1.04
Erneuerung_1991_2000:BAUP_1981_2000	-0.26	0.19	-1.36	0.17	0.77
Erneuerung_2011_2019:BAUP_1981_2000	0.82	0.09	9.14	0.00 ***	2.26
Erneuerung_2011_2019:BAUP_ab2001	0.22	0.36	0.60	0.55	1.24
Kellerdecke:EFH	0.34	0.10	3.42	0.00 ***	1.40
Aussenwand:EFH	-0.10	0.08	-1.18	0.24	0.91
Steildach:EFH	-0.21	0.09	-2.44	0.01 *	0.81
Kellerdecke:MFH	0.32	0.10	3.18	0.00 **	1.37
Aussenwand:MFH	-0.01	0.08	-0.17	0.86	0.99
Steildach:MFH	-0.17	0.09	-2.00	0.05 *	0.84

Quelle: TEP Energy, Auswertung in Zusammenarbeit mit BFE-Projekt MISTEE

Anhand der geschätzten Koeffizienten (siehe Tabelle 7) können die energetischen Erneuerungsraten anhand eines sogenannten «predicts» geschätzt werden. Die energetischen Erneuerungsraten sind exemplarisch für den Fensterbereich in Abbildung 10 dargestellt. Die signifikant tieferen Raten für die NWG sind gut erkennbar.

Wie die geschätzten Koeffizienten aus dem Modell vermuten lassen, weisen die vier Kantone AI, AR, LU und NE höhere Erneuerungsraten auf. Gut sichtbar sind auch die höheren Erneuerungsraten bei den EFH und insbesondere bei den MFH im Vergleich zu den NWG.

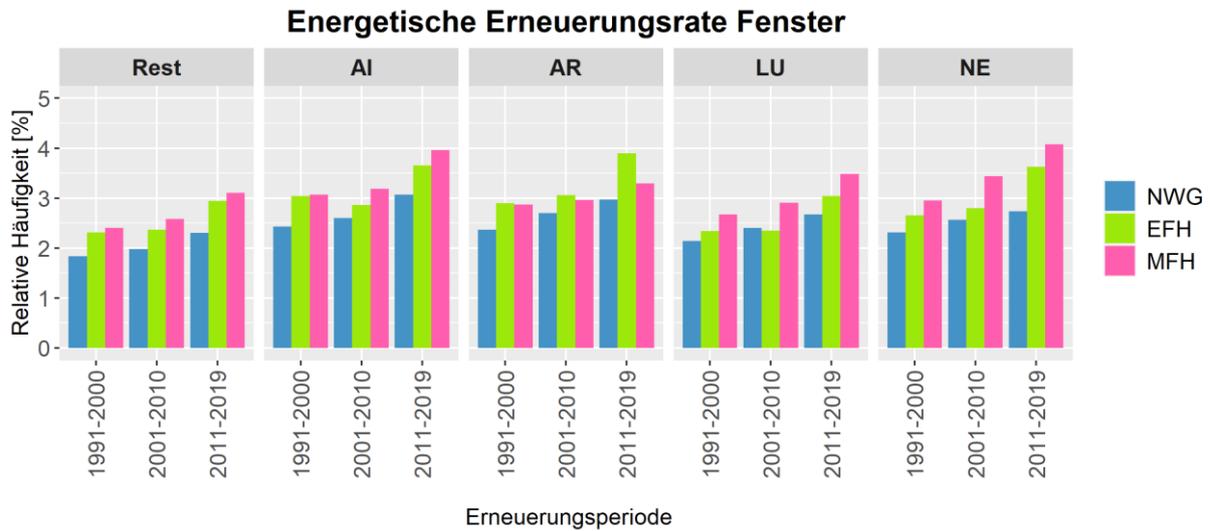


Abbildung 10 Erneuerungsrate (% pro Jahr, gemittelt für drei Erneuerungsperioden) bei Fenstern für EFH, MFH und NWG («Predict» mit Regressionsmodell).

Die Erneuerungsdaten basierend auf dem Modell für die weiteren Bauteile sind im Anhang A.4 dokumentiert.

Energetische Erneuerungsdaten bei Kantonen ohne empirische Grundlagen

Bei den Kantonen, bei denen keine Stichprobenerhebung möglich war, werden die energetischen Erneuerungsdaten gemäss der Kantonsgruppe «Rest» festgelegt.

Die energetischen Erneuerungsanteile ergeben sich durch Aufsummierung der jährlichen Raten, wobei Mehrfachnennungen von Arbeiten am selben Bauteil so gewertet wurden, dass nur die neuste (am wenigsten weit zurück liegende) energetische Erneuerung gezählt wurde.

3.4 Energieträger

3.4.1 Wohnen

Der Ansatz für die Bestimmung der Energieträgeranteile pro Gebäudetyp und Bauperiode in den Kantonen hängt entscheidend von der Datenlage ab. Das Vorgehen ist vor folgender (dynamischer) Ausgangslage zu sehen, die sich wie folgt präsentiert:

Flächendeckend wurden Energieträgerangaben letztmals im Rahmen der Gebäude- und Wohnungszählung 2000 durch das Bundesamt für Statistik (BFS) erhoben. Seit dem Erstellen des Gebäude- und Wohnungsregisters (GWR) werden diese Angaben meist nur bei der Ersterfassung der Gebäude im GWR registriert, also typischerweise im Fall der Neubauten seit dem Jahr 2001. Nachträgliche Energieträgerwechsel im Gebäudebestand werden im Rahmen der vorgesehenen Aktualisierungsprozesse via Gemeinden jedoch meist nicht in das GWR aktualisiert. Aus diesem Grund wurden vom BFS Sekundärdaten (namentlich aus den Feuerungskontrollen) mit den GWR-Daten verknüpft und für dieses Projekt zur Verfügung gestellt. Festzustellen ist, dass bei den meisten Kantonen das Aktualisierungsdatum mehrheitlich im Jahr 2001 liegt. Dies liegt auch daran, dass das Aktualisierungsdatum beim Einbezug von Sekundärdaten nicht in allen Fällen ebenfalls aktualisiert wurde.

Vergleichsweise hohe Anteile mit späteren Aktualisierungsjahren weisen die Kantone BE, FR, SO, NE, GE und BL/BS¹⁵ auf (siehe Abbildung 11). Bei den Gebäuden ohne Wohnnutzung ist der Anteil der Gebäude mit spätem Aktualisierungsdatum noch etwas geringer als bei Wohngebäuden (siehe Abbildung 35 im Anhang). Der insgesamt eher hohe Anteil von nicht-aktuellen Daten hängt u.a. auch damit zusammen, dass die Feuerungskontrolle (die wichtigste Quellen an Sekundärdaten) z.T. nur für Gebäude ab einer gewissen Leistungsklasse verpflichtend durchzuführen ist bzw. die Daten nicht zentral gesammelt werden.

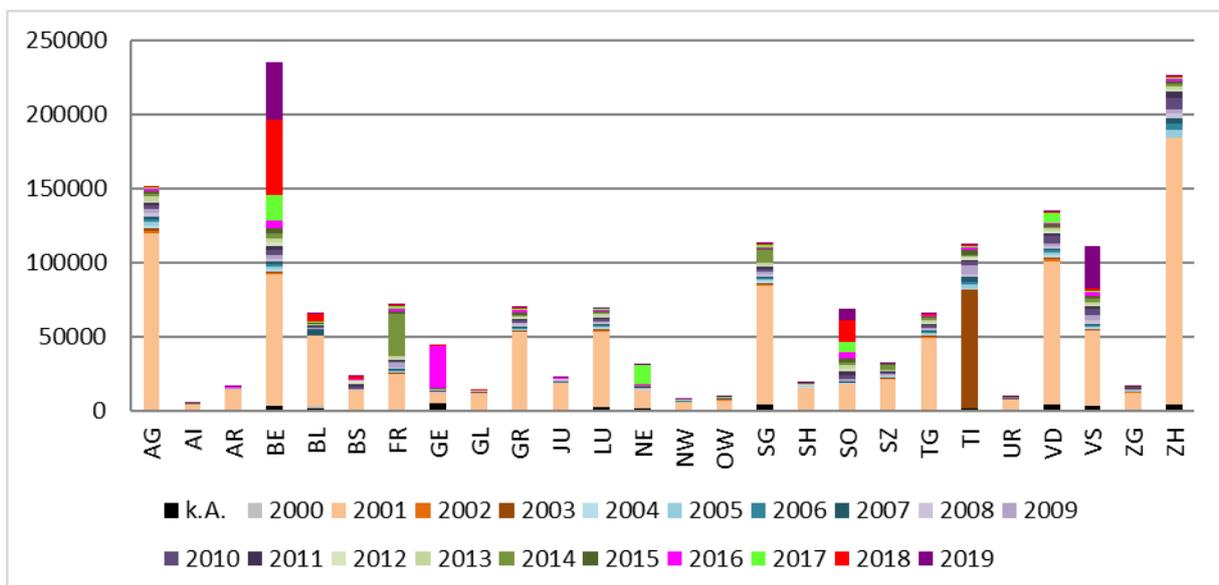


Abbildung 11 Aktualisierungsdatum Heizung im GWR für den Fall der Gebäude mit mindestens einer Wohnung (Quelle: GWR 2019 und GPM, Auswertung TEP Energy) (in 1000 m²)

¹⁵ Im Fall der Kantons BL/BS liegen bei den Kantonen zwar aktuelle Daten vor, aber das Attribut «Aktualisierungsdatum Heizung» wurde im GWR nicht aktualisiert (Import in die Version 4.1 des GWR war noch nicht erfolgt).

Aus diesem Grund wurden bei der erwähnten Stichprobenerhebung bei Gebäudeeigentümern Heizsystem und Energieträger mit einbezogen, um die aktuelle Situation und die vergangene Instandsetzungs- und Erneuerungstätigkeit in Erfahrung zu bringen. Die Erhebung und die ausgewerteten Energieträgeranteile für den Zeitpunkt 2019/2020 stehen für die Kantone AG, AI, AR, BE, BL, GL, GR, LU, NE, NW, OW, SG, SO, SZ, TI, UR, VD, ZG zur Verfügung (für den Berichtsstand im Juni 2021).

Die Anteile der Heizsysteme lassen sich als Ergebnis eines statistischen Modells darstellen. Die sogenannte «Fractional regression» erlaubt die Schätzung von Anteilen, welche sich auf 100% ergänzen. Die Heizsystemanteile aus der Erhebung werden dafür pro Kanton, Gebäudesektor und Bauperiode aggregiert und gleichermaßen geschätzt. Der Modelloutput ist in Tabelle 29 sowie Tabelle 30 im Anhang dargestellt. Abbildung 12 stellt die geschätzten Anteile basierend auf dem Modell (predicts) exemplarisch für die Einfamilienhäuser dar.

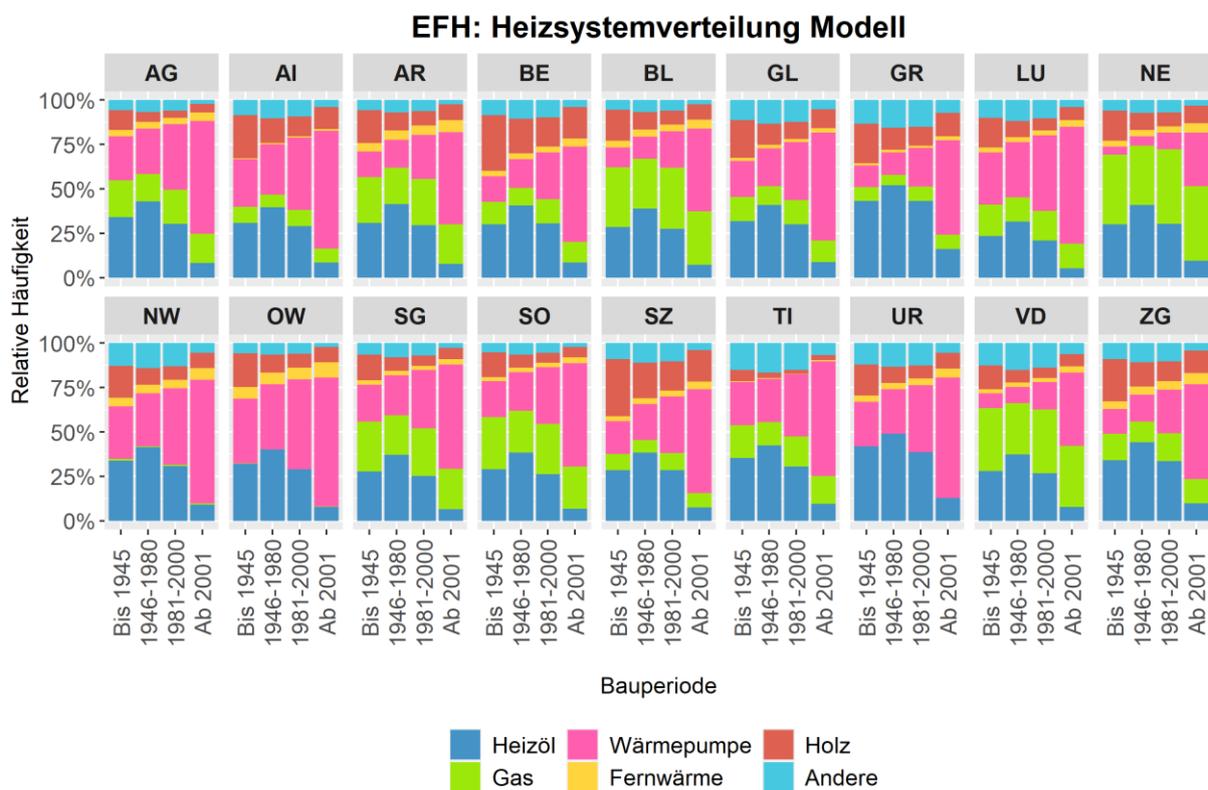


Abbildung 12 Heizsystemanteile pro Bauperiode bei Einfamilienhäusern gemäss Regressionsmodell (predict). (Quelle: Angaben Gebäudeeigentümer, Auswertung TEP Energy)

Kantone, in denen keine Erhebung durchgeführt wurde

In den Kantonen, in denen keine Erhebung durchgeführt wurde, werden Daten aus dem GWR für Gebäude mit Baujahr ab 1981 verwendet. Für Gebäude mit Baujahr vor 1980 wurde für die Kantone ZH, SH und TG dieselben Daten wie für SG verwendet. Für FR wurde ein Mittelwert der Kantone NE, BE, VD angenommen. Für GE dieselben Werte wie für VD und für JU dieselben wie für BE. Für VS wurden auch für Gebäude mit Baujahr vor 1980 Daten aus dem GWR verwendet, für BS Daten des Statistischen Amtes des Kantons Basel-Stadt.

3.4.2 Nicht-Wohnen

Für den Bestand der Nichtwohngebäude (NWG) ist der Energieträger im GWR nur ungenügend abgebildet: der Energieträger wird nach wie vor nur von wenigen Gemeinden im GWR nachgetragen («aktualisiert») und auch die oben erwähnten Sekundärdaten decken nicht alle NWG ab. In Summe verbleiben zudem etwa 20% der Gebäude ohne Angabe des Energieträgers bzw. des Heizsystems. Entsprechend sind hier die Erhebungsergebnisse besonders wichtig. Für die Kantone ohne Erhebung wurden dieselben Werte wie für Wohngebäude verwendet. Daten aus dem GWR wurden nur für Gebäude, die nach 2016 gebaut wurden, verwendet.

Bei den Nichtwohngebäuden sind besonders der höhere Fernwärme- und Gasanteil, sowie der deutlich geringere Wärmepumpenanteil hervorzuheben (siehe Abbildung 13).

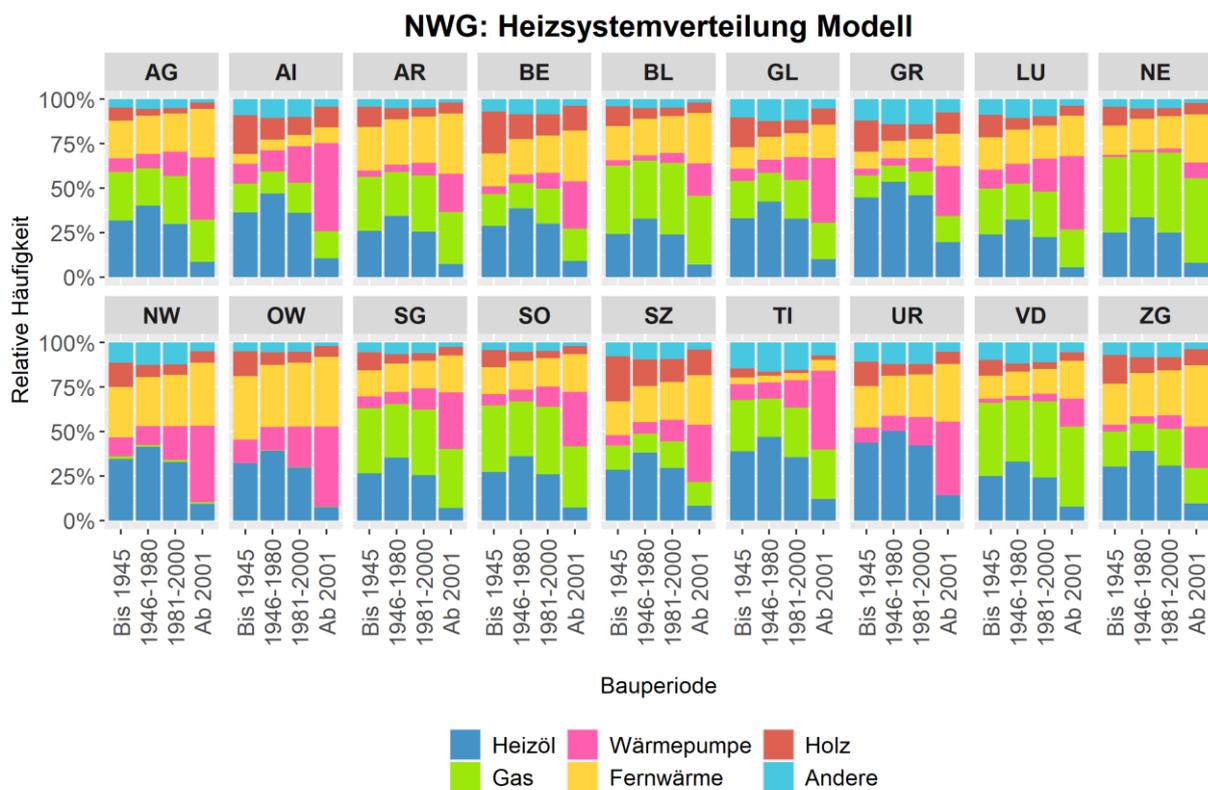


Abbildung 13: Heizsystemanteile pro Bauperiode bei Nichtwohngebäuden gemäss Regressionsmodell («predict»). (Quelle: Angaben Gebäudeeigentümer, Auswertung TEP Energy)

3.5 Energieträgerentwicklung (Veränderungen durch Substitutionen) ab 2016

Zur Analyse des Energieträgerwechsels wird die Heizsystemverteilung wie für den aktuellen Stand für einen weiteren Zeitpunkt ausgewertet. Dies basierend auf den Angaben aus der Erhebung. Nebst dem aktuellen Heizsystem wurde in der Erhebung auch das Heizsystem vor dem letzten Wechsel sowie der Zeitpunkt (5-Jahresperioden) des Wechsels abgefragt. Basierend auf diesen Angaben kann das Regressionsmodell nicht nur für den aktuellen Zustand (2019/2020), sondern für frühere Zeitpunkte (2015, 2010) geschätzt werden. Anhand der «predicts» können anschliessend die Heizsystemanteile differenziert nach Gebäudesektor, Bauperiode und Kanton für den Zustand 2015 bestimmt werden.

Die Heizsystemanteile für die Zeitpunkte 2015 und 2020 sind in Abbildung 14 für die EFH und eine Auswahl an Kantonen beispielhaft dargestellt. Die Wärmepumpen nehmen in der 5-Jahresperiode stark zu, während die Ölheizungen stark abnehmen.

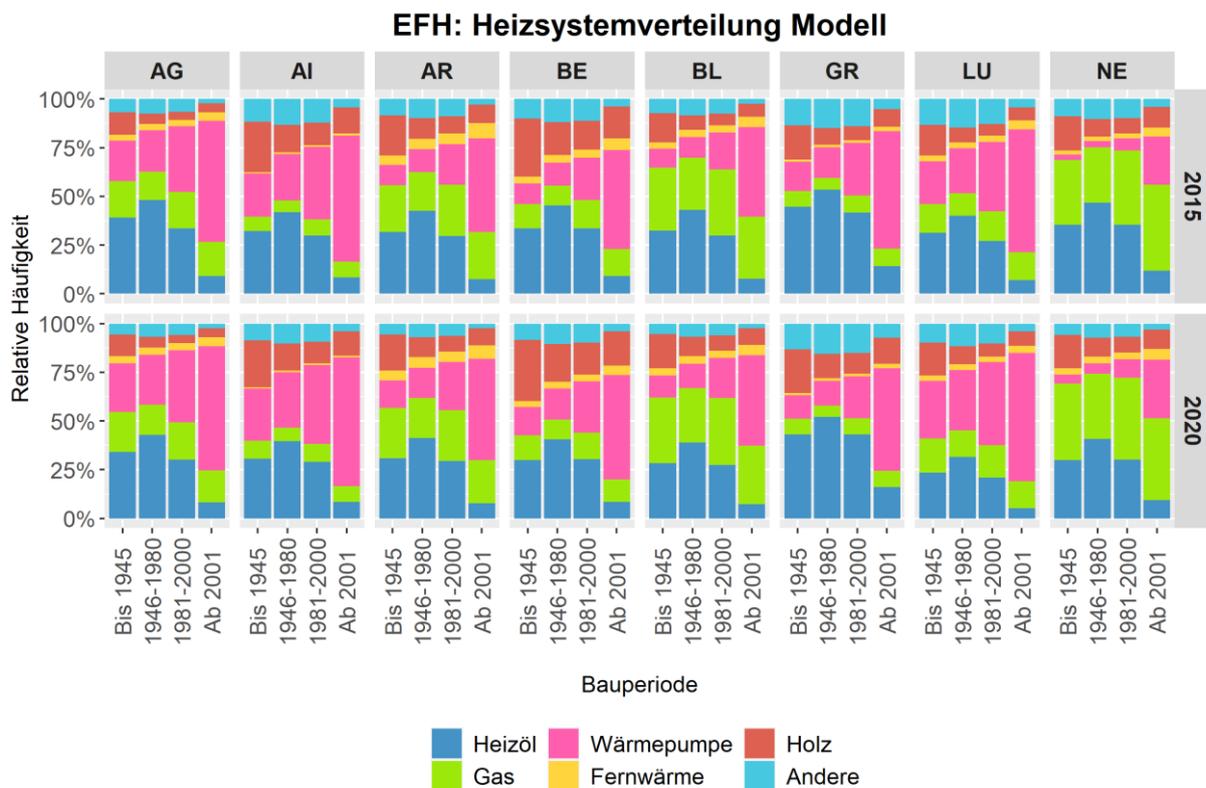


Abbildung 14: Heizsystemanteile pro Bauperiode bei EFH gemäss Regressionsmodell («predict») für die Zeitpunkte 2015 und 2020. (Quelle: Angaben Gebäudeeigentümer, Auswertung TEP Energy). Die Daten der weiteren Kantone und die Daten der weiteren Gebäudesektoren MFH und NWG werden den Auftraggebern in elektronischer Form zur Verfügung gestellt (File TEP_GPM_Kanton-2021-06-30_Teil1_Inputs.xlsx, Blatt «Hz-Systeme»).

Die Wechselraten leiten sich direkt aus den drei Zeitpunkten ab. Insbesondere Wärmepumpen und Gas sowie Fernwärme weisen einen Zuwachs auf (vgl. Abbildung 15). Heizsysteme mit Holz als Energieträger sowie «Andere» haben zwischen 2015 und 2020 leicht abgenommen. Der Anteil an Ölheizungen nimmt im Zeitraum zwischen 2015 und 2020 bei allen Gebäudesektoren stark ab. Bezüglich Bauperiode unterscheiden sich die Wechselraten nur minim. Bei den Gebäudesektoren ist ein stärkerer Zuwachs von Wärmepumpen bei den MFH und insbesondere EFH verglichen zu den NWG beobachtbar. Gasheizungen nehmen bei den MFH am stärksten zu, während Fernwärme am meisten bei den Nichtwohngebäuden zunimmt.

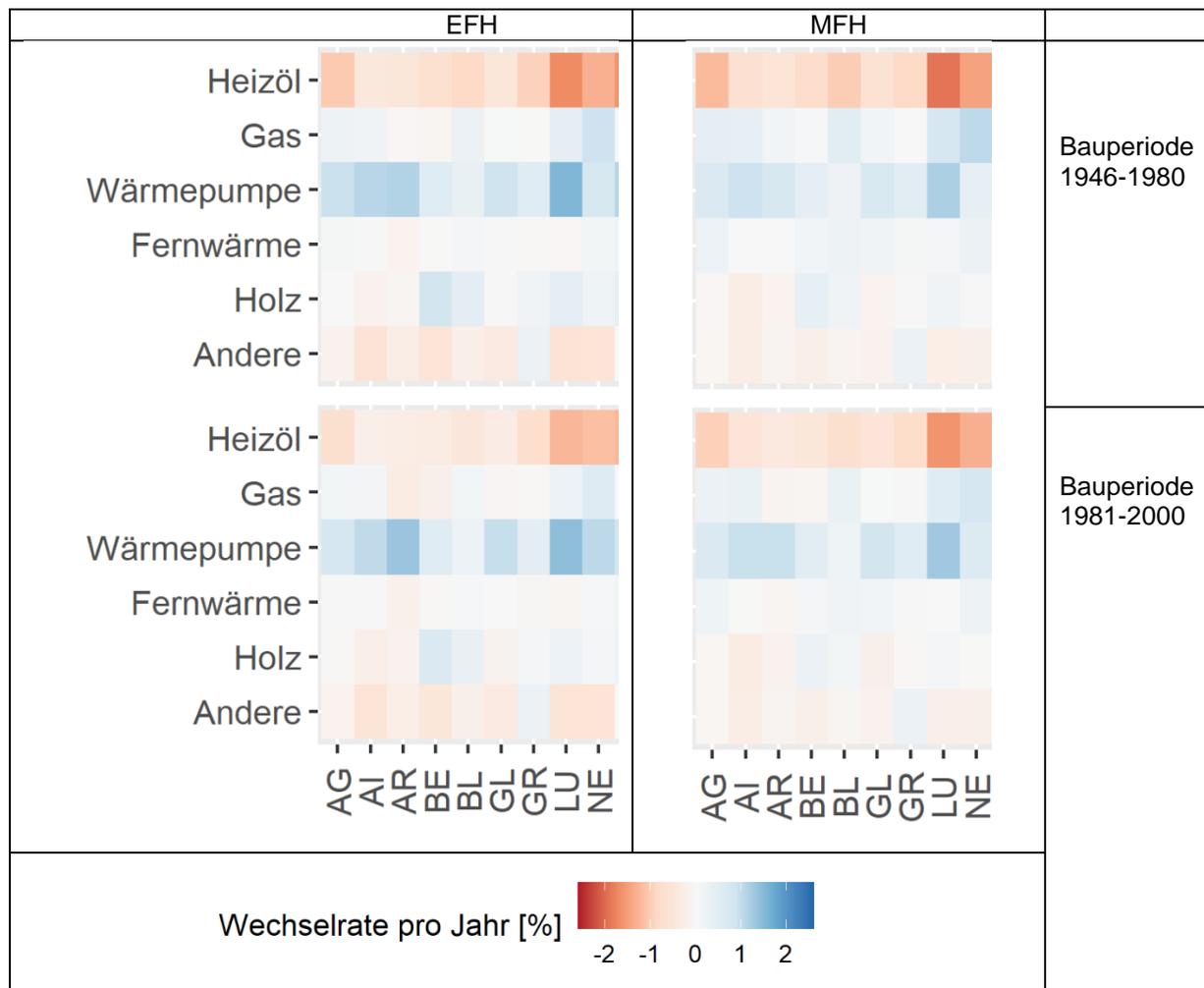


Abbildung 15: Wechselraten in %-Punkte pro Jahr für die verschiedenen Heizsysteme zwischen 2015 und 2020 differenziert nach Bauperiode und Gebäudesektor.

3.5.1 Validierung Energieträgeranteile

Für Gebäude mit Baujahr ab 2001 können die Heizsystemanteile aus der Stichprobenerhebung mit dem GWR verglichen werden (vgl. Abbildung 16 für eine Auswahl von drei Kantonen). Rot gefärbte Felder bedeuten eine Unterschätzung verglichen zum GWR, blau gefärbte Felder deuten auf eine Überschätzung verglichen zum GWR hin. Insgesamt beträgt die Abweichung für die Grossmehrheit der Fälle weniger als 5%, was auf eine zufriedenstellende Übereinstimmung der beiden Datenquellen hindeutet.

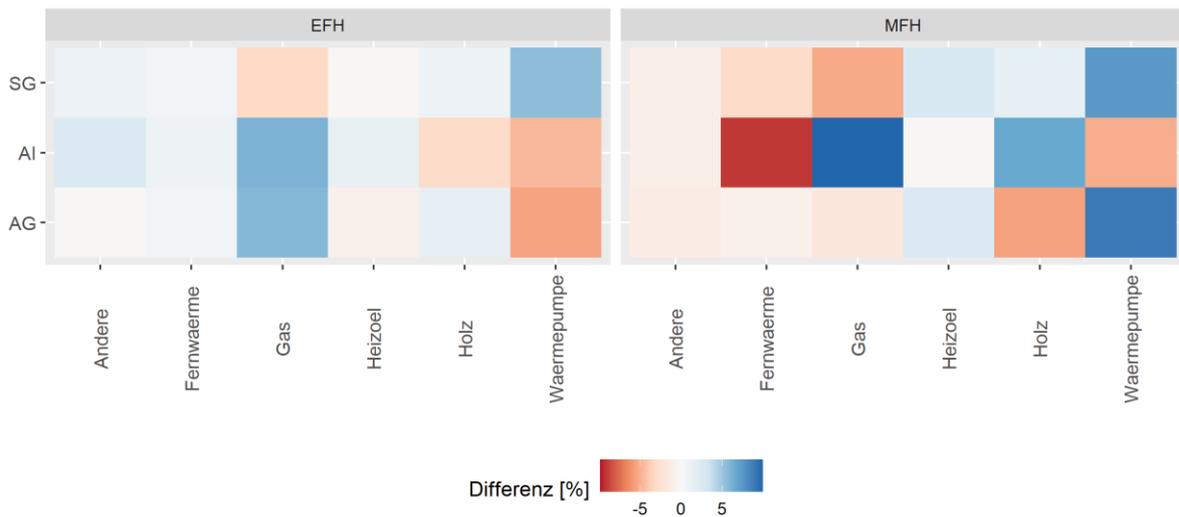


Abbildung 16: Differenz zwischen den modellierten Heizsystemanteilen aus der Stichprobenerhebung und den Daten aus dem GWR (in %-Punkten), exemplarisch für drei Kantone und Gebäude mit Baujahr ab 2001.

3.5.2 Warmwasser

Für das Warmwasser wird basierend auf der Erhebung unterschieden zwischen «gleich wie Heizung», «Winter wie Heizung», teilweise mit zusätzlichem System und separate Warmwasseraufbereitung (vgl. Abbildung 17). Für die Modellierung werden die Anteile deskriptiv aus der Erhebung ausgewertet und wie bei den Heizsystemen nach Kanton, Gebäudesektor und grober Bauperiode differenziert.

Gebäude, die im Winter den gleichen Energieträger wie für die Heizung einsetzen, setzen im Sommer zu 60% auf Elektrizität und zu 20% auf solarthermische Anlagen für die Warmwasseraufbereitung. Die verbleibenden 20% verteilen sich vorwiegend auf Heizöl, Gas und Wärmepumpen. Für Zusatzsysteme und separate Warmwasseraufbereitungen kommen zu 55% Elektrizität und zu 13% solarthermische Anlagen zum Einsatz. Die verbleibenden Anteile verteilen sich auch hauptsächlich auf Heizöl, Gas und Wärmepumpen.

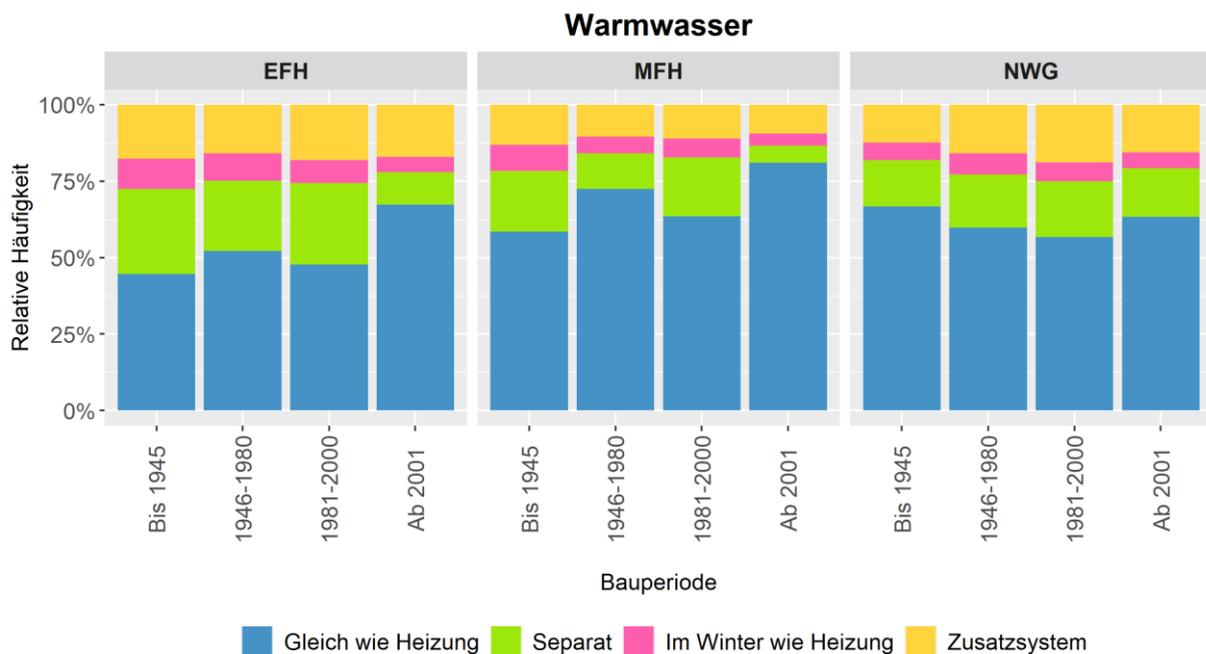


Abbildung 17: Warmwasseraufbereitung für die verschiedenen Gebäudesektoren und differenziert nach Bauperiode.

4 Methodik zur Berechnung von EBF, Heizsystem- und Energieträgeranteilen, EKZ und CO₂-Emissionen

4.1 Definitionen

Aufgrund der Ergebnisse und Erkenntnisse der vorgelagerten Datenanalysen (Kap. 3) wird ersichtlich, dass gewissen Datenquellen für die Berechnung der Emissionen weitergehend zu aggregieren sind, um der Datenlage gerecht zu werden und um die Übersichtlichkeit zu wahren. Zu diesem Zweck werden für die nachfolgend in diesem Kap. 4 beschriebene Berechnungsmethodik folgende spezifischen Definitionen eingeführt.

- Gebäudesektor: Einfamilienhäuser (EFH), Mehrfamilienhäuser (MFH), Nicht-Wohngebäude (NWG) gemäss Zuordnung in Tabelle 8 (letzte Spalte).
- GLASgrob: Zusammenfassung von Gebäudeklassen im Hinblick auf eine Reduktion der Differenzierung und eine gewisse Homogenität für das Treffen von Annahmen und für Auswertungen. Zuordnung siehe drittletzte Spalte in Tabelle 8.
- GKAT_GKLAS: Kombination der Gebäudekategorisierung GKAT (v.a. relevant für den Wohnbereich) und GKLAS. Motivation: Erhöhung der Übersichtlichkeit und Vermeiden, zwei Kategorisierungssysteme parallel führen zu müssen. Zuordnung siehe erste beiden Spalten der Tabelle 8.
- GBAUPgrob: Zusammenfassung der 13 Bauperioden aus dem GWR (GBAUP) auf 5 Bauperioden, die sich bautechnisch/architektonisch/historisch begründen lassen. Definition gemäss Zuordnung
- EPgrob: Erneuerungsperiode grob: 1991-2000, 2001-2010, 2011-2019
- EP: Erneuerungsperiode: 1991-1995, 1996-2000, 2001-2005, 2006-2010, 2011-2015, 2016-2019
- VZ: Verwendungszwecke Raumwärme (RW) und Warmwasser (WW)
- Energieträger: Zusammenfassung der Energieträger gemäss GWR, Beschreibung siehe Tabelle 10
- Heizsystem: Kombination von Wärmeerzeuger Heizen und Energieträger (Tabelle 10) gemäss Bezeichnung in Tabelle 11.
- Warmwassersystem: Systemdefinition mit Bezugnahme auf das Heizsystem, siehe Definition Tabelle 12.

Tabelle 8 Übersicht über verschiedenen Gebäudeklassen und -sektoren gemäss GWR (GKAT_GKLAS) und GPM (GKLASgrob und Gebäudesektor). Hier nicht definierte Abkürzungen siehe Abkürzungsverzeichnis (Kap. 0).

GKAT_GKLAS	Bezeichnung GKAT_GKLAS	GKLASgrob	Bezeichnung GKLASgrob	Gebäude-sektor
1021	Reine Wohngebäude: Einfamilienhaus	EFH	Einfamilienhaus	EFH
1025	Reine Wohngebäude: Mehrfamilienhaus	MFH	Mehrfamilienhaus	MFH
1030	Andere Wohngebäude (Wohngebäude mit Nebennutzung)	MFH		MFH
1040	Gebäude mit teilweiser Wohnnutzung	MFH		MFH
1211	Hotelgebäude	WEI	Weitere	NWG
1212	Andere Gebäude für kurzfristige Beherbergung	WEI	Weitere	NWG
1220	Bürogebäude	BUR	Bürogebäude	NWG
1230	Groß- und Einzelhandelsgebäude	HAN	Handel	NWG
1241	Gebäude des Nachrichtenwesens, Bahnhöfe, Abfertigungsgebäude und zugehörige Gebäude	WEI	Weitere	NWG
1261	Gebäude für Kultur- und Freizeitzwecke	WEI	Weitere	NWG
1262	Museen und Bibliotheken	WEI	Weitere	NWG
1263	Schul- und Hochschulgebäude, Forschungseinrichtungen	SCH	Schulgebäude	NWG
1264	Krankenhäuser und Facheinrichtungen des Gesundheitswesens	KRA	Krankenhäuser und Heime	NWG
1265	Sporthallen	WEI	Weitere	NWG
1272	Kirchen und sonstige Kultgebäude	WEI	Weitere	NWG
1274	Sonstige Hochbauten, anderweitig nicht genannt	WEI	Weitere	NWG

Anmerkung: Flächen von Beschäftigten des DL-Sektors in Gebäuden der Sektoren Industrie (GLAS 1251, 1252) und Landwirtschaft (GKLAS 1271) sowie GKLAS 1273 (Denkmäler) werden ebenfalls berücksichtigt.

Quelle: Merkmalskatalog GWR Version 4.1, Zuordnungen und Anpassungen TEP Energy

Tabelle 9 Übersicht der verschiedenen Bauperioden des GWR und deren Zuordnung auf fünf Bauperioden GBAUPgrob.

GBAUP gemäss GWR	Bezeichnung	GBAUPgrob gemäss Definition TEP	Bezeichnung GBAUPgrob gemäss Definition TEP
8011	Vor 1919	1	Vor 1945
8012	1919 bis 1945	1	Vor 1945
8013	1946 bis 1960	2	1946 bis 1980
8014	1961 bis 1970	2	1946 bis 1980
8015	1971 bis 1980	2	1946 bis 1980
8016	1981 bis 1985	3	1981 bis 2000
8017	1986 bis 1990	3	1981 bis 2000
8018	1991 bis 1995	3	1981 bis 2000
8019	1996 bis 2000	3	1981 bis 2000
8020	2001 bis 2005	4	2001 bis 2015
8021	2006 bis 2010	4	2001 bis 2015
8022	2011 bis 2015	4	2001 bis 2015
8023	Ab 2016	5	Ab 2016

Quelle: Merkmalskatalog GWR Version 4.1, Zuordnungen TEP Energy

Tabelle 10 Übersicht über die vorliegend verwendeten Energieträger (Energie-/Wärmequelle gemäss GWR).

GENH	Bezeichnung
7520	Gas
7530	Heizöl
7540	Holz (generisch)
7560	Elektrizität
7570	Sonne (thermisch)
7580	Fernwärme (generisch)
7598	Unbestimmt (Umw.W.)
7599	Andere

Quelle: Merkmalskatalog GWR Version 4.1, Anpassung TEP Energy

Bei der Wärmeerzeugung wird nicht direkt die Definition des GWR verwendet, sondern es werden die Informationen *Wärmeerzeuger Heizung GWAERZH* und *Energieträger GENH* gemäss Merkmalskatalog GWR Version 4.1 miteinander kombiniert (siehe Tabelle 11), dies im Hinblick auf eine intuitivere Lesbarkeit.

Tabelle 11 Übersicht über die vorliegend verwendeten Heizsysteme

HS_TEP	Bezeichnung
1	Heizölheizung
2	Gasheizung
3	Holzheizung
4	Fernwärme-Übergabestation
5	Wärmepumpe
8	Andere (wird gemäss Detailauswertung der Erhebung als Elektrizität interpretiert)
12	Sonne (Th.)

Quelle: Gebäudeparkmodell und Stichprobenerhebung TEP Energy

Im Hinblick auf die technische Charakterisierung im Bereich Warmwasser wird zwischen kombinierten Heiz- und Warmwassersystemen und ganz oder teilweise separaten Systemen unterschieden, weil sich diese bei den technischen Kennwerten und bei der Erneuerung / Substitution unterscheiden.

Tabelle 12 Übersicht über die vorliegend verwendeten Warmwassersysteme

	Bezeichnung
Energieträger WW gleich ET Heizung	Wie Tabelle 11
Energieträger im Winter wie Heizung	Ein Teil wie Tabelle 11, Rest: Strom, Solar, WP, Holz
Warmwasser mit Zusatzsystem	Ein Teil wie Tabelle 11, Rest: Strom, Solar, WP, Holz
Heizung und Warmwasser separat	Ein Teil wie Tabelle 11, Rest: Strom, Solar, WP, Holz

Quelle: Gebäudeparkmodell TEP Energy

In den nachfolgenden Kapiteln werden die Berechnungen für die einzelnen Datentabellen weitergehend erläutert und dokumentiert. Dies erfolgt zunächst für ein bestimmtes Basisjahr (Kapitel 4.3 bis 4.6) und anschliessend für die Beschreibung der Dynamik innerhalb der jeweiligen Reporting-Periode (vorliegend 2016 bis 2018).

4.2 Überblick über die Methodik

Der Berechnungsansatz ist in Abbildung 18 grafisch dargestellt. Damit wird der Zusammenhang zwischen den wichtigsten exogenen Dateninputs (bezeichnet mit Q1 bis Q6) und den berechneten Zwischen- und Endergebnissen aufgezeigt. Aus Abbildung 19 (und Tabelle 13) wird die attributsspezifische Differenzierung ersichtlich. Die verwendeten Verknüpfungs- und Aggregationsattribute sind bzgl. Gebäudetypisierung in Tabelle 8 und bzgl. Bauperiode in Tabelle 9 definiert.

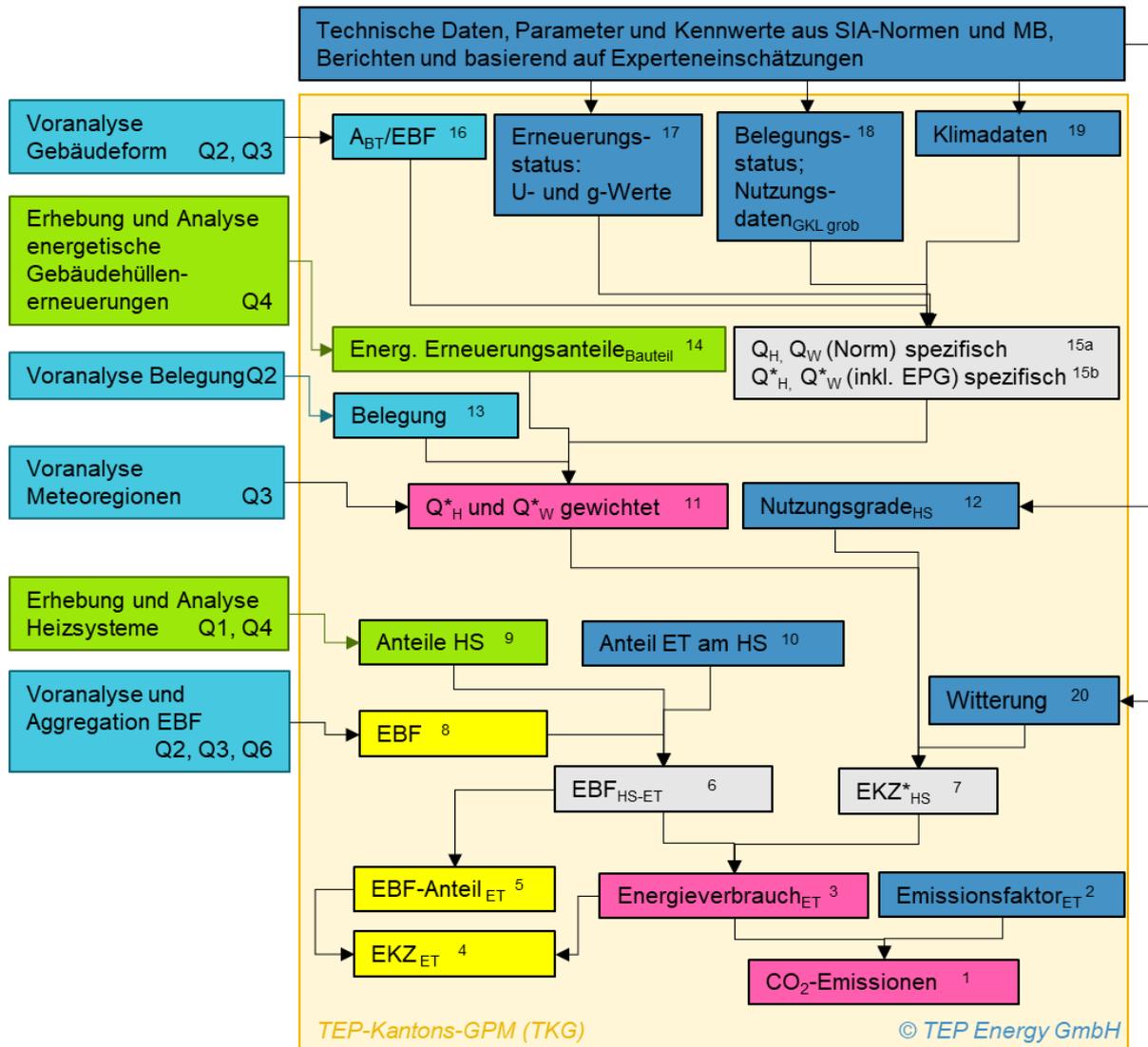
Der Berechnungsansatz lässt sich, vom Ergebnis her beginnend, wie folgt nachvollziehen, wobei die Ziffern 1 bis 20 auf die einzelnen Elemente in Abbildung 18 verweisen:

1. Die CO₂-Emissionen pro Kanton, Gebäudeklasse, Bauperiode und Energieträger ergeben sich aus dem Energieverbrauch in derselben Differenzierung (3) und den Emissionsfaktoren pro Energieträger (2).
2. Emissionsfaktoren pro Energieträger: direkte CO₂-Emissionen pro Energieeinheit gemäss Definition BAFU.
3. Energieverbrauch pro Energieträger: berechnet sich aus der EBF pro Heizsystem und Energieträger (6) und der Energiekennzahl pro Heizsystem (7).
4. Die Energiekennzahl pro Energieträger wird aus dem Energieverbrauch pro Energieträger (3) und der EBF pro Energieträger zurück gerechnet, welche aus der EBF pro HS und ET (6) aggregiert wird.
5. Der (EBF-bezogene) Energieträgeranteil (5) wird aus dem Energieverbrauch pro Energieträger (3) und aus der EBF pro HS und ET (6) aggregiert.
6. Die EBF pro Heizsystem und Energieträger errechnet sich aus der EBF (8), welche in erster Instanz mit den Anteilen der Heizsysteme (9) multipliziert wird. Bei Heizsystemen oder Gebäuden, die zwei Energieträger einsetzen, ist zudem mit dem entsprechenden Energieträgeranteil (10) zu multiplizieren (z.B. Anteil Elektrizität und Anteil Umweltwärme im Fall von Wärmepumpen).
7. Die Energiekennzahl pro Heizsystem errechnet sich aus dem Heizwärmebedarf Q_H und dem Wärmebedarf für Warmwasser Q_W (11) und dem Nutzungsgrad des entsprechenden Heizsystems (12). Beim Q_H handelt es sich um gewichtete Werte, bei denen Gebäude im Originalzustand und energetisch erneuerte Gebäude aggregiert werden.
8. Die EBF pro GKLAS, BP und KT wird durch umfangreiche Voranalysen bestimmt, bei denen Flächendaten des GWR, des GWR und des 3D-Modells von Swisstopo sowie Beschäftigtendaten von STATENT zur Anwendung kommen.
9. Die (EBF-bezogenen) Anteile werden durch eine Auswertung von Daten des GWR (neuere Gebäude) und von erhobenen Daten (übrige Gebäude) und ergänzend durch Annahmen (v.a. Analogieschlüsse) bestimmt.
10. Der Anteil der Energieträger bei Heizsystemen mit mehr als einem Energieträger wird mittels technischer Kennwerte (im Fall von Wärmepumpen als Funktion des JNG) oder mittels Annahmen bestimmt (beispielsweise Solaranteil bei bivalenten Systemen).
11. Die gewichteten Q_H -Werte errechnen sich aus den spezifischen Q_H -Werten pro Erneuerungsstatus (15) und den Anteilen der energetischen Erneuerungen pro Bauteil (14) sowie der Belegung der Gebäude und Wohnungen (13).

12. Die Nutzungsgrade der Heizsysteme basieren auf Annahmen, welche sich auf Normen, Forschungsberichte und Expertenangaben stützen, wobei letztere u.a. im Rahmen der Energieperspektiven 2050+ erarbeitet wurden.
13. Die Belegung der Gebäude stammt aus einer Auswertung des GWR und des GWS in Bezug auf den Hauptwohnsitz der Einwohnerinnen und Einwohner (damit können Leer- und Ferienwohnungen identifiziert werden).
14. Die energetischen Erneuerungsanteile pro Bauteil werden durch die Auswertung der Stichprobenerhebung sowie, in Kantonen ohne Erhebung, durch ergänzende Annahmen bestimmt.
15. Der Heizwärmebedarf wird in Anlehnung an die Norm SIA 380/1 bestimmt und entsprechend fliessen folgende Grössen ein: die Flächenanteile der Gebäudehülle (16), die U- und g-Werte gemäss energetischem Erneuerungsstatus (abhängig vom Zeitpunkt der letzten energetischen Erneuerung) (17), der Belegungsstatus (ganz, zeitweise oder nicht genutzt mit Auswirkungen auf die Raumtemperatur), Nutzungsdaten (z.B. zum Luftwechsel) (18) sowie die Klimadaten der relevanten Meteostation (19). Auf Ebene der Nutzenergie werden zudem die Effekte des sogenannten Energy Performance Gaps (EPG) berücksichtigt, gekennzeichnet durch $Q_{H,G}$: vereinfacht über die Anpassung der Innenraumtemperatur in Abhängigkeit der Bauperiode und des Belegungsstatus, welcher vor allem für Ferienhäuser und -wohnungen von Relevanz sind. Der Belegungsstatus ist auch für den Warmwasserbedarf von Relevanz.
16. Die geometrischen Verhältnisse der sichtbaren Gebäudehülle werden aus dem 3D-Modell von Swisstopo ausgewertet, indem für jedes der drei Bauteile Wand, Dach und Boden ein Regressionsmodell aufgestellt wird, welches das Verhältnis A_{BT}/A_E anhand der zwei Variablen «grobe Gebäudeklasse» und «grobe Bauperiode» erklärt. Beim Regressionsmodell für die Dachfläche fliesst zusätzlich als Variable der Dachtyp (Flachdach/Steildach) mit ein.
17. Die U- und g-Werte der Bauteile Wand, Dach, Fenster und Kellerdecke werden in Abhängigkeit der Bauperiode und der energetischen Erneuerungsperiode festgelegt.
18. Beim Belegungsstatus wird bei Wohngebäuden unterschieden zwischen ganz, zeitweise oder nicht genutzt, wobei eine teilweise Nutzung Ferienwohnungen charakterisiert. Leere Wohnungen werden mit «nicht-genutzt» attribuiert. Der Belegungsstatus hat Auswirkungen auf die Raumtemperatur. Zudem sind weitere Annahmen zu Nutzungsdaten zu treffen, namentlich zum energierelevanten Luftwechsel.
19. Die Klimadaten (Daten zu Aussentemperaturen und Strahlung) stammen aus verschiedenen Meteostandorten, welche einzelnen Kantonen oder Teilregionen in den Kantonen zugeordnet werden.
20. Der Einfluss der Witterungsschwankungen zwischen den verschiedenen Jahren auf die EKZ erfolgt über einen Korrekturfaktor, der auf den Heizgradtage (HGT) basiert.

Die Berechnungsmethodik besteht also zusammengefasst im Wesentlichen aus zwei Elementen:

1. Voranalyse verschiedener Datenquellen und Aufbereitung in adäquater Differenzierung als Input für das TEP-Kantons-GPM (TKG)
2. Verknüpfen der verschiedenen Inputtabellen über die jeweiligen Verknüpfungsattribute, um damit Zwischen- und Endergebnisse zu erzeugen. Dieser Schritt erfolgt im TEP-Kantons-GPM (TKG), welches einem Kohorten-Ansatz folgt und konzeptionell auf ein früheres gesamtschweizerisches GPM von TEP Energy aufbaut (Wallbaum et al. 2019).



Ziffern 1 bis 20: Hinweise auf textliche Erläuterungen,

Begrifflichkeit:

A_{BT}/EBF : Gebäudehüllzahl gemäss SIA 380/1, differenziert nach Bauteil (BT), Q_W : Warmwasserwärmebedarf gemäss SIA 380/1, Q_H : Heizwärmebedarf gemäss SIA 380/1, EPG: Energy Performance Gap, EBF: Energiebezugsfläche, HS: Heizsystem, WS: Warmwassersystem, ET: Energieträger, EKZ: Energiekennzahl, ES: Ecospeed

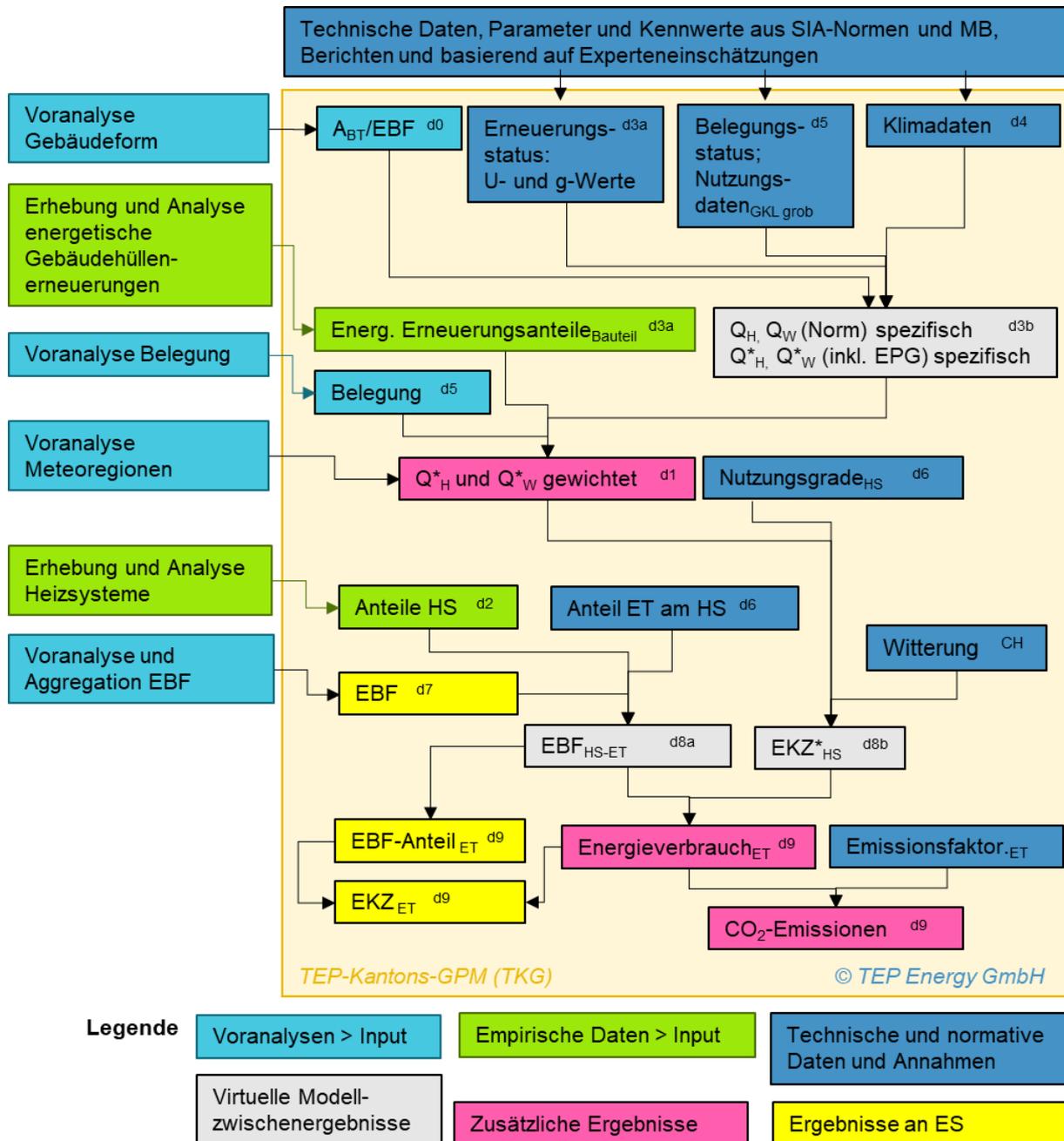
Quellen:

Q1: GWR BFS Q2: GWS BFS Q3: 3D-Modell Swisstopo Q5: SIA-Normen und Projektberichte Q6: STATENT des BFS
Q4: Stichprobenerhebung TEP

Abbildung 18 Modellkonzept (konzeptionelles Datenmodell) für die Berechnung von Energie und CO_2 -Emissionen in einem Normjahr in der Übersicht.

Die nachfolgend dargestellten Differenzierungen (Abbildung 19) gelten grundsätzlich für beide Verwendungszwecke (VZ) Raumwärme und Warmwasser, wobei einige Datentabellen für den VZ Warmwasser aus offensichtlichen Gründen nicht benötigt werden (namentlich alle Gebäudehüllen bezogenen Daten).

Hinweis: Aus Gründen der Lesbarkeit wird VZ nachfolgend und in den Indizes nicht immer explizit erwähnt, wenn es offensichtlich ist, dass es beim Beschriebenen oder Abgebildeten entweder um Raumwärme oder um Warmwasser oder um beides geht.



Begrifflichkeit: Siehe Abbildung 18, Tabelle 8 und Tabelle 9.

Differenzierung:

d_0 : Pro GKLASgrob, BPgrob
 d_{3a} : Pro Sektor, BPgrob, EP, KT
 d_4 : Pro Kanton und Meteostation
 d_7 : Pro GKLAS, BP, KT,
 d_9 : Pro GKLAS, BP, KT, ET

d_1 : Pro GKLASgrob, BPgrob, KT d_2 : Pro Sektor, BPgrob, HS, KT
 d_{3b} : GKLASgrob, BPgrob, EPgrob, KT, Meteostation
 d_5 : pro Gebäudesektor und Kanton d_6 : Pro Sektor, BPgrob, HS
 d_{8a} : Pro GKLAS, BP, KT, HS, ET, d_{8b} : Pro GKLASgrob, BPgrob, HS, KT

Abbildung 19 Modellkonzept (konzeptionelles Datenmodell) für die Berechnung von Energie und CO_2 -Emissionen in einem Normjahr inkl. Angabe der Differenzierungsattribute d_1 bis d_9 .

Der Übersichtlichkeit halber ist die in Abbildung 19 aufgeführte Differenzierung in Tabelle 13 in tabellarischer Form dargestellt. In der letzten Spalte dieser Tabelle wird auch aufgezeigt, welche der Inputdaten und als Folge davon welche Zwischen- und Endergebnisse sich im Zeitablauf der Berichtsperiode 2016 bis 2018 verändern.

Tabelle 13 Übersicht über die Datentabellen 1-20 und ihre Differenzierung gemäss Abbildung 19

	Bezeichnung	Sektor	GKLASgrob	GKAT_GKLAS	GBAUP_grob	GBAUP	Erneuerungsperiode	VZ (RW, WW)	Bauteil	Heizsystem	Energieträger	Kanton	Klimastation	Zeitliche Veränderung (2016-2018)
1	CO ₂ -Emissionen			✓		✓		✓			✓	✓		✓
2	CO ₂ -Emissionsfaktor										✓			
3	Endenergie pro ET			✓		✓		✓			✓	✓		✓
4	EKZ pro Energieträger			✓		✓		✓			✓	✓		✓
5	EBF-Anteil _{ET}			✓		✓		✓			✓	✓		✓
6	EBF pro HWS und ET			✓		✓		✓		✓	✓	✓		✓
7	EKZ pro HWS		✓		✓			✓		✓		✓		✓
8	EBF			✓		✓						✓		✓
9	Anteile HS	✓			✓			✓		✓		✓		✓
10	Anteile ET am HS									✓	✓			✓
11	Q* _H und Q* _W gewichtet		✓		✓			✓				✓		✓
12	Nutzungsgrade _{HS}	✓			✓					✓				
13	Belegung	✓										✓		
14	Energetische Erneuerungsanteile	✓			✓		✓	✓	✓			✓		✓
15a	Q _H , Q _W (Norm) spezifisch		✓		✓		✓	✓				✓	✓	✓
15b	Q* _H , Q* _W (inkl. EPG) spezifisch		✓		✓		✓	✓				✓	✓	✓
16	A _{BT} /EBF		✓		✓		✓	✓	✓					
17	Erneuerungsstatus: U- und g-Werte	✓			✓		✓	✓	✓			✓		
18	Belegungsstatus; Nutzungsdaten _{GKLASgrob}	✓										✓		
19	Klimadaten											✓	✓	
20	Witterung _{CH, Jahr}													✓

Quelle: TEP Energy

4.3 Mengengerüst

4.3.1 Energiebezugsflächen

Objekt: In diesem Abschnitt wird die Berechnung der EBF (Datentabelle 8 gemäss Abbildung 18) beschrieben.

Ansatz: Die EBF des Bereichs Wohnen wird ausgehend von der Wohnungsfläche gemäss Gebäude- und Wohnungsstatistik (GWS) berechnet. Zu diesem Zweck wird sie aggregiert, so dass die aggregierten Flächen nach folgenden Attributen differenziert sind:

Differenzierung:

- GebäudeKategorieKlasse (GKAT_GKLAS) gemäss Definition in Tabelle 8
- Bauperiode (GBAUP) gemäss Definition in Tabelle 18
- Kanton (KT)

Umsetzung des Ansatzes (Berechnung):

Die resultierenden Wohnflächen werden gemäss Gleichung (12) skaliert.

$$EBF \text{ Wohnen}_M = \text{Wohnfläche}_M * \text{Skalierungsfaktor} \quad (12)$$

Die Skalierung erfolgt mit folgenden spezifischen Skalierungsfaktoren gemäss Abbildung 20.

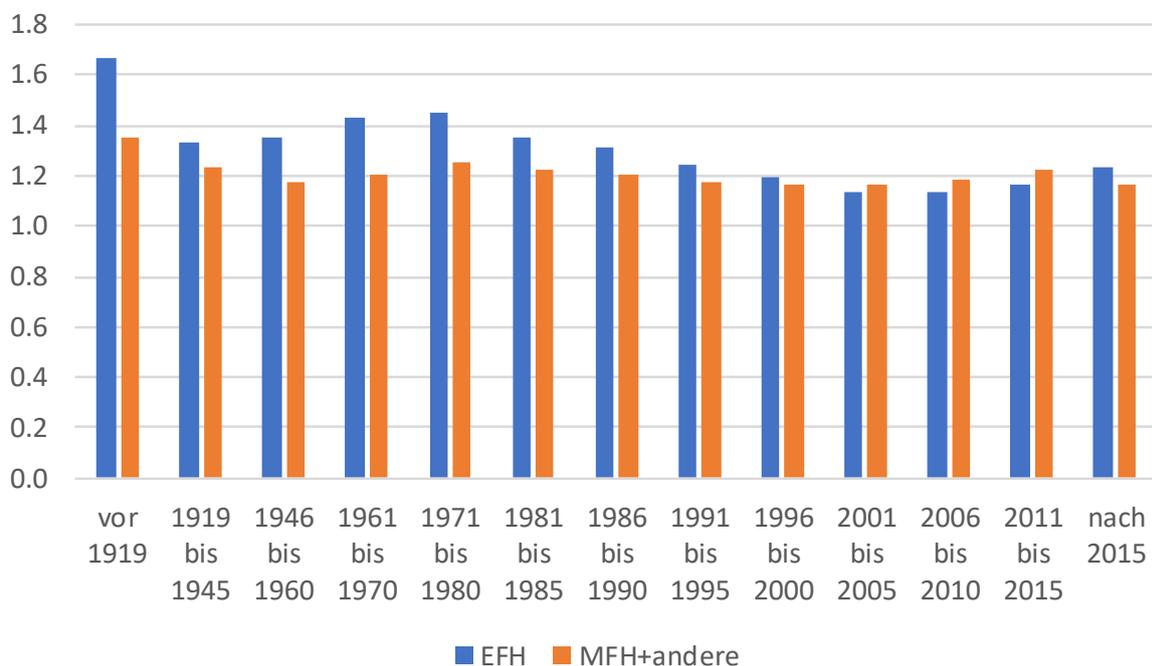


Abbildung 20 Skalierungsfaktor zwischen Wohnfläche und EBF nach Gebäudekategorie (Einfamilienhäuser in Blau, restliche Gebäude in Orange) und nach Bauperiode.

Die EBF des Bereichs Nicht-Wohnen (Teil Dienstleistungssektor) wird wie folgt berechnet:

- Berechnung GF pro Gebäude aus dem 3D-Modell gemäss oben beschriebenem geometrischen Verfahren (Text oberhalb Abbildung 1 in Kap. 3.2.1). Bei Gebäuden, bei denen

Daten aus dem 3D-Modell fehlen (ca. 20% der Gebäude im Nicht-Wohn-Bereich), wird die Fläche mittels der Anzahl Beschäftigten pro Standort und Kennwerten Fläche pro Beschäftigten gemäss Abbildung 21 bestimmt.

- Berechnung der EBF mit einem GF-zu-EBF Faktor (Faktor 0.83 für alle Gebäudetypen).
- Abzug der Wohn-EBF von der Gesamt-EBF.
- Aggregation der Flächen nach denselben Attributen wie bei den Wohn-EBF (siehe oben).

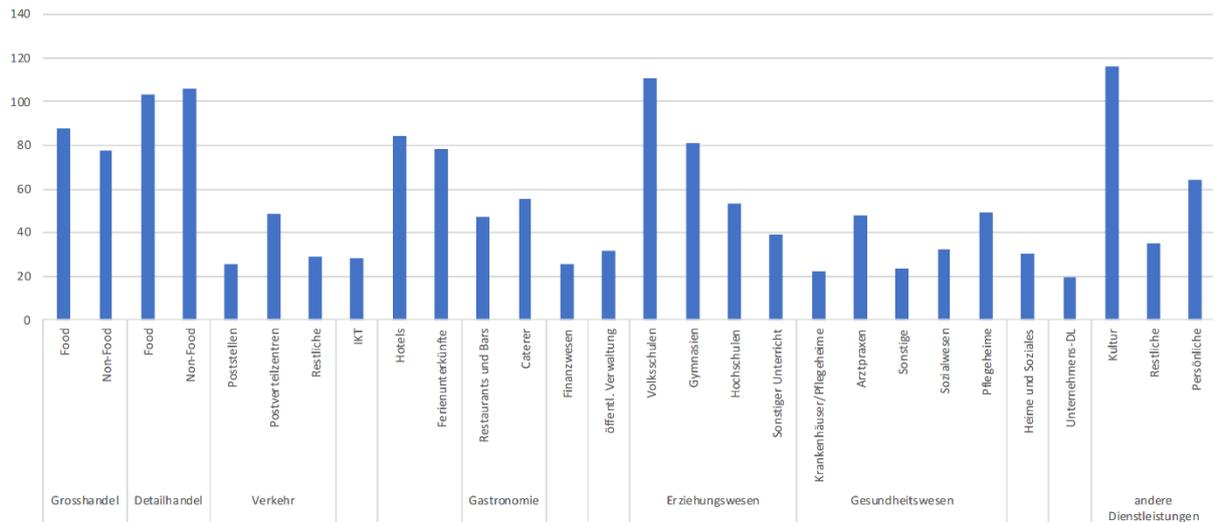


Abbildung 21 Flächenkennwerte (m² EBF pro Vollzeitäquivalente) pro Branche

Die zeitliche Entwicklung der Energiebezugsflächen des Wohnsektors ergibt sich durch Veränderung der Wohnflächen der verschiedenen Jahresausgaben der GWS. Die zeitliche Entwicklung der EBF der Nicht-Wohn-gebäude, welche im GWR erfasst sind, wird basierend auf Mutationen durch Neubau und Abriss ermittelt. Für alle Gebäude ohne GWR-Eintrag ist zwischen 2016 und 2018 keine jährliche Veränderung berücksichtigt.

4.3.2 Differenzierung der EBF nach Heiz- bzw. Warmwassersystemen und nach Energieträgern

Objekt: In diesem Abschnitt wird die Berechnung der EBF (Datentabelle 6 gemäss Abbildung 18) beschrieben.

Ansatz: Die gemäss vorangehendem Kap. 4.3.1 berechneten EBF (Datentabelle 8 gemäss Abbildung 18) werden in der Folge weiter nach Heiz- bzw. Warmwassersystemen und nach Energieträgern differenziert. Aufgrund der unterschiedlichen Anteile erfolgt dies separat für die VZ Raumwärme und Warmwasser. Hierbei werden die Heizsysteme gemäss Tabelle 11, die Warmwassersysteme gemäss Tabelle 12 und die Energieträger nach Tabelle 10 unterschieden.

Differenzierung: Die Anteile der Heiz- und Warmwassersysteme unterscheiden sich nach folgenden Merkmalen:

- Heiz- bzw. Warmwassersystem (HWS) gemäss Tabelle 11 bzw. Tabelle 12

- Energieträger (ET) nach Tabelle 10
- GebäudeKategorieKlasse (GKAT_GKLAS)
- Bauperiode (GBAUP) gemäss Definition in Tabelle 18
- Kanton (KT)

Umsetzung des Ansatzes (Berechnung):

Die Differenzierung der EBF erfolgt, indem die EBF-Werte (Datentabelle 6 gemäss Abbildung 18) mit den Anteilen der Heiz- und Warmwassersysteme multipliziert werden (Datentabelle 9 gemäss Abbildung 18). Dies bedeutet, dass die EBF-Tabelle entsprechend «aufgespannt» wird. Dies erfolgt getrennt einmal nach den Heizsystemen und einmal nach den Warmwassersystemen. Aus einer Zelle der EBF-Tabelle ergeben sich entsprechend aus 7 Heizsystemen max. 7 Zellen (wenn alle Heizsysteme vorkommen). Bei Heizsystemen oder Gebäuden, die zwei Energieträger einsetzen, ist zudem mit dem entsprechenden Energieträgeranteil zu multiplizieren (z.B. Anteil Elektrizität und Anteil Umweltwärme im Fall von Wärmepumpen). Daraus resultiert für den VZ Raumwärme eine EBF-Tabelle mit folgender Differenzierung:

- HS gemäss Tabelle 11
- GebäudeKategorieKlasse GKAT_GKLAS gemäss Definition in Tabelle 8
- Bauperiode (GBAUP) gemäss Definition in Tabelle 18
- Kanton (KT)

Beim Warmwasser wird sinngemäss vorgegangen, wobei für die kombinierten Systeme (Energieträger WW gleich ET Heizung) und separaten Systeme (Warmwasser ganzjährig oder saisonal mit separatem Zusatzsystem) die Annahmen gemäss Tabelle 14 getroffen werden. Die Anteile in der ersten Spalte teilen sich gemäss den Energieträgeranteilen der Heizsysteme weiter auf und sind demzufolge kantonal verschieden. Die Anteile der übrigen Spalten sind beim derzeitigen Stand der Umsetzung der Methodik für die ganze Schweiz dieselben.

Tabelle 14 **Energieträgeranteile bei den verschiedenen Warmwassersystemen**

	Gleicher ET wie HZ	Energieträger WW unterschiedlich von HZ				Total
		Strom	Solar	WP	Holz	
Energieträger WW gleich ET Heizung	100%					100%
Energieträger im Winter wie Heizung	73%	66.4%	23.5%	7.4%	2.7%	100%
Warmwasser mit Zusatzsystem	16%	66.0%	15.8%	15.1%	3.2%	100%
Heizung und Warmwasser separat	16%	66.0%	15.8%	15.1%	3.2%	100%

Quelle: Auswertungen Stichprobenerhebung und Annahmen TEP Energy

Anmerkung: In einem nächsten Schritt sind die Systeme und Energieträger für das Warmwasser weitergehend auszuwerten und zu differenzieren.

4.4 Energiekennzahlen differenziert nach Heiz- und Warmwassersystemen (HWS)

Die Energiekennzahlen werden zunächst mit der Differenzierung pro HWS (und weiteren Attributen) differenziert (Datentabelle 7 gemäss Abbildung 18); die Berechnung der EKZ mit der Differenzierung nach Energieträger (Datentabelle 4 gemäss Abbildung 18) wird im Kap. 4.6.3 beschrieben.

Das methodische Vorgehen für die Bestimmung der HWS spezifischen Energiekennzahlen gliedert sich wie folgt:

1. Berechnen der normativen spezifischen Heizwärme- und Warmwasserbedarfswerte Q_H und Q_W (Datentabelle 15a gemäss Abbildung 18), dies für die Neubauten der verschiedenen Bauperioden (Originalzustand als Ausgangslage) sowie der verschiedenen energetischen Erneuerungszustände (wann wurde welches Bauteil erneuert). Dies in Anlehnung an SIA 380/1.
2. Festlegen der spezifischen Heizwärme- und Warmwasserbedarfswerte Q^*_H und Q^*_W unter Berücksichtigung des realen Nutzerverhaltens und des Energy Performance Gaps sowie des Belegungsstatus (Datentabelle 15b gemäss Abbildung 18).
3. Bestimmung der Anteile der in der Vergangenheit durchgeführten energetischen Erneuerungen pro Bauteil (Datentabelle 14 gemäss Abbildung 18). siehe Kap. 3.3.6
4. Gewichtung nach den in der Vergangenheit durchgeführten energetischen Erneuerungsanteile sowie nach der Belegung (Häufigkeit der nur teilweise belegten Wohnungen, Belegungsdichte bei den ganz belegten Wohnungen).
5. Verknüpfen mit den HWS spezifischen Nutzungsgraden zum Berechnen der EKZ für das Normjahr.
6. Umrechnen der EKZ für ein spezifisches Jahr aufgrund der Witterung des entsprechenden Jahres.

Auf diese Schritte wird nachfolgend näher eingegangen.

4.4.1 Spezifische Nutzenergie Raumwärme und Warmwasser (normativ)

Objekt: In diesem Abschnitt wird die Berechnung der normativen spezifischen Nutzenergie Raumwärme und Warmwasser (Datentabelle 15a gemäss Abbildung 18) beschrieben.

Ansatz: Der Nutzenergiebedarf Q'_H für Raumwärme wird in Anlehnung an SIA 380/1 berechnet. Dies erfolgt zum einen für den Gebäudebestand zum Zeitpunkt ihres Neubaus und zum anderen für die verschiedenen Erneuerungszustände (energetische Erneuerung nach Bauteil und Erneuerungsperiode). Zu diesem Zweck werden für jede Kohorte für jedes Bauteil die U- und g-Werte nach der Erneuerung festgelegt (Datentabelle 17 gemäss Abbildung 18). Der Nutzenergiebedarf Q'_W für Warmwasser basiert ebenfalls auf SIA 380/1.

Differenzierung: Die Differenzierung der spezifischen Nutzenergiebedarfswerte ergibt sich aus der Differenzierung der verschiedenen Eingangsdaten (Datentabellen 16 bis 19 gemäss Abbildung 18). Diese unterscheidet sich zwischen Raumwärme und Warmwasser und präsentiert sich wie folgt:

Nutzenergie Raumwärme Q'_H :

- GKLASgrob gemäss Definition in Tabelle 8

- Bauperiode (GBAUPgrob) gemäss Definition in Tabelle 18
- Erneuerungsperiode (EPgrob)
- Kanton (KT)
- Klimastation (KS)

Nutzenergie Warmwasser Q'_w :

- GKLASgrob gemäss Definition in Tabelle 8
- Kanton (KT), wobei bei derzeitigem Stand der Umsetzung nur der Wohnbereich nach Kanton unterschieden

Datengrundlagen:

- Flächenverhältnisse Bauteile zu EBF ($A_{th, BT} / A_E$): Datentabelle 16 gemäss Abbildung 18
- Erneuerungsstatus pro Bauteil und darauf bezogene U- und g-Werte: Datentabelle 17 gemäss Abbildung 18
- Belegungsstatus: Datentabelle 18 gemäss Abbildung 18
- Nutzungsdaten gemäss SIA 380/1
- Klimadaten pro Klimastation: Datentabelle 19 gemäss Abbildung 18 gemäss SIA 2028

Umsetzung des Ansatzes (Berechnung)

Die Berechnung des spezifischen Nutzenergiebedarfs erfolgt für die beiden Verwendungszwecke Raumwärme Q'_H und Warmwasser Q'_w separat.

Umsetzung Verwendungszweck Raumwärme

Der Heizwärmebedarf Q'_H wird in Anlehnung an SIA 380/1 berechnet. «In Anlehnung» bedeutet, dass bei der Berechnung (leicht) von der Norm SIA 380/1 abgewichen wird. Beispielsweise werden Eigen- und Horizontverschattungen sowie Wärmebrücken nicht explizit, sondern nur pauschal berücksichtigt. Dies wird durch die Notation mit einem Apostroph gekennzeichnet (Q'_H statt Q_H). Die Berechnungen basieren auf folgenden Eingangsgrössen:

- geometrische Verhältnisse des Gebäudeparks (Datentabelle 16 gemäss Abbildung 18), basierend auf den Auswertungen im Kap. der geometrischen Verhältnisse (Kap. 3.3.4). Die daraus resultierenden Ergebnisse (Tabelle 15) dienen als Eingangsgrösse für die weiteren Berechnungen.
- jeweilige bautechnische Kennwerte (U- und g-Werte) der verschiedenen energetischen Zustände (Datentabelle 17 gemäss Abbildung 18), siehe Tabelle 16 und davor stehende textliche Erläuterungen.
- normative Kennwerte wie Nutzung, Belegung, Raumtemperaturen etc. (Datentabelle 18 gemäss Abbildung 18, siehe Tabelle 17)
- Klimadaten (Datentabelle 19 gemäss Abbildung 18), siehe SIA 2028

Die Annahmen zu den Flächenverhältnissen $A_{th, BT} / A_E$: für die Bauteile Wand, Dach, Kellerdecke und Fenster entstammen aus den in Kap. 3.3.4 beschriebenen Analysen und Auswertungen. Die Werte der opaken Bauteile sind in Tabelle 15 dargestellt.

Tabelle 15 Angenommene Flächenverhältnisse $A_{th, BT} / A_E$: für die Bauteile Boden (Kellerdecke), Fassade, Flachdach und Steildach, differenziert nach GKLAS_{grob} (Definition siehe Tabelle 8) und GBAUPgrob

GBAUPgrob	EFH	MFH	BUR	HAN	KRA	SCH	WEI
Boden							
1	0.52	0.31	0.34	0.47	0.35	0.43	0.45
2	0.54	0.34	0.36	0.50	0.38	0.45	0.48
3	0.51	0.31	0.33	0.47	0.35	0.42	0.45
4	0.52	0.32	0.34	0.48	0.36	0.43	0.46
5	0.48	0.28	0.30	0.44	0.32	0.39	0.42
Fassade (inkl. Fenster und Verglasungen)							
1	1.27	0.90	0.76	0.73	0.81	0.83	0.92
2	1.25	0.88	0.74	0.71	0.78	0.80	0.90
3	1.16	0.80	0.66	0.63	0.70	0.72	0.82
4	1.18	0.81	0.67	0.64	0.71	0.73	0.83
5	1.10	0.73	0.59	0.56	0.64	0.66	0.75
Flachdach							
1	0.63	0.35	0.36	0.50	0.38	0.45	0.51
2	0.59	0.31	0.32	0.46	0.34	0.41	0.47
3	0.60	0.32	0.33	0.47	0.35	0.42	0.48
4	0.59	0.31	0.32	0.46	0.34	0.42	0.47
5	0.54	0.26	0.27	0.40	0.29	0.36	0.41
Steildach							
1	0.77	0.49	0.50	0.63	0.52	0.59	0.65
2	0.73	0.45	0.46	0.60	0.48	0.55	0.61
3	0.74	0.46	0.47	0.60	0.49	0.56	0.62
4	0.73	0.45	0.46	0.60	0.48	0.56	0.61
5	0.68	0.39	0.41	0.54	0.43	0.50	0.55

Quelle: Auswertungen und Annahmen TEP Energy

Die energetische Wirkung von energetischen Erneuerungen hängt vom U-Wert der Bauteile im Ausgangszustand vor der Erneuerung und von der Dämmstärke bzw. im Fall des Fensters von den U- und g-Werten der neuen Fenster ab. Die Ausgangswerte hängen massgeblich von der ursprünglichen Neubauweise und damit von der Bauperiode sowie von den bereits durchgeführten Erneuerungsmassnahmen ab (besonders relevant im Bereich Fenster). Wegen des bautechnischen Fortschritts hängt der Erneuerungserfolg zudem vom Zeitpunkt der Massnahmenumsetzung, d.h. von der energetischen Erneuerungsperiode ab. Ausgehend von einer gesamtschweizerischen Betrachtung des historischen Verlaufs der U-Werte (siehe Tabelle 26 im Anhang für Fenster und Tabelle 27 für opake Bauteile) werden für jeden Kanton Annahmen gemäss Tabelle 16 getroffen.

Die verwendeten g-Werte ergeben sich aus den U-Werten und dem Zusammenhang zwischen U-Werten und g-Werten der typischen Produkte der jeweiligen Neubau- und Erneuerungsperioden und stammen aus Forschungsberichten (siehe Jakob et al. 2002 und Jakob et al. 2006 für typische Werte bis ca. 2005) und weiteren Grundlagen wie z.B. Produktkatalogen.

Tabelle 16 U-Werte nach energetischem Zustand bei Wänden: U-Werte im Ausgangszustand pro grobe Bauperiode (GBAUP_{grob}) und U-Werte nach energetischen Erneuerungen nach Erneuerungsperiode, exemplarisch für Kanton BE. ^(D+)

Bauperiode	Ausgangszustand nicht erneuert	Erneuerungsperiode (EP _{grob})		
		1991 bis 2000	2001 bis 2010	2011 bis 2018
Vor 1946	0.90	0.45	0.35	0.20
1946 bis 1980	1.05	0.45	0.35	0.20
1981 bis 2000	0.45	0.45	0.35	0.20
2001 bis 2015	0.30	n.a.	n.a.	n.a.
2016 bis 2020	0.20	n.a.	n.a.	n.a.

^{D+} Die detaillierten Annahmen werden den Auftraggebern als Excel-Tabellen zur Verfügung gestellt (File TEP_GPM_Kanton-2021-06-30_Teil1_Inputs.xlsx, Blatt «_kt_input_san_rate»)

Quelle: Annahmen Kantonsvertreter und TEP Energy

Anmerkung: Die Q_H Werte werden auch für Neubauten der jüngeren Vergangenheit mittels der Annahme von U-Werten mit einer SIA 380/1 Berechnung bestimmt (und nicht durch die direkte Annahme solcher Werte, z.B. gemäss Abbildung 6). Dieses Vorgehen ist methodisch begründet, denn damit können die Effekte von energetischen Erneuerungsmassnahmen konsistenter abgebildet werden. Nachteil: es kann dazu führen, dass die berechneten Q_H Werte etwas tiefer ausfallen als es die Anforderungen von SIA bzw. der Kantone erlauben würden. Im Hinblick auf eine bessere Übereinstimmung zwischen Berechnung und (punktuell) vorliegender Verbräuche können die U-Werte iterativ etwas angehoben werden, um damit die gesetzlichen Anforderungen $Q_{H,li}$ sowie mit Q_H^* reale Werte besser zu treffen (siehe auch folgendes Unterkapitel).

Umsetzung Verwendungszweck Warmwasser

Der Nutzenergiebedarf Q_w für WW basiert ebenfalls auf SIA 380/1, wobei die normativen Kennwerte der Kategorien I bis XII der SIA 380/1 den groben Gebäudeklassen GKLAS_{grob} zugeordnet und mit der Belegung skaliert wurden. Die Belegung wurde für die Wohngebäude anhand der «Anzahl Personen im Privathaushalt in der Wohnung (total)», differenziert nach Gebäudesektor (EFH und MFH), und den entsprechenden Flächen berechnet. Für die Nicht-Wohngebäude wurde auf die Personen gemäss STATENT abgestützt. Die resultierenden Werte für den spezifischen Wärmebedarf für WW sind in Tabelle 17 dokumentiert.

Tabelle 17 Annahmen zu Raumtemperaturen, Wärmebedarf für Warmwasser und weiteren Kennwerten bezugnehmend auf SIA 380/1, differenziert nach GKLAS_{grob}

	EFH	MFH	BUR (Büro)	HAN (Handel)	KRA (Spitäler/ Heime)	SCH (Schulen)	WEI (Weitere)
Raumtemperatur (°C)	20.0	20.0	19.7	18.6	20.1	19.2	19.9
Personenfläche (m ² /P)	50.0	31.2	9.0	10.6	9.4	4.8	5.4
Elektrizität (MJ/m ²)	79	101	71	107	91	36	71
Reduktionsfaktor _{FWä}	0.7	0.7	0.9	0.8	0.7	0.9	0.9
Luftwechselrate	1.3	1.3	2.8	2.9	4.5	5.5	7.7
Wärmebedarf WW (MJ/m ²)	50.4	75.6	8.3	8.0	190.2	36.2	9.5

4.4.2 Spezifische Nutzenergie Raumwärme und Warmwasser (inkl. Nutzereinfluss und EPG)

Objekt: In diesem Abschnitt wird die Berechnung der spezifischen Nutzenergie Raumwärme und Warmwasser (Datentabelle 15b gemäss Abbildung 18) unter Berücksichtigung von Abweichungen von der Norm SIA 380/1 beschrieben, um damit reale Nutzungsbedingungen und weitere Aspekte des Energy Performance Gap zu berücksichtigen. Diese werden mit Q^*_H (Raumwärme) bzw. Q^*_W (Warmwasser) bezeichnet.

Ansatz: Die Nutzenergiebedarfswerte Q^*_H für Raumwärme und Q^*_W für Warmwasser werden in Anlehnung an SIA 380/1 berechnet, wobei in der Regel die selben Einflussfaktoren wie für die Berechnung des Q_H berücksichtigt werden (siehe Kap. 4.4.1). Eine Ausnahme bilden Innenraumtemperaturen und Belegungsdichte, um dem EPG und der spezifischen Nutzung von Ferien- und Leerstandswohnungen Rechnung zu tragen.

Differenzierung: Die Differenzierung der spezifischen Nutzenergiebedarfswerte ergibt sich aus der Differenzierung Q_H und Q_W : (siehe Kap. 4.4.1).

Datengrundlagen:

- Datentabelle 15a gemäss Abbildung 18
- Annahmen zur Innenraumtemperatur (°C) in Abhängigkeit der Bauperiode
- Daten zur Belegung von Wohnungen:
 - Anzahl Personen pro m²: GWS (WAREA / WAPTO)
 - Anzahl Wohnungen ohne Hauptwohnsitz: GWS (Anteil Wohnung mit WAPTO = 0 dividiert durch Gesamtanzahl Wohnungen des entsprechenden Sektors)

Umsetzung des Ansatzes (Berechnung)

Aufgrund von Abweichungen zwischen der tatsächlichen Nutzung und der idealisierten Nutzung gemäss SIA 380/1 ist es erforderlich, gewisse nutzungsspezifische Anpassungen vorzunehmen. Diese betreffen zum einen den Energy Performance Gap und zum anderen die spezifische Nutzung im Fall der Ferienwohnungen. Beide Einflüsse werden vereinfacht mittels Anpassung der Innenraumtemperatur berücksichtigt. Dies erfolgt beim Energy Performance Gap (EPG) vereinfacht in Abhängigkeit der Bauperiode und der Hauptnutzungskategorien Wohnen und Nicht-Wohnen, siehe Tabelle 18.

Tabelle 18 Anpassung der Innenraumtemperatur (°C) für die Berücksichtigung des EPG als Funktion der Bauperiode und der Nutzung

	Wohnnutzung	Nicht-Wohnnutzung
< 1946	-0.5	-0.4
1946 – 1980	-0.5	-0.4
1981 – 2000	+0.0	-0.2
2001 – 2015	+1.2	+0.4
2016>	+1.8	+1.0

Quelle: Annahmen TEP Energy

Anmerkungen:

- Grundsätzlich kann der Ansatz zur Berücksichtigung des EPG verfeinert werden, indem die Energieeffizienz des Gebäudes, charakterisiert durch das Q_H und damit durch den energetischen Erneuerungsstatus, berücksichtigt wird.
- Zu berücksichtigen sind die realen Luftwechselraten, die in der Regel in der Realität höher sind als die von SIA 380/1 veranschlagten.
- Die relativ hohen Anteile mit Wohnungen mit 0 Personen pro Wohnung deuten darauf hin, dass der Indikator «WAPTO» (Anzahl Personen im Privathaushalt in der Wohnung (total)) die Personen nur an einem Wohnsitz erfasst, so dass beispielsweise Wohnungen mit Wochenaufenthalten 0 Personen aufweisen. Dies würde die hohen Anteile in Mittellandkantonen erklären (Tabelle 19).
- Den energetischen Auswirkungen der Nutzung als Ferienwohnung bzw. -haus ist weiter nachzugehen.

4.4.3 Häufigkeit der energetischen Erneuerungen pro Bauteil

Objekt: In diesem Abschnitt wird die Ermittlung der energetischen Erneuerungen pro Bauteil (Datentabelle 14 gemäss Abbildung 18) beschrieben.

Ansatz: Die Häufigkeit der vergangenen energetischen Erneuerungen wurde durch eine Stichprobenerhebung in 18 Kantonen ermittelt und mit einem Regressionsmodell ausgewertet (siehe Tabelle 7, Kap. 3). Als Ergebnis dieser Analysen werden die Anteile der energetischen Erneuerungen für die Perioden 1991-2000, 2001-2010, 2011-2019 sowie der nicht erneuerten Bauteile berechnet. Für die in der Erhebung (noch) nicht abgedeckten Kantone werden Daten aus anderen Kantonen zugeordnet.

Differenzierung: Gemäss den statistischen Analysen unterscheiden sich die Anteile der energetischen Erneuerungen nach folgenden Merkmalen:

- Energetische Erneuerungsperiode (1991-2000, 2001-2010, 2011-2019)
- Bauperiode (GBAUP) gemäss Definition in Tabelle 18
- Gebäudesektor (EFH, MFH, NWG)
- CH mit einzelnen kantonalen Ausnahmen (AI, AR, LU, NE)

Datengrundlagen: Stichprobenerhebung in 18 Kantonen

Umsetzung und Ergebnisse des Ansatzes:

Das an die erhobenen Daten angepasste Regressionsmodell (Tabelle 6) wird «angewendet», um die Anteile¹⁶ der energetischen Erneuerungen pro Bauteil zu «predicten», dies nach der oben aufgeführten Differenzierung. Bei den Kantonen erhalten alle Kantone ausser die oben aufgeführten jeweils denselben Wert (für eine bestimmte Erneuerungsperiode, Bauperiode und Gebäudesektor). Dies bedeutet, dass auch die Kantone, für welche bis dato keine Erhebung durchgeführt werden konnte, diese Werte erhalten. In Abbildung 22 sind die energie-

¹⁶ De facto wird mit diesem Modell für jedes Bauteil eine Wahrscheinlichkeit für eine energetische Erneuerung geschätzt (siehe Kap. 3.3.6). Diese Erneuerungswahrscheinlichkeiten sind entsprechend abhängig von der Erneuerungsperiode, von der Bauperiode, vom Gebäudesektor und vom Kanton.

tischen Erneuerungsanteile differenziert nach allen Merkmalen exemplarisch für den Kanton AG dargestellt. In Abbildung 23 ist der Quervergleich über alle Kantone exemplarisch für den Gebäudesektor EFH und die Bauperiode 1946 bis 1980 illustriert.

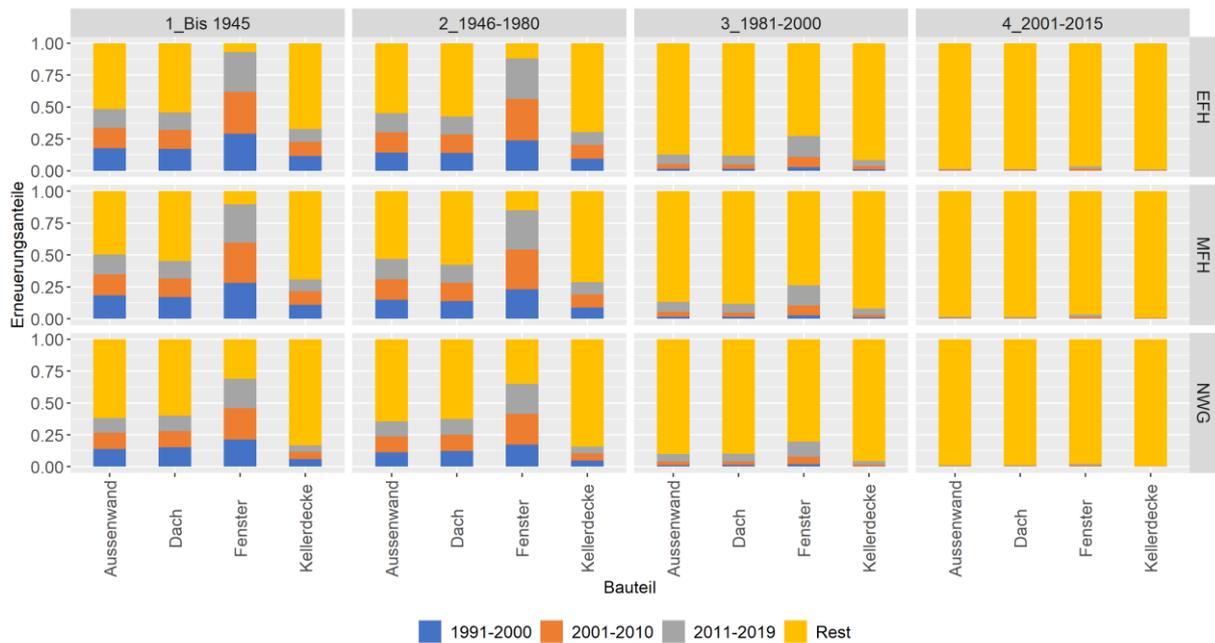


Abbildung 22 Energetische erneuerte Bauteile pro Erneuerungsperiode seit 1991 und nicht-energetisch erneuerte Bauteile, pro Gebäudesektor und Bauperiode (GBAUP_rob), exemplarisch dargestellt für den Kanton AG. Quelle: predict mit dem Regressionsmodell gemäss Tabelle 7. Die Daten der übrigen Kantone werden dem Auftraggeber in Excel-Form zur Verfügung gestellt (File TEP_GPM_Kanton-2021-06-30_Teil1_Inputs, Blatt «_kt_input_san_rate»)

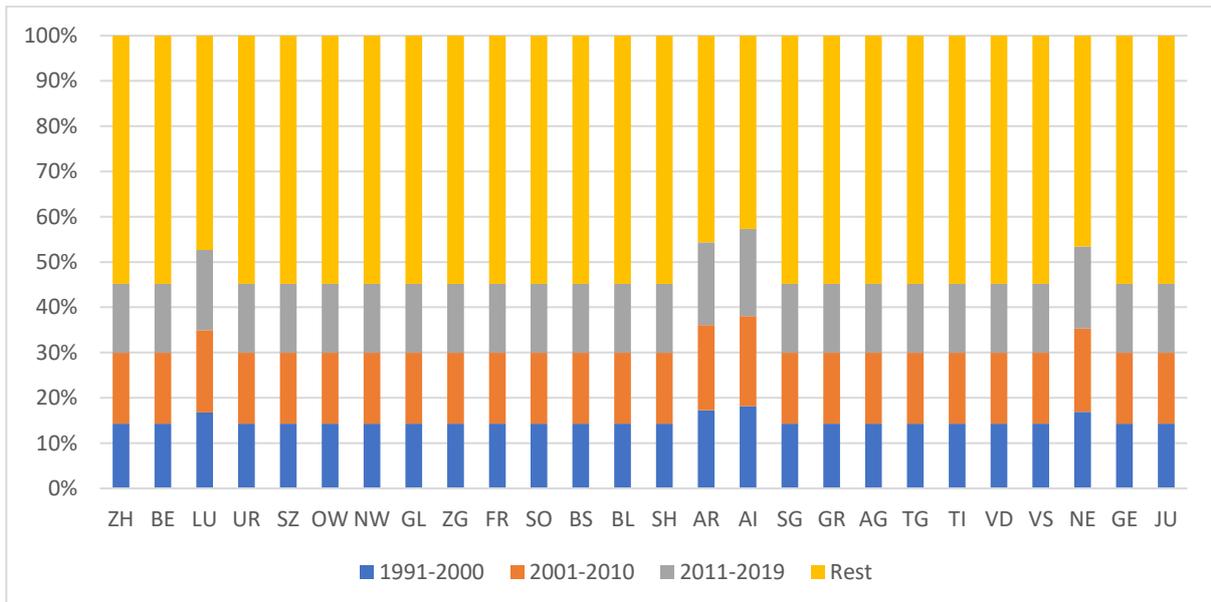


Abbildung 23 Energetisch erneuerte Bauteile für die Erneuerungsperiode seit 1991 und nicht-energetische Bauteile, exemplarisch dargestellt für den Gebäudesektor EFH und die Bauperiode 1946 bis 1980. Quelle: predict mit dem Regressionsmodell gemäss Tabelle 7. Die Daten der übrigen Bauteile, Gebäudesektoren und Bauperioden werden dem Auftraggeber in Excel-Form zur Verfügung gestellt (File TEP_GPM_Kanton-2021-06-30_Teil1_Inputs, Blatt «_kt_input_san_rate»)

Anmerkung: Es ist zu empfehlen, bei den energetischen Erneuerungsperioden eine Unterteilung in Fünfjahres- statt in Zehnjahresperioden vorzunehmen, um der dynamischen Veränderung der U-Werte energetischer Erneuerungen gerecht zu werden (insbesondere zwischen 1990 und 2010).

4.4.4 Gewichtung der spezifischen Nutzenergie mit den energetischen Erneuerungsanteilen

Objekt: In diesem Abschnitt wird die Berechnung der gewichteten Nutzenergiebedarfswerte Q^*_H und Q^*_W beschrieben (Datentabelle 11 gemäss Abbildung 18).

Ansatz: Die spezifischen Nutzenergiebedarfswerte (Datentabelle 15 gemäss Abbildung 18) werden mit der Häufigkeit der energetischen erneuerten und der energetischen nicht erneuerten Gebäude bzw. Bauteile gewichtet.

Differenzierung: Die gewichteten Nutzenergiebedarfswerte unterscheiden sich zwischen Raumwärme und Warmwasser nach folgenden Merkmalen:

Nutzenergie Raumwärme Q^*_H :

- GKLASgrob gemäss Definition in Tabelle 8
- Bauperiode (GBAUP) gemäss Definition in Tabelle 18
- Kanton (KT)

Nutzenergie Warmwasser Q^*_W :

- GKLASgrob gemäss Definition in Tabelle 8
- Kanton (KT), wobei bei derzeitigem Stand der Umsetzung nur der Wohnbereich nach Kanton unterschieden

Datengrundlagen:

- Spezifische Nutzenergiebedarfswerte für Raumwärme Q^*_H und Warmwasser Q^*_W : Datentabelle 15 gemäss Abbildung 18, siehe Tabelle 20 mit einem Auszug für das Warmwasser.
- Energetische Erneuerungsanteile: Datentabelle 14 gemäss Abbildung 18
- Belegung der Wohnungen mit Personen: Datentabelle 18 gemäss Abbildung 18

Umsetzung des Ansatzes (Berechnung):

Bei der Umsetzung ist zwischen Raumwärme und Warmwasser zu unterscheiden:

1. Raumwärme: die spezifischen Nutzenergiebedarfswerte Q^*_H (Datentabelle 15 gemäss Abbildung 18) werden mit der Häufigkeit der energetisch erneuerten und der energetisch nicht erneuerten Gebäude bzw. Bauteile (siehe Abschnitt 4.4.3) gewichtet.
2. Warmwasser: Bei den beiden Gebäudesektoren des Wohnbereichs EFH und MFH werden die Nutzenergiewerte statt mit der normativen mit der tatsächlichen Belegung (siehe Tabelle 19) berechnet.

Raumwärme

Die energetische Wirkung der Erneuerungstätigkeit wirkt sich für eine bestimmte Gebäud kohorte vereinfacht und idealisiert ausgedrückt wie folgt auf den Nutzenergiebedarf dieser Kohorte, d.h. des entsprechenden Teils des Gebäudebestands, aus:

$$Q^*_{Hg} = Q^*_{H0} * (1 - \sum_{EP}(\text{Anteil_erneuert}_{EP}) + \sum_{EP}(\text{Anteil_erneuert}_{EP} * Q^*_{HEP})) \quad (13)$$

Wobei Q^*_{Hg} den gewichteten Heizwärmebedarf bezeichnet, der den Effekt der energetischen Erneuerungen über die verschiedenen Erneuerungsperioden seit 1990 beinhaltet. Q^*_{H0} stellt den Heizwärmebedarf zum Zeitpunkt des Neubaus bzw. des Zeitpunkts 1990 dar und Q^*_{HEP} den Heizwärmebedarf, der durch die energetischen Erneuerungen in der entsprechenden Erneuerungsperiode EP erreicht wird.¹⁷

In diesem Schritt wird zudem die Gewichtung der Anteile der Ferien- und Leerwohnungen vorgenommen. Bei den Ferienhäusern und -wohnungen erfolgt die Anpassung gemäss dem folgenden Ansatz:

- Identifikation der Ferienwohnungen (und der leeren Wohnungen) mittels des Attributs «Belegung» (Verwendung des Attributs WAPTO) der GWS (pro Wohnung), siehe Tabelle 19.
- Aggregation pro Kanton und separat für EFH und MFH. Die Auswertung der Daten zeigt, dass sich in den Mittellandkantonen die meisten dieser Wohnungen in MFH befinden. In den Bergkantonen sind die Werte im EFH-Bereich eher höher (Tabelle 19).
- Bei den Ferienhäusern und -wohnungen wird angenommen, dass diese nicht die ganze Heizperiode genutzt werden und dass zwischen den Nutzungen die Raumtemperatur mehr oder weniger stark abgesenkt wird. Diese sogenannte Unternutzung hat bei allein-stehenden Ferienhäusern mutmasslich einen höheren Effekt als bei Ferienwohnungen, welche in diesen Fällen indirekt durch angrenzende Wohnungen Wärme «beziehen». Weil bis zum Abschluss dieses Projekts (Juni 2021) keine spezifischen Daten nutzbar gemacht werden können, wird der Effekt der Unternutzung pauschal berücksichtigt, indem eine um 5°C tiefere Innenraumtemperatur angenommen wird.

¹⁷ Zu betonen ist, dass es sich hierbei um eine vereinfachte Darstellung handelt: da sich in der Realität die Erneuerungsanteile pro Erneuerungsperiode zwischen den verschiedenen Bauteilen unterscheiden (siehe Kap. 4.4.3)., ist der tatsächliche Berechnungsgang etwas differenzierter. Er kann jedoch mittels der in Jakob et al. (2014) dargestellten Methodik auf diesen einfachen Ansatz zurück geführt werden.

Tabelle 19 Anteil Ferien- und Leerwohnungen und mittlere Personenbelegung in Ein- und Mehrfamilienhäusern pro Kanton

Ferienhäuser und leere Wohnungen (Anteil der Wohnungen mit 0 Personen gemäss GWS)			Wohnfläche pro Person in m ² (Wohnfläche per WAPTO)		
Kanton	EFH	MFH	Kanton	EFH	MFH
AG	5%	12%	AG	57.7	51.3
AI	20%	20%	AI	58.9	55.2
AR	15%	20%	AR	62.7	56.2
BE	13%	18%	BE	57.9	50.5
BL	6%	12%	BL	56.5	48.6
BS	7%	12%	BS	56.5	43.9
FR	10%	14%	FR	55.3	46.3
GE	12%	17%	GE	55.6	40.3
GL	25%	17%	GL	66.9	52.5
GR	45%	46%	GR	83.2	76.3
JU	14%	20%	JU	56.8	52.3
LU	9%	11%	LU	55.6	49.4
NE	13%	14%	NE	59.5	48.6
NW	21%	13%	NW	65.0	53.8
OW	25%	27%	OW	65.1	58.1
SG	12%	15%	SG	58.7	50.7
SH	8%	14%	SH	60.5	53.8
SO	6%	15%	SO	58.5	51.6
SZ	15%	14%	SZ	61.7	53.3
TG	7%	13%	TG	60.6	53.3
TI	42%	27%	TI	82.0	60.4
UR	28%	22%	UR	61.0	54.7
VD	14%	14%	VD	61.5	44.7
VS	40%	41%	VS	72.8	66.6
ZG	9%	7%	ZG	59.2	48.6
ZH	6%	9%	ZH	57.3	45.4
			SIA 380/1	50.0	35.0

Quelle: GWS, Auswertungen TEP Energy

Warmwasser

Aufgrund der zwischen den Kantonen doch recht unterschiedlichen Belegung und aufgrund der im Vergleich zu SIA 380/1 deutlich höheren Personenfläche (siehe Tabelle 19), ergeben sich bei der Nutzenergie Warmwasser Q_w^* gewisse Unterschiede zwischen den Kantonen (siehe Tabelle 20).

Tabelle 20 Nutzenergie Warmwasser Q^*_w (kWh/m²) pro GKLASgrob für eine illustrative Auswahl von Kantonen (Auszug aus Datentabelle 15 gemäss Abbildung 18)

GKLASgrob	AG	AR	GR	NE	TI	UR	ZH
0_EFH	12.8	12.1	10.3	12.5	10.4	12.8	12.3
1_MFH	15.5	14.8	12.7	16.0	14.2	16.6	15.0
2_BUR	2.3						
3_HAN	2.2						
4_KRA	52.8						
5_SCH	10.1						
6_WEI	2.7						
Hier nicht dargestellte Kantone sowie die Daten zu Nutzenergie Raumwärme werden dem Auftraggeber in Excel-Form zur Verfügung gestellt (File TEP_GPM_Kanton-2021-06-30_Teil2_Zwischenergebnisse, Blatt «Q_W» sowie Blätter «Q_H» und «Q_HW»)							

Quelle: Berechnungen TEP Energy

4.4.5 Berechnen der HWS-Energiekennzahlen durch Verknüpfung von spezifischer Nutzenergie und Nutzungsgraden

Objekt: In diesem Abschnitt wird die Berechnung der EKZ (Datentabelle 7 gemäss Abbildung 18) beschrieben.

Ansatz: Die Energiekennzahl pro Heizsystem EKZ^*_{HS} auf Ebene Endenergie (EE) errechnet sich aus dem Heizwärmebedarf Q_H und dem Wärmebedarf für Warmwasser Q_W (Datentabelle 11), welche durch den Nutzungsgrad des entsprechenden Heizsystems (Datentabelle 12, siehe Tabelle 21) dividiert wird. Hierbei werden die Heizsysteme gemäss Tabelle 11 unterschieden. Die EKZ^*_{HS} bilden die Witterung des jeweiligen Jahres ab. Zu diesem Zweck wird zusätzlich mit einem Korrekturfaktor multipliziert (siehe Tabelle 22).

Differenzierung: Die EKZ^*_{HS} unterscheiden sich nach folgenden Merkmalen:

- HWS gemäss Tabelle 11
- GKLASgrob
- Bauperiode (GBAUP) gemäss Definition in Tabelle 18
- Kanton (KT)

Datengrundlagen:

- Heizwärmebedarf Q_H und dem Wärmebedarf für Warmwasser Q_W : Datentabelle 11 gemäss Abbildung 18)
- Nutzungsgrad des entsprechenden Heizsystems: Datentabelle 12, siehe Tabelle 21
- Witterungs-Korrekturfaktor: Tabelle 22.

Umsetzung des Ansatzes (Berechnung):

Die Energiekennzahlen für Raumwärme und Warmwasser werden für Gebäude mit kombinierten Heiz- und Warmwasseranlagen nach folgender Formel berechnet

$$EKZ = (Q^*H' + Q^*W) / JNG \quad (14)$$

wobei Q^*_H den Raumwärmebedarf und Q^*_W den Warmwasserwärmebedarf unter Berücksichtigung des EPG und der Belegung und JNG den Jahresnutzungsgrad des entsprechenden Heiz- und Warmwassersystems darstellt.

Bei ganz oder saisonal getrennter Aufbereitung des Warmwassers erfolgt die Berechnung der EKZ getrennt, indem für Raumwärme und Warmwasser unterschiedliche JNG zur Anwendung kommen.

$$EKZ = Q_H' / JNG_h + Q_W' / JNG_w \quad (15)$$

Bei den Ausgangswerten Q^*_H und Q^*_W handelt es sich jeweils um gewichtete Werte, bei denen Gebäude im Originalzustand und energetisch erneuerte Gebäude aggregiert sind und bei denen der Energy Performance Gap (EPG) bereits berücksichtigt ist. Die entsprechende Tabelle wird mit der Tabelle der Nutzungsgrade verknüpft. Konkret werden die Nutzenergetiktabellen Q^*_H und Q^*_W mit der Tabelle der Nutzungsgrade «aufgespannt»:

$$EKZ_{HWS, GKLAS_{grob}, GBAUP, KT} = Q'_{H_{GKLAS_{grob}, GBAUP, KT}} / JNG_{HWS} \quad (16)$$

Bei den Nutzungsgraden wird nach System und zusätzlich nach der Bauperiode der Gebäude unterschieden. In älteren Gebäuden sind tendenziell ältere Systeme installiert und es wird davon ausgegangen, dass die Wärmeverteilung (Raumwärme und Warmwasser) in älteren Gebäuden ineffizienter ist (weniger stark wärmegeklämt, höhere Zirkulationsverluste).

Anmerkung: Beim aktuellen Stand der Umsetzung der Methodik wird bei den Jahresnutzungsgraden nicht zwischen Raumwärme und Warmwasser unterschieden. Es ist zu empfehlen, dies bei der nächsten Anwendung der Methodik zu tun.

Tabelle 21 Übersicht über die angenommenen Jahresnutzungsgrade und WP-Jahresarbeitszahl, differenziert nach GBAUP und Gebäudesektor (Auszug aus Datentabelle 7 gemäss Abbildung 18)

GBAUP ¹⁾	Gebäudesektor	Heizöl	Gas	Holz	Fernwärme	Wärmepumpe ²⁾	Andere ³⁾	Sonne (Th.)
Vor 1945	EFH	0.80	0.88	0.70	0.92	2.57	0.95	1.00
	MFH	0.83	0.87	0.66	0.90	2.82	0.95	1.00
	NWG	0.78	0.92	0.71	0.95	2.13	0.95	1.00
Nach 2015	EFH	0.86	0.97	0.74	0.94	3.34	0.95	1.00
	MFH	0.87	0.93	0.73	0.89	2.85	0.95	1.00
	NWG	0.91	0.94	0.77	0.94	2.24	0.95	1.00

¹⁾ Grobe Bauperiode des Gebäudes. Hier nicht dargestellte GBAUP werden dem Auftraggeber in Excel-Form zur Verfügung gestellt (File TEP_GPM_Kanton-2021-06-30_Teil1_Inputs.xlsx, Blatt «JAZ»)

²⁾ Gemäss üblicher Konvention

³⁾ Wird gemäss Detailauswertung der Erhebung als Elektrizität interpretiert

Quelle: Gebäudeparkmodell TEP Energy

Wärmere oder kältere Winter beeinflussen Energieverbrauch und Energiekennzahlen der Gebäude. Der Einfluss der Witterungsschwankungen zwischen verschiedenen Jahren auf die EKZ erfolgt über die Heizgradtage (HGT) gemäss folgender Formel:

$$EKZ = (HGT(t)/HGT_{norm} * Q_H + Q_W) / JNG \quad (17)$$

Die Berechnung erfolgt mit den durchschnittlichen Heizgradtagen der Schweiz (Stand April 2021). Zu einem späteren Zeitpunkt kann der Witterungseinfluss mittels kantonaler Differenzierung vorgenommen werden.

Mit den Witterungskorrekturfaktoren wird der Verwendungszweck Raumwärme eines bestimmten Jahres im Vergleich zum Normjahr korrigiert.

Tabelle 22 Heizgradtage (HGT) und Witterungskorrekturfaktoren für die Jahre 2016 bis 2018 (Auszug aus Datentabelle 20 gemäss Abbildung 18)

Jahr	HGT	Heizgradtag-Korrekturfaktor
2016	3281	0.963
2017	3233	0.949
2018	2891	0.849
Normjahr	3407	1

Quelle: BFE Ex-post Analysen (TEP et al., 2009 – 2020)

4.5 Aggregierte Ergebnisse zu Endenergieverbrauch und CO₂-Emissionen

4.5.1 Endenergieverbrauch differenziert nach Energieträgern (ET)

Objekt: In diesem Abschnitt wird die Berechnung Endenergieverbrauch differenziert nach Energieträgern beschrieben (Datentabelle 3 gemäss Abbildung 18).

Ansatz: Der Endenergieverbrauch nach Energieträgern ergibt sich aus der EBF, welche nach Heizsystem und Energieträgern differenziert ist (Datentabelle 6 gemäss Abbildung 18) und der Energiekennzahl, welche nach Heizsystem differenziert ist (Datentabelle 7 gemäss Abbildung 18).

Differenzierung: Die Differenzierung dieser Datentabelle entspricht der Differenzierung der Daten, wie sie an ES ausgeliefert werden. Sie unterscheiden sich nach folgenden Merkmalen:

- Kombinierte Gebäudekategorie/-klasse (GKAT_GKLAS) gemäss Definition Tabelle 8
- Bauperiode (GBAUP) gemäss Definition Tabelle 9
- Energieträger gemäss Definition Tabelle 10
- Kanton (KT)

Datengrundlagen:

- EBF nach Heizsystem und Energieträger: Datentabelle 6 gemäss Abbildung 18
- Energiekennzahl nach Heizsystem: Datentabelle 7 gemäss Abbildung 18.

Umsetzung des Ansatzes (Berechnung):

Die Berechnung erfolgt in einem ersten Schritt mittels einfacher Datenverknüpfung über die Attribute GKAT_GKLAS, GBAUP und Heizsystem. In einem zweiten Schritt wird die so erzeugte Tabelle nach Energieträger aggregiert.

4.5.2 CO₂-Emissionen

Objekt: In diesem Abschnitt wird die Berechnung der aggregierten CO₂-Emissionen beschrieben (Datentabelle 3 gemäss Abbildung 18).

Ansatz: Die aggregierten CO₂-Emissionen ergeben sich aus dem aggregierten Endenergieverbrauch (Datentabelle 3 gemäss Abbildung 18) und den Emissionsfaktoren pro Energieträger (Datentabelle 2 gemäss Abbildung 18).

Differenzierung: Die Differenzierung dieser Datentabelle entspricht der Differenzierung der Daten, wie sie an ES ausgeliefert werden. Sie unterscheiden sich nach folgenden Merkmalen:

- Kombinierte Gebäudekategorie/-klasse (GKAT_GKLAS) gemäss Definition Tabelle 8
- Bauperiode (GBAUP) gemäss Definition Tabelle 9
- Energieträger gemäss Definition Tabelle 10
- Kanton (KT)

Datengrundlagen:

- Aggregierter Endenergieverbrauch (Datentabelle 3 gemäss Abbildung 18)
- Emissionsfaktoren pro Energieträger (Datentabelle 2 gemäss Abbildung 18).

Umsetzung des Ansatzes (Berechnung):

Die Berechnung erfolgt in einem ersten Schritt mittels einfacher Datenverknüpfung über das Attribut Energieträger.

4.6 Ergebnisse zu EBF, Energieträgeranteilen und EKZ

4.6.1 Energiebezugsflächen

Die Berechnung der Energiebezugsflächen ist in Kap. 4.3.1 beschrieben.

4.6.2 Energieträgeranteile

Ansatz: Die EBF-bezogenen Energieträgeranteile errechnen sich aus der EBF nach Heizsystem und Energieträgern durch Aggregieren und Dividieren (Datentabelle 6 gemäss Abbildung 18).

Differenzierung: Die Differenzierung dieser Datentabelle entspricht der Differenzierung der Daten, wie sie an ES ausgeliefert werden. Sie unterscheiden sich nach folgenden Merkmalen:

- Kombinierte Gebäudekategorie/-klasse (GKAT_GKLAS) gemäss Definition Tabelle 8
- Bauperiode (GBAUP) gemäss Definition Tabelle 9

- Energieträger gemäss Definition Tabelle 10
- Kanton (KT)

Datengrundlagen:

- EBF nach Heizsystem und Energieträger: Datentabelle 6 gemäss Abbildung 18

Umsetzung des Ansatzes (Berechnung):

Zähler: Datentabelle 6 gemäss Abbildung 18 nach Heizsystem aggregieren. Nenner: Datentabelle 6 gemäss Abbildung 18 nach Heizsystem und Energieträger aggregieren. Ergebnis: Zähler durch Nenner dividieren.

4.6.3 Ableiten der Energiekennzahlen differenziert nach Energieträgern (ET)

Objekt: In diesem Abschnitt wird die Berechnung der EKZ differenziert nach Energieträgern beschrieben (Datentabelle 4 gemäss Abbildung 18).

Ansatz: Die EKZ eines bestimmten Energieträgers ergibt sich aus dem Endenergieverbrauch des entsprechenden Energieträgers (Datentabelle 3 gemäss Abbildung 18), welcher durch die EBF des entsprechenden Energieträgers dividiert wird (aggregiert aus Datentabelle 6 gemäss Abbildung 18).

Differenzierung: Die Differenzierung dieser Datentabelle entspricht der Differenzierung der Daten, wie sie an ES ausgeliefert werden. Sie unterscheiden sich nach folgenden Merkmalen:

- Kombinierte Gebäudekategorie/-klasse (GKAT_GKLAS) gemäss Definition Tabelle 8
- Bauperiode (GBAUP) gemäss Definition Tabelle 9
- Energieträger gemäss Definition Tabelle 10
- Kanton (KT)

Datengrundlagen:

- Energieverbrauch nach Energieträger: Datentabelle 3 gemäss Abbildung 18
- EBF nach Energieträger: aggregiert aus Datentabelle 5 gemäss Abbildung 18

Umsetzung des Ansatzes (Berechnung): siehe oben stehender Abschnitt Ansatz.

4.7 Plausibilisierung, iterative Verbesserungen und Validierung

Die Verbesserung der Berechnungen und die Plausibilisierung und Validierung der Ergebnisse erfolgt iterativ unter Berücksichtigung der folgenden Punkte:

1. Vergleich GPM-Statistik für Gesamtschweiz pro Energieträger für die Sektoren Wohnen und DL (Fokus 2018)
2. Relative Entwicklung des Totals aller Energieträger pro Sektor (Wohnen und DL) pro Kanton zw. 2016 und 2018 (Jahr für Jahr)
3. Relative Entwicklung des Verbrauchs pro Energieträger pro Sektor (Wohnen und DL) pro Kanton zw. 2016 und 2018 (Jahr für Jahr)
4. Visualisierung der Energieträgeranteile pro Kanton pro Sektor (Wohnen und DL) für die Jahre 2016, 2017, 2018
5. Visualisierung der EKZ bzw. der Q_{HW} pro Kanton für die wichtigsten GKAT_GKLAS pro Bauperiode für die Jahre 2016, 2017, 2018
6. Relative Entwicklung der EKZ pro Kanton, pro GKAT_GKLAS und pro Bauperiode
7. Punktuelle kantonale Daten (Energieträger, EKZ, usw.)

4.7.1 Vergleich mit der gesamtschweizerischen Endenergie pro Energieträger

Nachfolgend wird auf den Vergleich der gesamtschweizerischen Endenergie pro Energieträger je für die beiden Sektoren Haushalte und Dienstleistungen gemäss Definition der Gesamtenergiestatistik (GEST) näher eingegangen. Weil in der GEST die Verbräuche von Ferienhäusern und -wohnungen dem Sektor Dienstleistungen zugeordnet sind (jedoch nicht separat ausgewiesen) und weil in der GEST der Stromverbrauch für Raumwärme und Warmwasser nicht separat ausgewiesen wird, werden die diesbezüglichen GEST-Daten mit Werten der BFE-Ex-Post Analysen des BFE angepasst (TEP et al., 2009 – 2020) (in Abbildung 24 mit GEST* bezeichnet).

Die Abweichung zwischen den mit dem kantonalen GPM berechneten Energieverbräuchen und den GEST*-Werten werden sowohl bzgl. Niveau als auch bzgl. Zeittrend beurteilt:

- Niveau (beide Sektoren): beim Total aller Energieträger und bei den fossilen Energieträgern beträgt die Abweichung rund 1%, was als sehr guter Wert bezeichnet werden kann. Auch bei den Energieträgern Holz und Elektrizität ist die Abweichung relativ gering, siehe Abbildung 24. Die Abweichungen bei den fossilen Energieträgern Öl und Gas sind höher, nämlich je rund -10% (d.h. die Berechnung unterschätzt die Statistik). Die ungefähr gleich grosse Abweichung beim Öl und beim Gas deutet darauf hin, dass durch die gewählte Methodik die diesbezügliche Verzerrung im GWR zwischen Öl (zu hoch) und Gas (zu tief), überwunden werden kann. Bei der Fernwärme und bei der Umweltwärme sind die relativen Abweichungen deutlich grösser. Bei der Fernwärme ist anzumerken, dass die Endenergie in der GEST gemäss Einschätzung und gemäss Statistik des Fernwärmeverbands markant unterschätzt wird, da nur die grossen Fernwärmeverbände in die GEST mit einfließen. In Summe ist die absolute Abweichungen (in TWh) dieser beiden Energieträger etwa gleich gross wie die Summe von Öl und Gas. Am grössten ist die Abweichung bei der Umweltwärme. Den dahinter liegenden Gründen ist weiter nachzugehen, wobei auch die Methodik, auf der die entsprechenden Werte in der GEST beruhen, analysiert wird.

- Niveau (Wohnen und DL separat): Beim Sektor Haushalte (Wohnen) wird die GEST* im Total sehr gut getroffen (3% Abweichung im Total). Etwas grösser ist auch hier die Abweichung bei Öl und Gas, aber mit rund -7% ist sie geringer als beim Total der beiden Sektoren. Beim DL-Sektor ist das Total ähnlich gut, aber die Abweichung bei den Fossilien etwas höher (rund -15% beim Gas und -20% beim Öl), wobei es dort auch auf die Vergleichsbasis ankommt (GEST vs. BFE-Ex-post-Analysen).

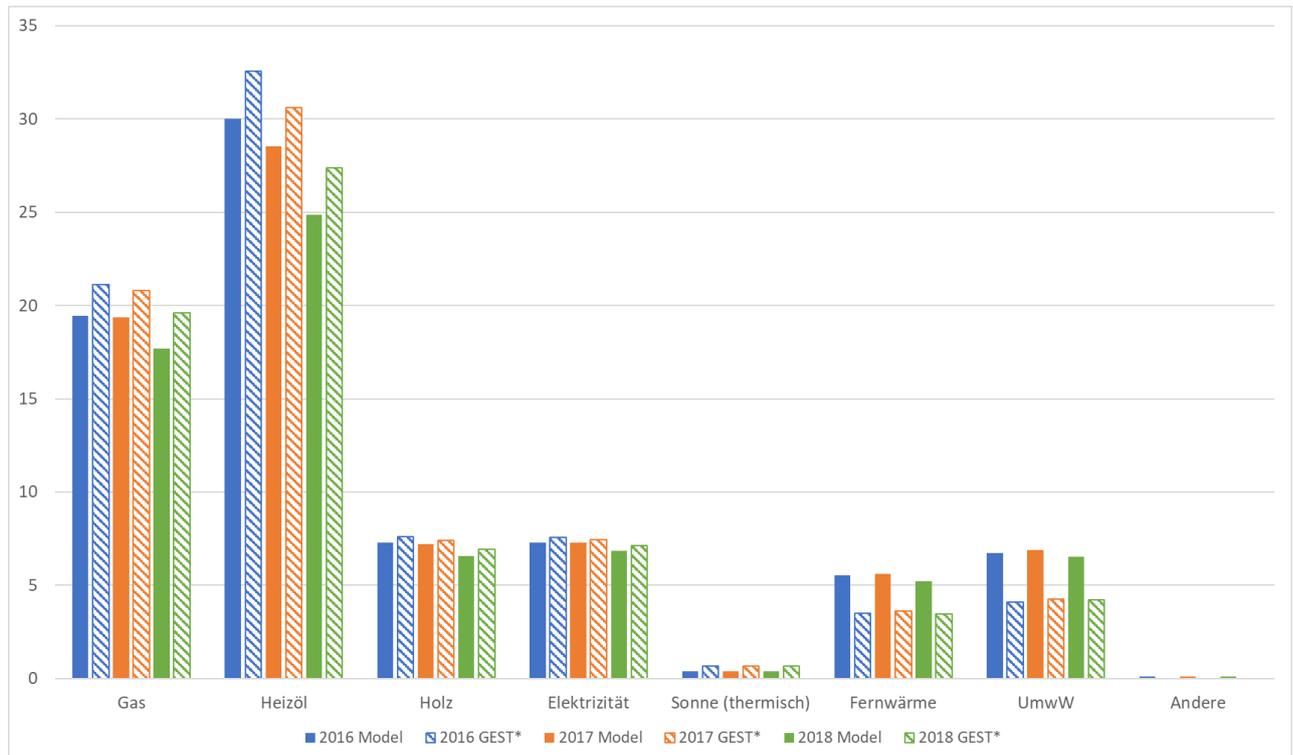


Abbildung 24 Vergleich der Energieträgernutzungen der gesamten Schweiz (Haushalt und Dienstleistung) gemäss GPM mit der Gesamtenergiestatistik (GEST) unter Berücksichtigung der BFE-Expost-Analysen (als GEST* bezeichnet, Details siehe Text) für die Jahre 2016, 2017 und 2018 (in TWh)

Wir gehen davon aus, dass die Abweichung noch weiter eingegrenzt werden kann, wenn die Erhebungsdaten weiterer Kantone (Kt. ZH: Durchführung im Frühsommer 2021) und weitere kantonale Daten (z.B. von BS und GE) explizit mit einbezogen werden können.

4.7.2 Visualisierungen der EKZ pro Kanton

Beim aktuellen Projektstand (Juni 2021) können folgende Feststellungen konstatiert werden:

- Die Visualisierung der EKZ pro Kanton für die wichtigsten GKAT_GKLAS pro Bauperiode für die Jahre 2016, 2017, 2018 ergibt für die Energieträger Öl und Erdgas insgesamt stimmige Verläufe.
- Relative Entwicklung der EKZ pro Kanton, pro GKAT_GKLAS und pro Bauperiode: In der Regel stimmige Verläufe von Jahr zu Jahr.

Zu betonen ist, dass bei den Energieträgern Elektrizität, Umweltwärme und Solarenergie eine direkte Interpretation der EKZ-Ergebnisse erschwert ist und zwar aus folgenden Gründen:

- Beim Energieträger Elektrizität setzt sich die EKZ aus einem (gewichteten) Mittelwert von EKZ von Elektroheizungen und des Stromverbrauchs von WP, die auf Ebene ET gemittelt werden. Je nach den relativen Anteilen der beiden Heizsysteme in den verschiedenen Kantonen und Bauperioden können deutlich unterschiedliche EKZ resultieren (siehe exemplarische, der Illustration dienende Berechnung in Tabelle 23). Diese Werte sagen für sich genommen entsprechend wenig über die Energieeffizienz dieser Gebäude aus.
- Bei den Wärmepumpen teilt sich die EKZ in eine EKZ-Strom und eine EKZ-Umweltwärme auf. Dies bedeutet, dass sowohl die EKZ-Strom als auch die EKZ-Umweltwärme nicht direkt die Energieeffizienz der mit WP beheizten Gebäude charakterisieren, wie sich aus Tabelle 23 erschliesst, dies umso weniger, je unterschiedlicher die Jahresnutzungsgrade sind (z.B. über den Gebäudesektor eines Kantons als Ganzes).
- Die thermische Solarenergie wird praktisch ausnahmslos als sekundärer Energieträger eingesetzt, der einen mehr oder weniger grossen Teil des Wärmebedarfs abdeckt (wobei die Bedeutung und auch der Abdeckungsgrad beim Warmwasser markant höher sind im Vergleich zur Raumwärme). Dies bedeutet, dass die EKZ-Solarenergie de facto nicht für die Charakterisierung der Gebäudeeffizienz herangezogen werden kann und auch beim Warmwasser ist dies nur bedingt möglich.
- Die thermische Solarenergie beeinflusst zudem die EKZ von Öl, Gas und den weiteren Systemen, so dass die EKZ dieser Systeme tiefer liegen als es aufgrund des Wärmebedarfs zu erwarten wäre. Durch die (gewichtete) Mittelung der EKZ auf Ebene Energieträger vermischen sich die Aspekte Gebäudeeffizienz bzw. spezifischer Bedarf mit Aspekten, wie dieser Bedarf gedeckt wird.

Tabelle 23 Illustration an drei Fallbeispielen, wie sich die EKZ auf Ebene Energieträger (ET) ändert, wenn die zwei Heizsysteme Elektrodirektheizungen und Elektro-Wärmepumpen unterschiedliche Anteile im Gebäudebestand (bzw. in einem bestimmten Segment davon) aufweisen. Lesebeispiel: weisen die Elektroheizungen einen Anteil von 100% auf (Fall 1), ist die ET-bezogene EKZ auf Ebene Heizsystem (Spalte «EKZ pro HS») mit der gewichteten ET-EKZ (letzte Spalte) identisch. Weisen Elektroheizungen und WP je einen Anteil von 50% auf (Fall 2), weichen die ET-EKZ pro HS deutlich von der gewichteten ET-EKZ ab.

	Q _H	JNG	Energieträger	Energie-träger-anteil		Fall-beispiel	EKZ ET		
				am HS	pro HS		EBF-Anteil Heizsystem	EBF-Anteil ET	gewicht mit EBF-Anteil
Elektroheizung	120	0.95	Elektrizität	100%	126	Fall 1	100%	100%	126
WP-Heizung	60	3	Elektrizität Umweltwärme	33% 67%	20 40		0% 0%	0%	0
Analog						Fall 2	50%	67%	73
							50%	33%	20
Analog						Fall 3	0%	33%	20
							100%	67%	40

Quelle: TEP Energy

Fazit: Die EKZ müssten entweder auf Ebene Heizsystem visualisiert werden oder es sollte der Wärmebedarf (Q_{HW}) visualisiert werden. Letzteres ist in Kap. 5 umgesetzt.

4.7.3 Quervergleich mit kantonalen Statistiken

Für zwei Kantone (Kantone X¹⁸ und Kanton GE) kann ein Vergleich der EKZ (Heizung und Warmwasser) mit Datensätzen ihrer jeweiligen Energiestatistiken vorgenommen werden. Die folgenden Abbildungen vergleichen die EKZ aus den zwei verschiedenen Datensätze für die Kantone X (Abbildung 25) und GE (Abbildung 26) für 3 Gebäudetypen und 5 Bauperioden.

- Für den Kanton X ist der Verlauf der Werte bei den MFH und Bürogebäude zwischen den beiden Datenquellen relativ vergleichbar. Bei den EFH ist die Abweichung bei der Bauperiode 1981 bis 2000 relativ gross; die statistischen Werte gehen von einem tieferen Wert aus im Vergleich zur Vorperiode, währenddessen die Berechnungen einen solchen Rückgang erst bei der folgenden Bauperiode zeigen. Umgekehrt unterschätzen die Berechnungen die statistischen Werte bei der neusten Bauperiode. Über alle Gebäudetypen und Bauperioden betragen die Abweichungen je rund 10-30 kWh/m².
- Für den Kanton GE sind die EKZ der beiden Datenquellen mit Abweichungen von rund 10-50 kWh/m² etwas höher. Im Vergleich zum Kanton X sind bei GE die EKZ von TEP Energy vor allem bei den MFH deutlich tiefer als die Daten des Kantons GE. Hierzu ist anzumerken, dass
 - die gemessenen EKZ v.a. der MFH in GE deutlich höher liegen als im Kanton X
 - in Genf keine Erhebung zur Erneuerungstätigkeit durchgeführt werden konnte, so dass Alter und Zustand von Gebäudehüllen und Heizanlagen unbekannt sind. Diesen Aspekten ist in der Folge weiter nachzugehen.

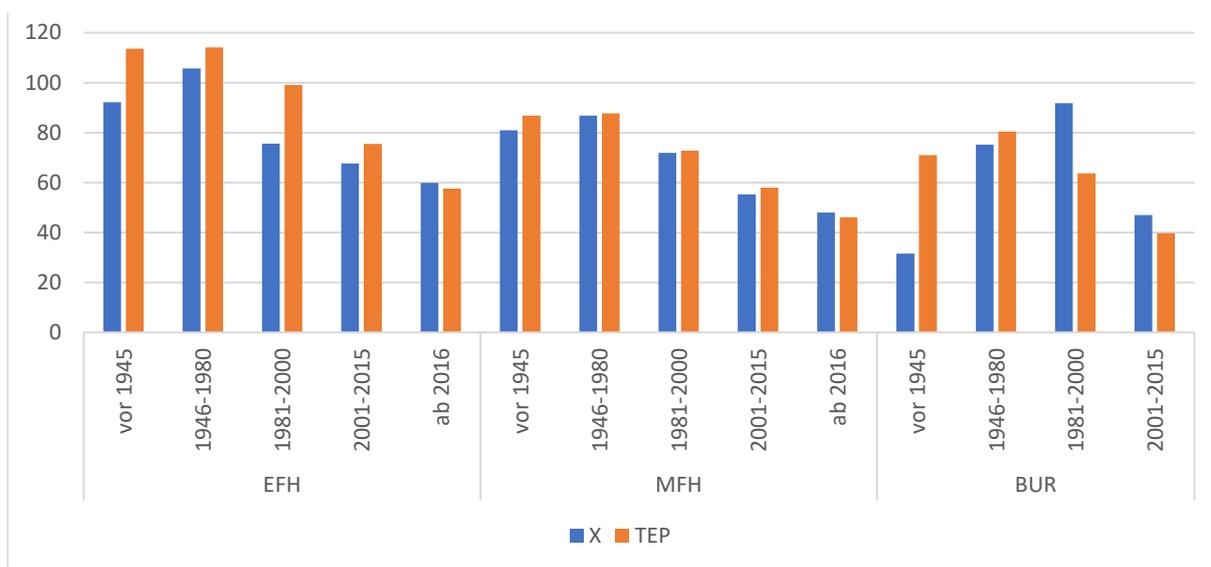


Abbildung 25 Vergleich EKZ (Raumwärme und Warmwasser) (kWh/m²) für einen Kanton aus zwei verschiedenen Datensätzen: Kanton X: gebäudescharfe Grundlage der Energiestatistik 2018 und GPM von TEP Energy für 6 Gebäudetypen und 5 BP.

¹⁸ Der Kantonsname wird nach Klärung des Datenschutzes bekannt gegeben.

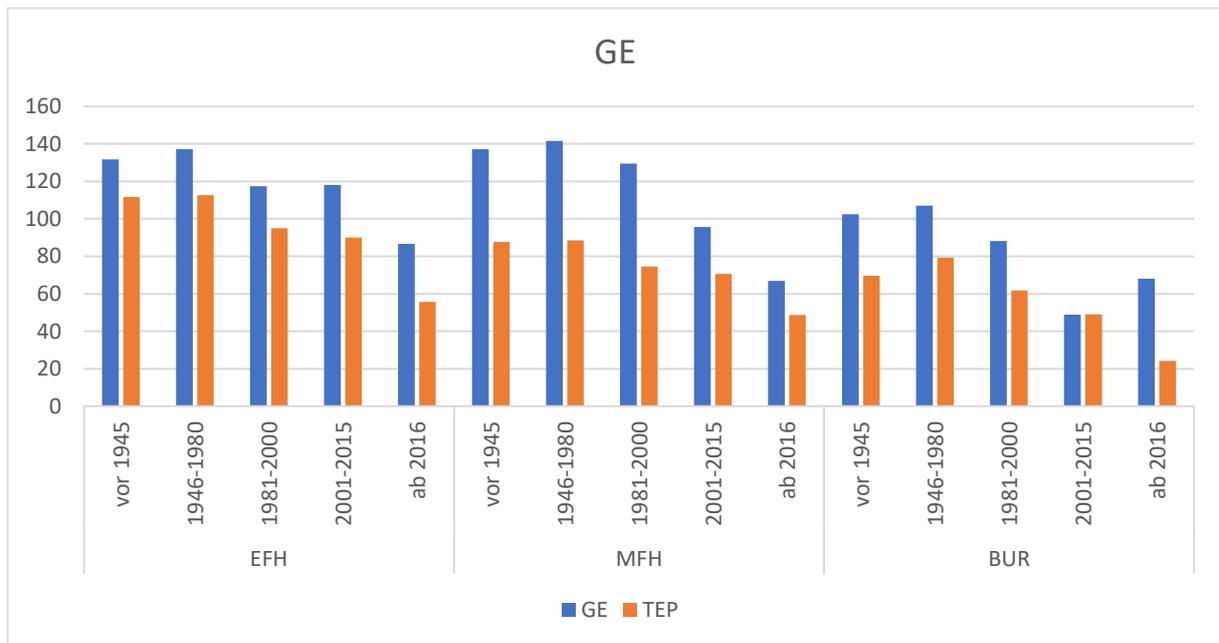


Abbildung 26 Vergleich EKZ (Raumwärme und Warmwasser) (kWh/m²) für den Kanton GE aus zwei verschiedenen Datensätzen: GE: Energiestatistik und GPM von TEP Energy für 6 Gebäudetypen und 5 Bauperioden. Die Daten des GPM für alle Kantone, differenziert nach Gebäudeklasse, Bauperiode und Jahr, werden den Auftraggebern in elektronischer Form zur Verfügung gestellt (File TEP_GPM_Kanton-2021-06-30_Teil3_Ergebnisse.xlsx, Blatt «EKZ_HZ» für Raumwärme und Blatt «EKZ_WW» für Warmwasser).

Fazit: Die nun vorliegenden Ergebnisse stellen den bestmöglichen Stand zum aktuellen Zeitpunkt (April 2021) mit den aktuell verfügbaren Datengrundlagen und dem aktuellen Stand der Entwicklung dar. Weitere Verbesserungen werden ab der nächsten Berichterstattung (2022) vorgenommen.

5 Ausgewählte Ergebnisse

5.1 Energiebezugsflächen

5.1.1 Wohnen

Gemäss den durchgeführten Berechnungen beträgt die Wohn-EBF in der Schweiz rund 550 Mio. m², wovon sich rund 450 Mio m² in EFH und MFH befinden. Einen relativ jungen Gebäudebestand (rund 50% und mehr erbaut nach 1980) weisen die Kantone AG, FR, LU, SZ, TG und ZG in Bezug auf EFH sowie AG, NW, OW, SZ und ZG in Bezug auf MFH auf (siehe Abbildung 27 für EFH und Abbildung 28 für MFH). Die in Bezug auf die EBF fünf bedeutendsten Kantone sind AG, BE, SG, VD und ZH, welche insgesamt rund 50% der Wohn-EBF in der Schweiz ausmachen.

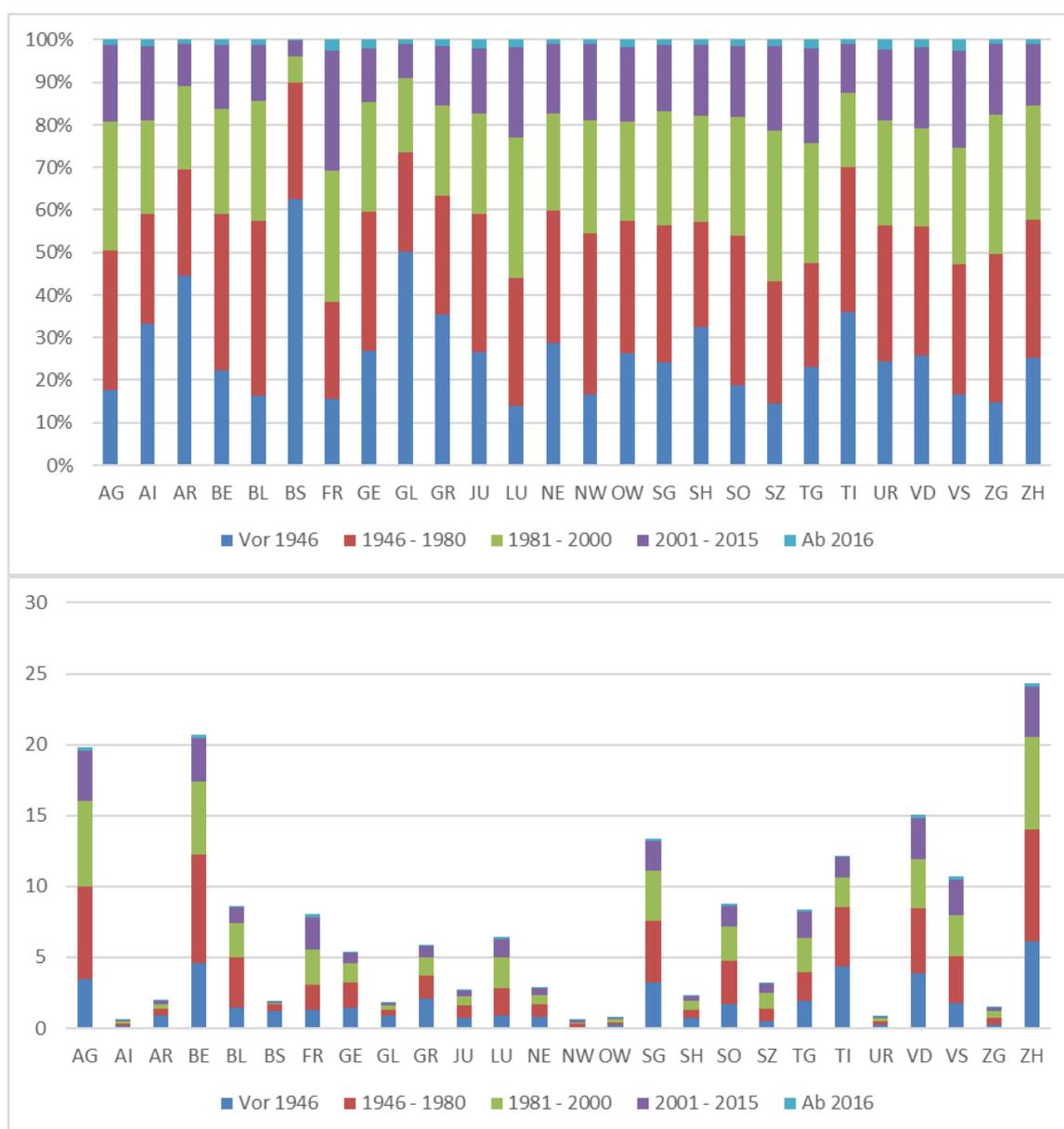


Abbildung 27 EBF (% und Mio. m²) in EFH differenziert nach Kanton und Bauperiode gemäss kantonalem GPM. Alle Daten der Kantone, differenziert nach Gebäudeklasse, Bauperiode und Jahr, werden den Auftraggebern in elektronischer Form zur Verfügung gestellt (File TEP_GPM_Kanton-2021-06-30_Teil3_Ergebnisse.xlsx, Blatt «EBF»).

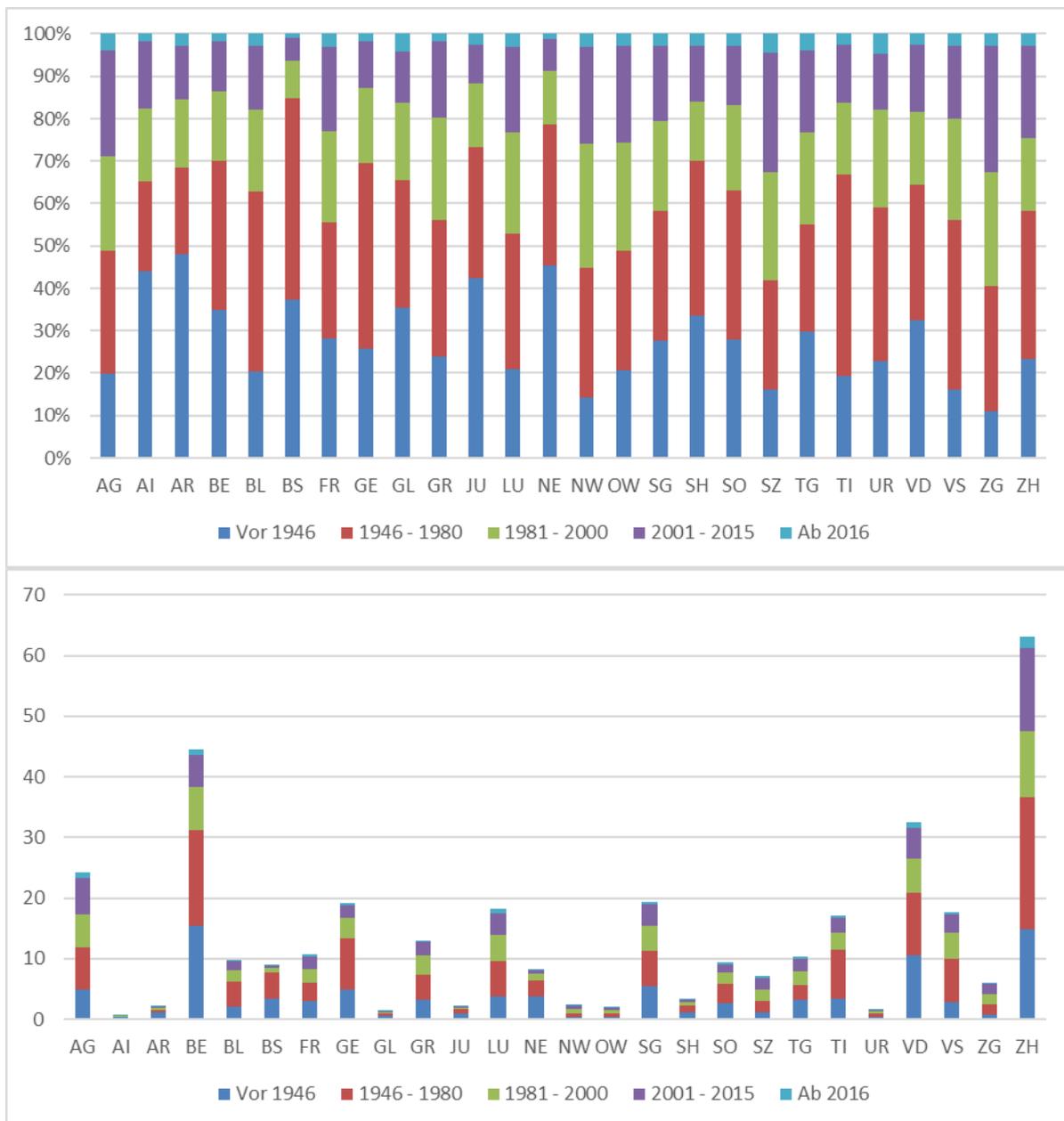


Abbildung 28 EBF (% und Mio. m²) in MFH differenziert nach Kanton und Bauperiode gemäss kantonalem GPM. Alle Daten der Kantone, differenziert nach Gebäudeklasse, Bauperiode und Jahr, werden den Auftraggebern in elektronischer Form zur Verfügung gestellt (File TEP_GPM_Kanton-2021-06-30_Teil3_Ergebnisse.xlsx, Blatt «EBF»).

5.1.2 Nicht-Wohnen

In den meisten Kantonen befinden sich rund 20% bis 30% der Nicht-Wohn-EBF in Wohngebäuden mit Zusatznutzung, siehe Abbildung 29. Die Kantone BL, BS, GE, SH, TI, ZH und v.a. ZG weisen hohe Anteile an Büro-EBF auf. Schulen, Spitäler, Heime und übrige DL-Branchen machen in den meisten Kantonen rund 20% der EBF auf. Rund 10% bis 20% der Nicht-

Wohn-EBF befindet sich im Bereich Gross- und Detailhandel, wobei der Kanton AG mit einem besonders hohen Anteil auffällt.

Die bzgl. Nicht-Wohn-EBF bedeutendsten Kantone sind AG, BE, GE, LU, SG, VD und v.a. ZH, welcher allein 36 Mio. m² von insgesamt 173 Mio. m² auf sich vereinigt.

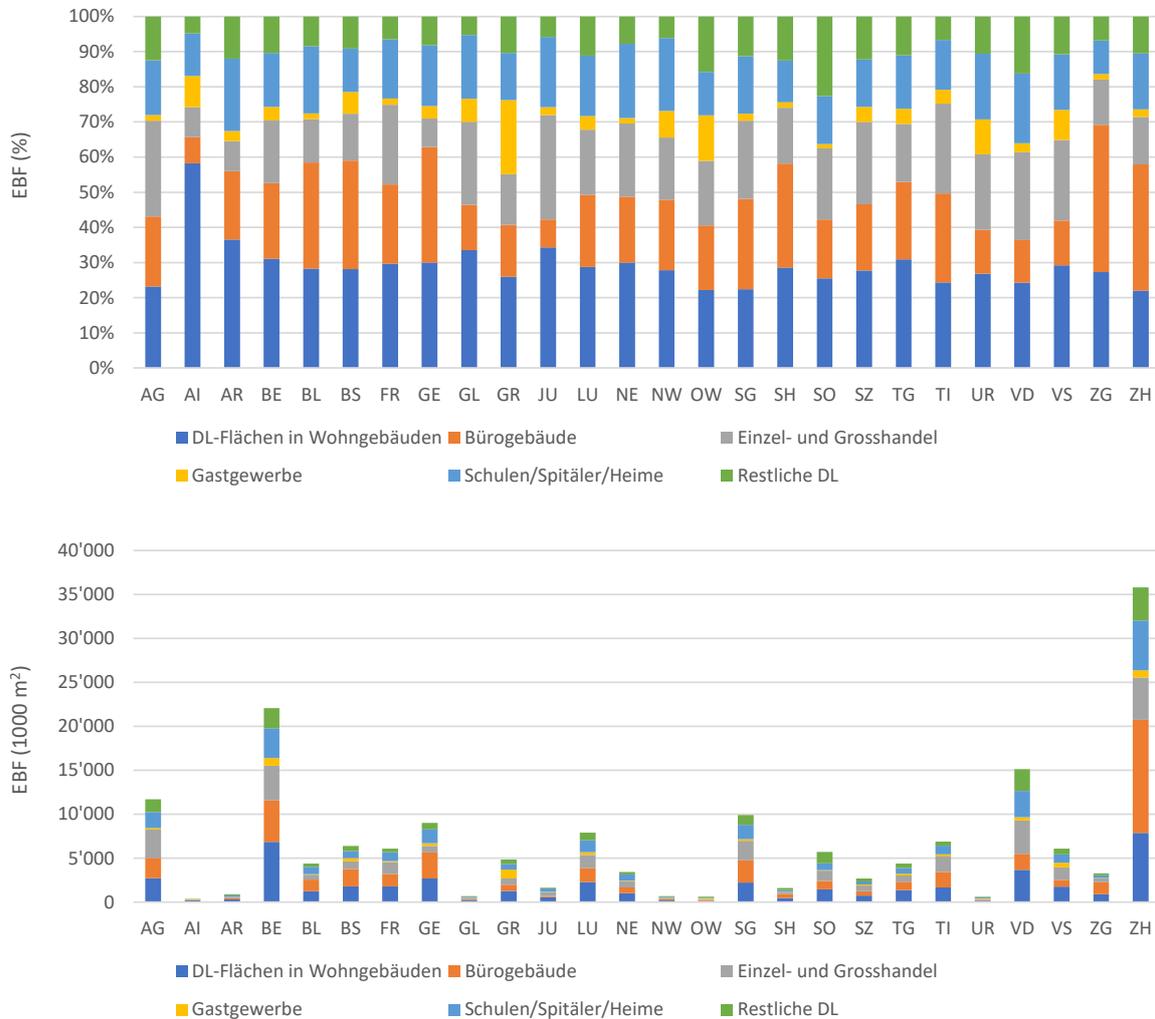


Abbildung 29 Nicht-Wohn-EBF nach Kanton und nach Gebäudetyp, als absolute Zahl (unten) sowie relativ in % (oben) gemäss kantonalem GPM. Alle Daten der Kantone, differenziert nach Gebäudeklasse, Bauperiode und Jahr, werden den Auftraggebern in elektronischer Form zur Verfügung gestellt (File TEP_GPM_Kanton-2021-06-30_Teil3_Ergebnisse.xlsx, Blatt «EBF»).

5.2 Wärmebedarf für Heizung und Warmwasser

In diesem Kapitel werden ausgewählte Ergebnisse zum berechneten Wärmebedarf für Raumheizung und Warmwasser für alle Kantone ausser VS für fünf Bauperioden dargestellt. Weitere Ergebnisse werden der AG Energiedaten der EnFK in elektronischer Form zur Verfügung gestellt.

5.2.1 Wohnen

Der Wärmedarf für Heizung und Warmwasser von EFH weist bei allen Kantonen einen ähnlichen Verlauf auf (siehe Abbildung 30): Bis zum Baujahr 1980 betragen sie rund 120 kWh/m². Ab 1980 gehen sie in der Regel um rund 10-20 kWh/m² zurück und sinken dann bis zur neusten Bauperiode ab 2016 auf ca. 60 kWh/m² ab. Im Quervergleich zwischen den Kantonen fällt der Kanton TI auf, welcher bei den EFH über alle Bauperioden ein tieferes Niveau aufweist.



Abbildung 30 Wärmebedarf für Raumheizung und Warmwasser 2018 (kWh/m²) für EFH nach Kanton und Bauperiode gemäss kantonalem GPM. Die kompletten Daten der Kantone pro Gebäudeklasse, Bauperiode, Energieträger und Gebäudesektoren werden den Auftraggebern in elektronischer Form zur Verfügung gestellt (File TEP_GPM_Kanton-2021-06-30_Teil2_Zwischenergebnisse.xlsx, Blatt «EE_H» und «EE_W»).

MFH weisen einen ähnlichen Verlauf auf, wobei das Niveau des Wärmebedarfs insgesamt gut ein Drittel tiefer liegt im Vergleich zu den EFH (siehe Abbildung 31 vgl. mit Abbildung 30). Dies ist namentlich auf die günstigeren geometrischen Verhältnisse zurückzuführen.



Abbildung 31 Wärmebedarf für Raumheizung und Warmwasser 2018 (kWh/m²) für MFH nach Kanton und Bauperiode gemäss kantonalem GPM. Die kompletten Daten der Kantone pro Gebäudeklasse, Bauperiode, Energieträger und Gebäudesektoren werden den Auftraggebern in elektronischer Form zur Verfügung gestellt (File TEP_GPM_Kanton-2021-06-30_Teil2_Zwischenergebnisse.xlsx, Blatt «EE_H» und «EE_W»).

5.2.2 Nicht-Wohnen

Der Wärmebedarf für Raumheizung und Warmwasser von Bürogebäuden ist bis zu einem gewissen Mass demjenigen von MFH ähnlich, wenngleich derjenigen von Bürogebäuden eine grössere Streuung aufweisen (siehe Abbildung 32). Dies ist mutmasslich auf die Gebäudeform und die relativ geringe Anzahl Gebäude zurück zu führen. In der Tat kann die Gebäudeform, charakterisiert durch das Verhältnis der Fläche der thermischen Gebäudehülle A_{th} zur Energiebezugsfläche A_e , eine relativ grosse Streuung aufweisen.¹⁹

¹⁹ Die Energiekennzahl eines Gebäudes hängt zum einen von energetischen Eigenschaften (U-Werte, g-Werte, Luftwechsel) und zum anderen von geometrischen Eigenschaften (Gebäudehüllfläche zu EBF) ab, siehe Gleichung (5a) und Abbildung 6. Die energetischen Eigenschaften hängen von der Bauperiode und von den energetischen Vorschriften ab. Nach einem zunächst markanten Rückgang der EKZ aufgrund der Einführung der energetischen Vorschriften wird die Verbesserung der EKZ in der jüngeren Gegenwart zunehmend flacher. Der Einfluss der geometrischen Eigenschaften, der bis zu einem Faktor zwei betragen kann (siehe Abbildung 6), kann zwischen zwei oder drei nahe liegenden Bauperioden grösser werden als der Einfluss der energetischen Eigenschaften. Bei einer geringen Anzahl Gebäude innerhalb eines Segments (ein bestimmter Gebäudetyp einer bestimmten Bauperiode eines bestimmten Kantons) kann dies dazu führen, dass der Wärmebedarf von jüngeren Bauperioden wegen der geometrischen Verhältnisse höher sein kann also solche von älteren.

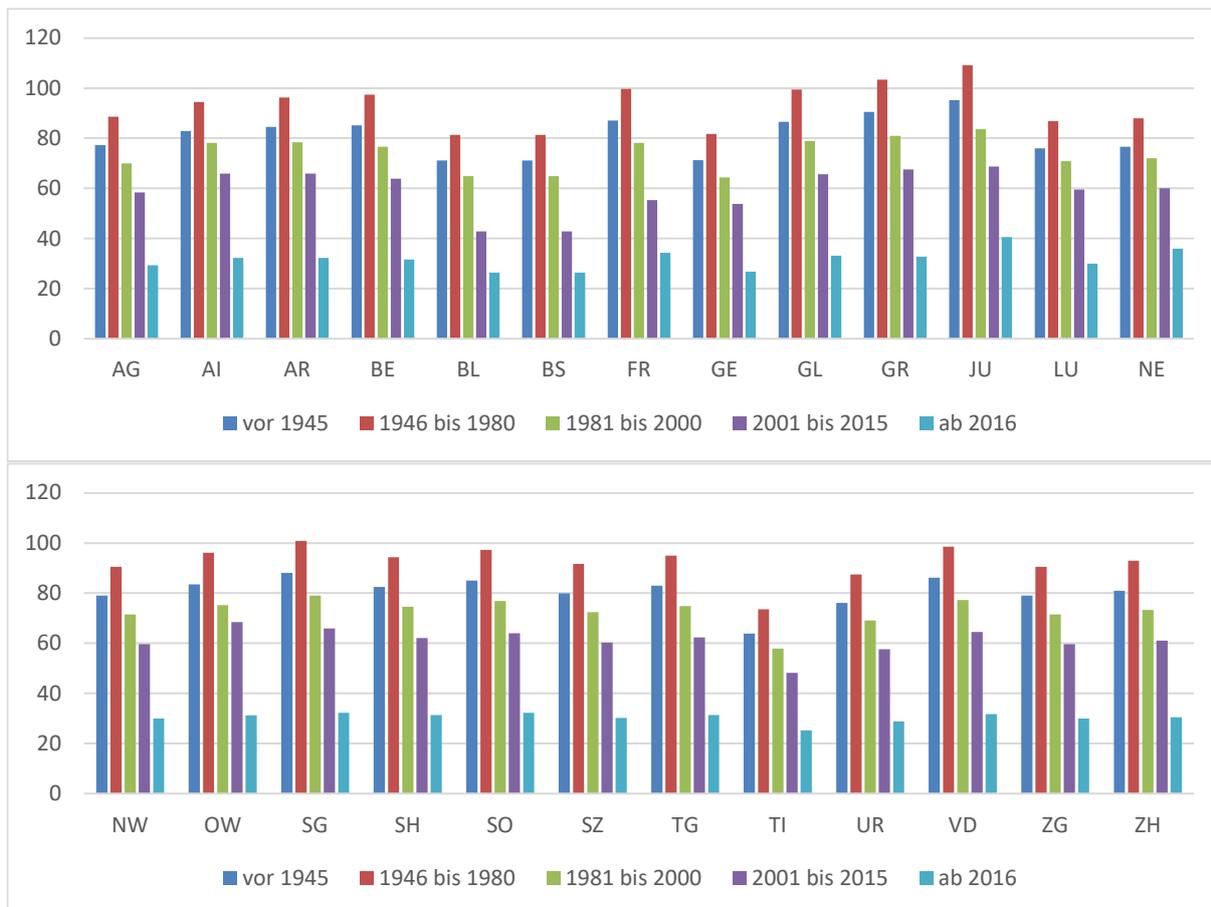


Abbildung 32 Wärmebedarf für Raumheizung und Warmwasser 2018 (kWh/m²) für Bürogebäude nach Kanton und Bauperiode bei gemäss kantonalem GPM. Die kompletten Daten der Kantone pro Gebäudeklasse, Bauperiode, Energieträger und Gebäudesektoren werden den Auftraggebern in elektronischer Form zur Verfügung gestellt (File TEP_GPM_Kanton-2021-06-30_Teil2_Zwischenergebnisse.xlsx, Blatt «EE_H» und «EE_W»).

5.3 Energieträger Raumheizung

Die Endenergieträgeranteile und namentlich die Anteile der fossilen Energieträger Öl und Gas sind für die CO₂-Emissionen des Gebäudesektors von entscheidender Bedeutung. Dieses Kapitel zeigt ausgewählte Ergebnisse zum berechneten Energieträgermix für Raumheizung für die 18 Kantone, bei denen eine Erhebung durchgeführt wurde. Die Ergebnisse sind für Wohngebäude (5.3.1) und nicht-Wohngebäude (o) dargestellt.

5.3.1 Wohnen

Die flächenbezogenen Energieträgeranteile werden nachfolgend exemplarisch für die 18 Kantone, bei denen eine Erhebung durchgeführt wurde, dargestellt, wobei zwischen den verschiedenen Gebäudetypen (EFH und MFH) und den fünf Bauperioden differenziert wird.

Bis zu einem gewissen Mass ist bei den EFH ein ähnliches Muster über die 18 Kantone zu erkennen. Der Anteil an fossil beheizten Gebäuden steigt zunächst an und ist bei der Bauperiode der 1950er bis 1980er-Jahre am höchsten. Danach sinkt der Anteil an fossilen Energieträgern und ab 2000 steigt derjenige von wärmepumpenbeheizten EFH stark an (siehe Abbildung 33). Abgesehen von diesen Gemeinsamkeiten gibt es folgende Unterschiede zu vermerken: in den Kantonen AI, BE, GL, GR, SZ und ZG sind die Anteile an holzbeheizten EFH

höher als bei anderen Kantonen. Im Quervergleich weisen die Kantone BL, NE und VD die höchsten Anteile an fossilen Energieträgern auf.

Im Vergleich zu den EFH weisen die MFH tendenziell höhere Anteile an fossilen Energieträgern aus (siehe Abbildung 34). Der Wechsel hin zu WP erfolgt etwas weniger ausgeprägt. Anzumerken ist, dass, im Gegensatz zu früheren Kategorisierungen, auch Gebäude mit zwei Wohnungen zu den MFH gezählt werden.

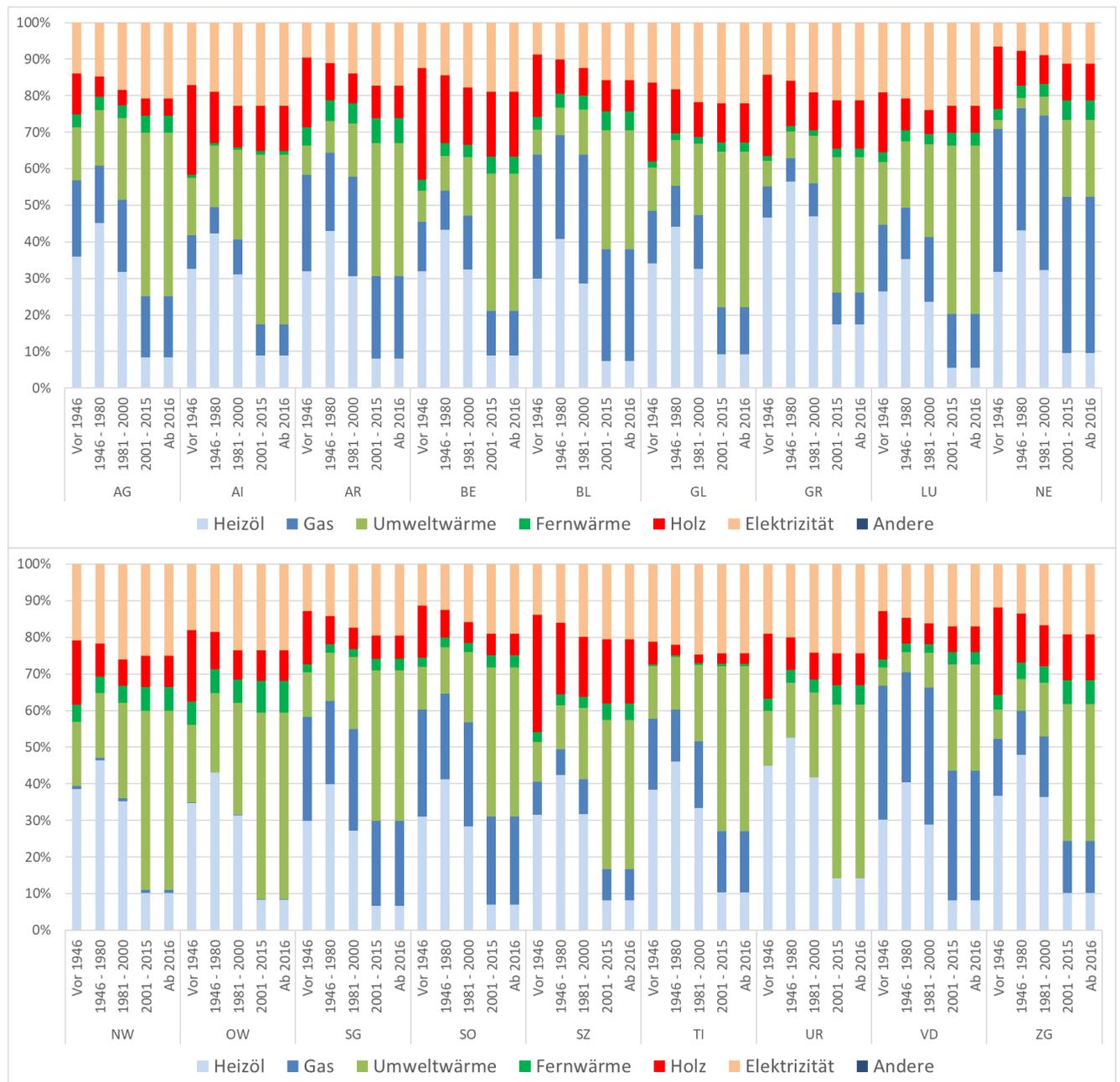


Abbildung 33 Energieträgermix Raumheizung im Jahr 2018 nach Kanton und Bauperiode bei Einfamilienhäusern gemäss kantonalem GPM. Alle Daten der Kantone, differenziert nach Gebäudeklasse, Bauperiode, Energieträger und Jahr, werden den Auftraggebern in elektronischer Form zur Verfügung gestellt (File TEP_GPM_Kanton-2021-06-30_Teil3_Ergebnisse.xlsx, Blatt «E-Mix_HZ»).

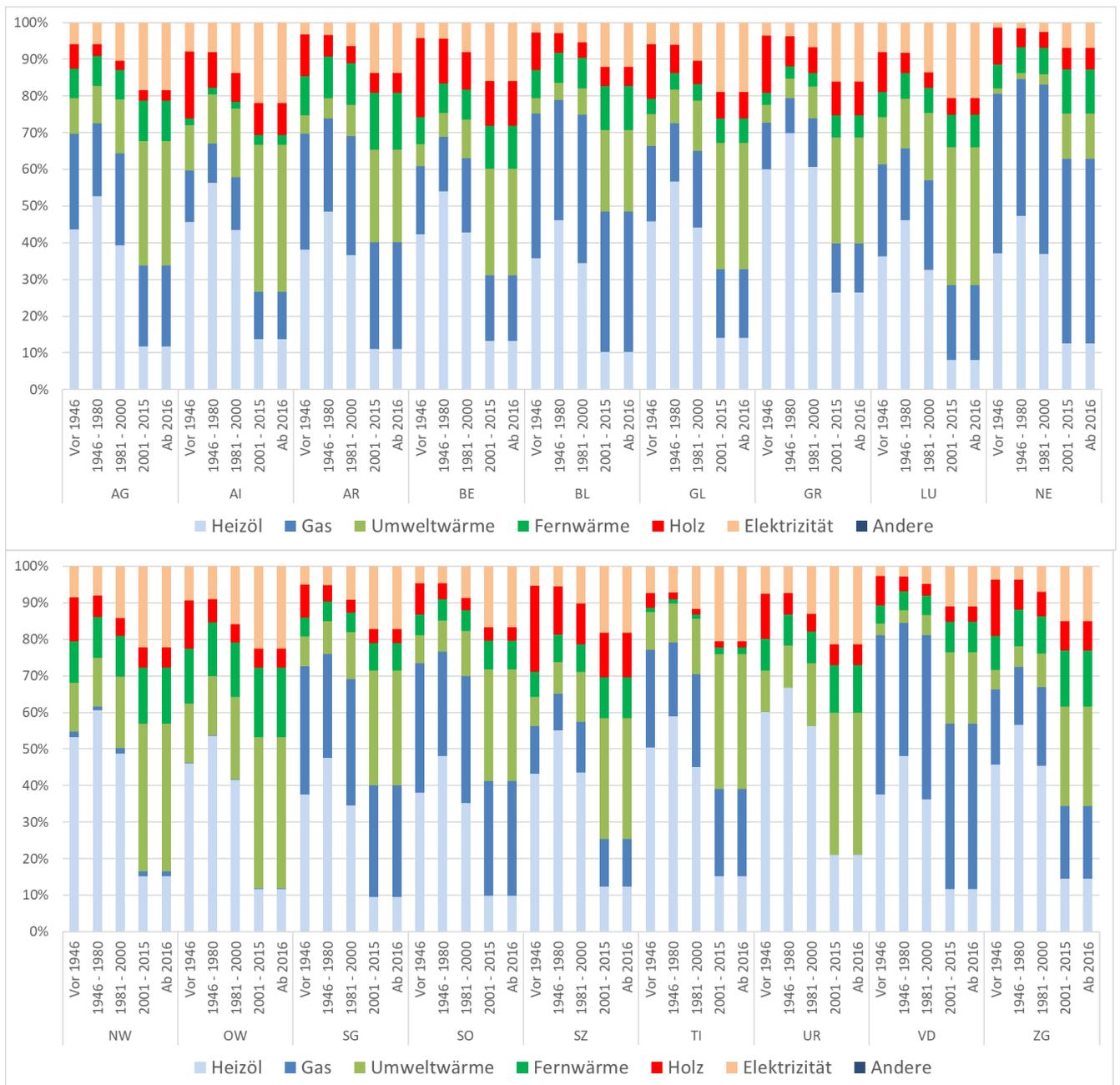


Abbildung 34 Energieträgermix Raumheizung im Jahr 2018 nach Kanton und Bauperiode bei Mehrfamilienhäusern gemäss kantonalem GPM. Alle Daten der Kantone, differenziert nach Gebäudeklasse, Bauperiode, Energieträger und Jahr, werden den Auftraggebern in elektronischer Form zur Verfügung gestellt (File TEP_GPM_Kanton-2021-06-30_Teil3_Ergebnisse.xlsx, Blatt «E-Mix_HZ»).

5.3.2 Nicht-Wohnen

Die Anteile der Energieträger zeigen bei den Bürogebäuden (Abbildung 35) ähnliche Muster auf wie bei den Wohngebäuden: in den älteren Bauperioden bis 2000 dominieren fossile Energieträger und ab 2001 nehmen die Anteile der WP zu. Im Vergleich zu den Wohngebäuden und insbesondere den EFH machen auch bei den neueren Bauperioden die Anteile der Umweltwärme weniger aus. Auffällig sind die hohen Anteile der Fernwärme bei neueren Bauperioden ab 2000 über alle Bürogebäude hinweg und insbesondere in den Kantonen AR, NE, NW, OW, UR und ZG. Anzumerken ist, dass die Bauperiode «ab 2016» bei den Kantonen AI, AR, GL und NE keine Gebäude aufweist.

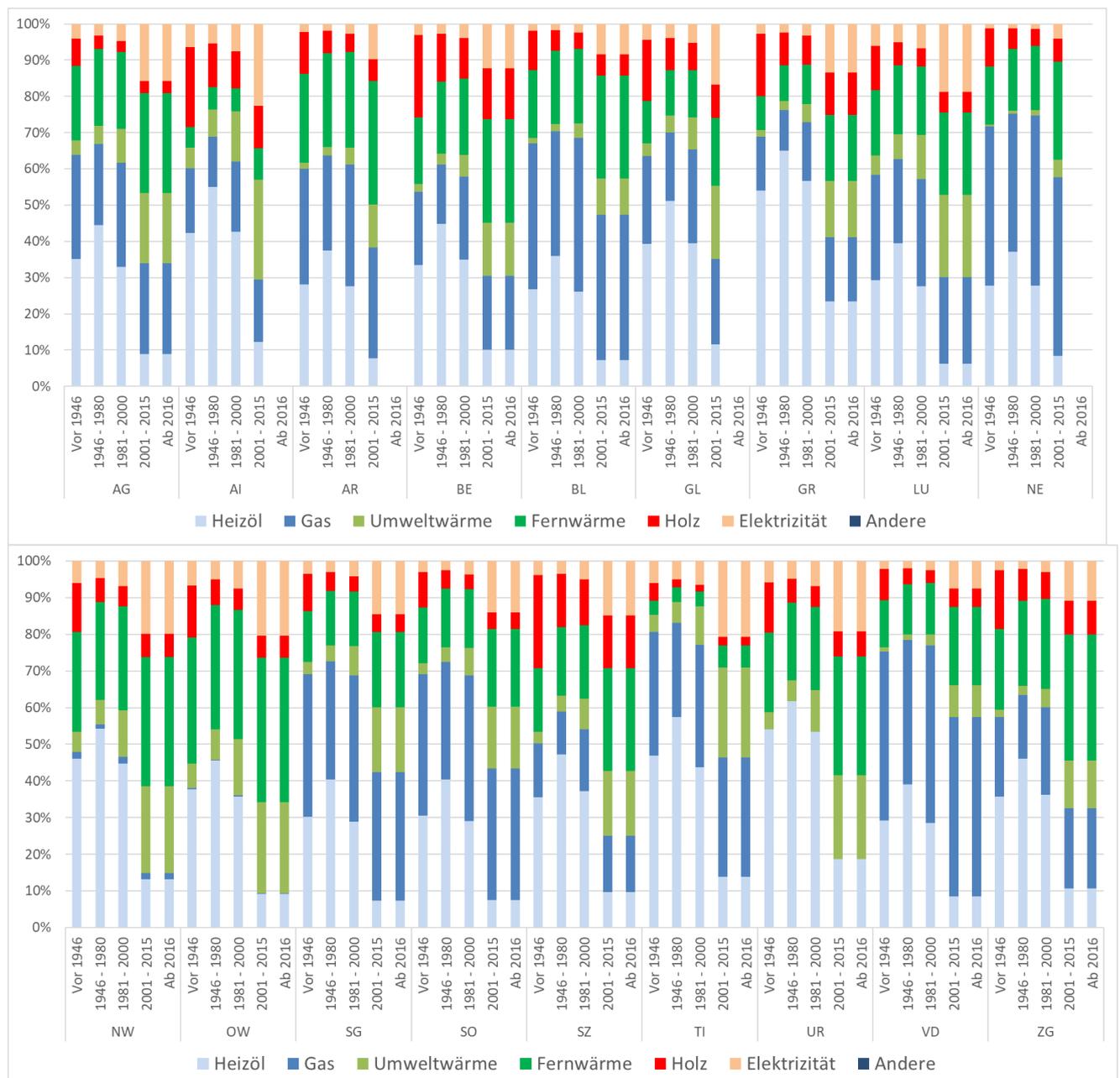


Abbildung 35 Energiemix Raumheizung im Jahr 2018 nach Kanton und Bauperiode bei Bürogebäuden gemäss kantonalem GPM. Alle Daten der Kantone, differenziert nach Gebäudeklasse, Bauperiode, Energieträger und Jahr, werden den Auftraggebern in elektronischer Form zur Verfügung gestellt (File TEP_GPM_Kanton-2021-06-30_Teil3_Ergebnisse.xlsx, Blatt «E-Mix_HZ»).

5.4 Energieträger Warmwasser

Im Folgenden sind die Energieträgeranteile für Warmwasser exemplarisch für EFH für die 18 Kantone dargestellt (Abbildung 36). Im Vergleich zur Raumheizung, wo der Anteil Elektrizität 10-20% ausmacht, beträgt beim Warmwasser der Anteil Elektrizität rund 30% und ist somit bei fast allen Kantonen und insbesondere bei älteren Bauperioden der dominierende Energieträger für Warmwasser. Ähnlich wie bei der Raumwärme machen auch Wärmepumpen einen erheblichen Teil aus, insbesondere in den zwei neueren Bauperioden ab 2001.

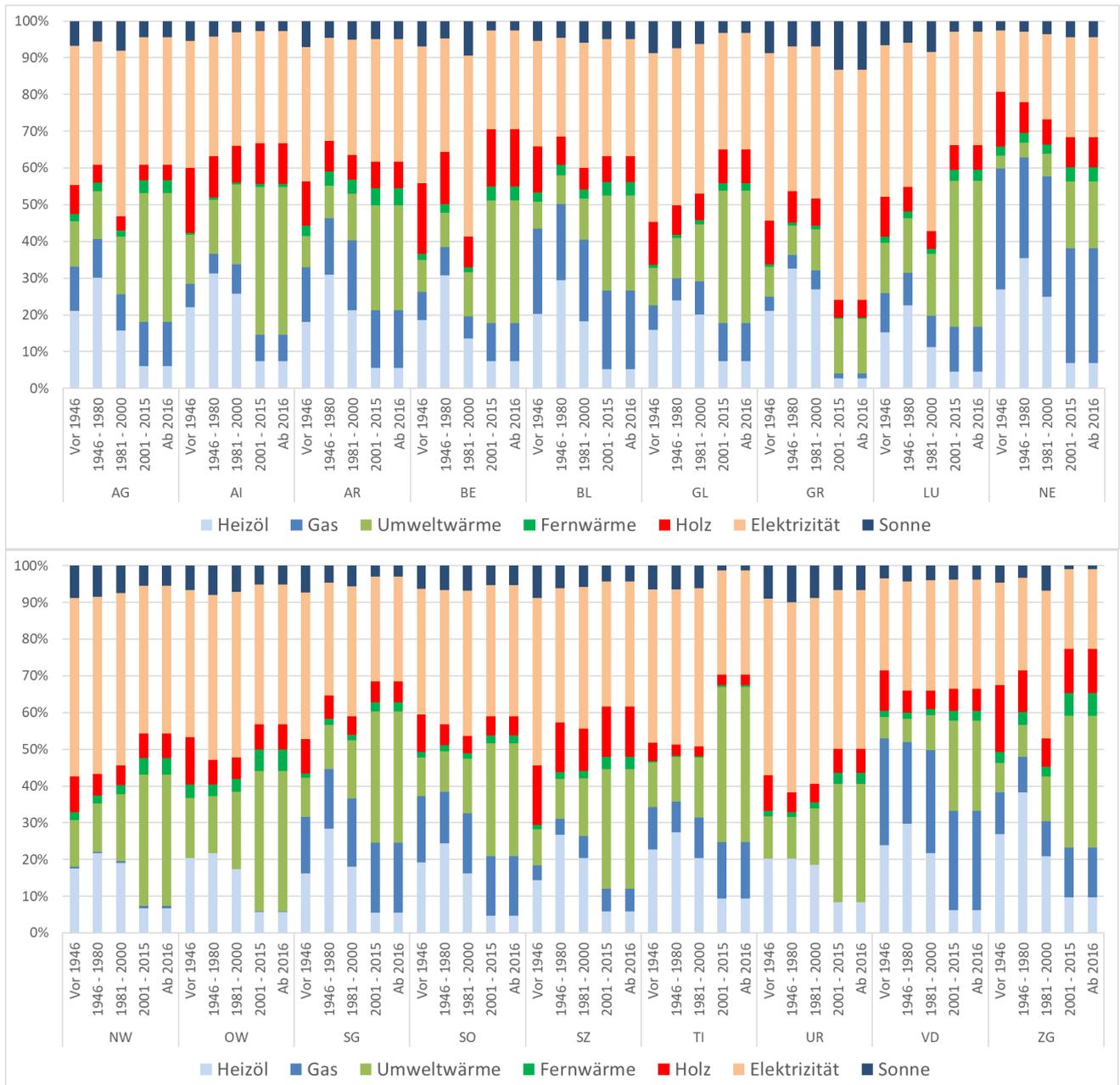


Abbildung 36 Energieträgermix Warmwasser im Jahr 2018 nach Kanton und Bauperiode bei Einfamilienhäusern gemäss kantonalem GPM. Alle Daten der Kantone, differenziert nach Gebäudeklasse, Bauperiode, Energieträger und Jahr, werden den Auftraggebern in elektronischer Form zur Verfügung gestellt (File TEP_GPM_Kanton-2021-06-30_Teil3_Ergebnisse.xlsx, Blatt «E-Mix_WW»).

5.5 Spezifische CO₂-Emissionen (Emissionskoeffizienten)

Die CO₂-Emissionen pro m² EBF reflektieren zum einen die Verläufe der EKZ als Funktion der Bauperiode und zum anderen die Energieträgeranteile, welche ebenfalls von der Bauperiode abhängen. Alle Kantone und Gebäudetypen zeigen dasselbe Muster auf: die höchsten Emissionen verursachen Gebäude der Bauperiode 1946-1980, danach sinken sie mit jeder Periode. Nebst dem Verlauf der EKZ als Funktion der Bauperiode wird dieses Muster stark vom Verlauf des Energieträgermixes bestimmt. Insbesondere bei den neueren Gebäuden macht sich der hohe Anteil an erneuerbaren Energien (inkl. WP) bemerkbar.

Die höheren CO₂-Emissionen in den Kantonen AR, NE und SO im Vergleich zu AI, GL, GR und UR sind auf die höheren Anteile an fossilen Energieträgern im Vergleich zu den anderen Kantonen zurückzuführen, welche wiederum höhere Anteile für Umweltwärme und Holz aufzeigen (siehe Abbildung 33).

Im Vergleich zu den EFH sind die spez. CO₂-Emissionen der MFH (Abbildung 38) im Fall der Kantone AI, GL, GR und UR etwa gleich hoch. Im Fall der Kantone AR, NE und SO sind die Emissionen bei den EFH höher. Bei diesen Kantonen sind die Energieträgeranteile zwischen EFH und MFH ähnlich, der Wärmebedarf ist bei den EFH jedoch höher, was die höheren Emissionen erklärt.

Im Vergleich zu den MFH liegen die spezifischen CO₂-Emissionen bei den Bürogebäuden in den älteren Bauperioden (bis 2000) höher (vgl. Abbildung 39 mit Abbildung 38). Besonders auffallend ist GR, wobei die höheren Werte dort auf den höheren Wärmebedarf und v.a. auf den hohen fossilen Anteil (v.a. Öl) zurückzuführen sind.

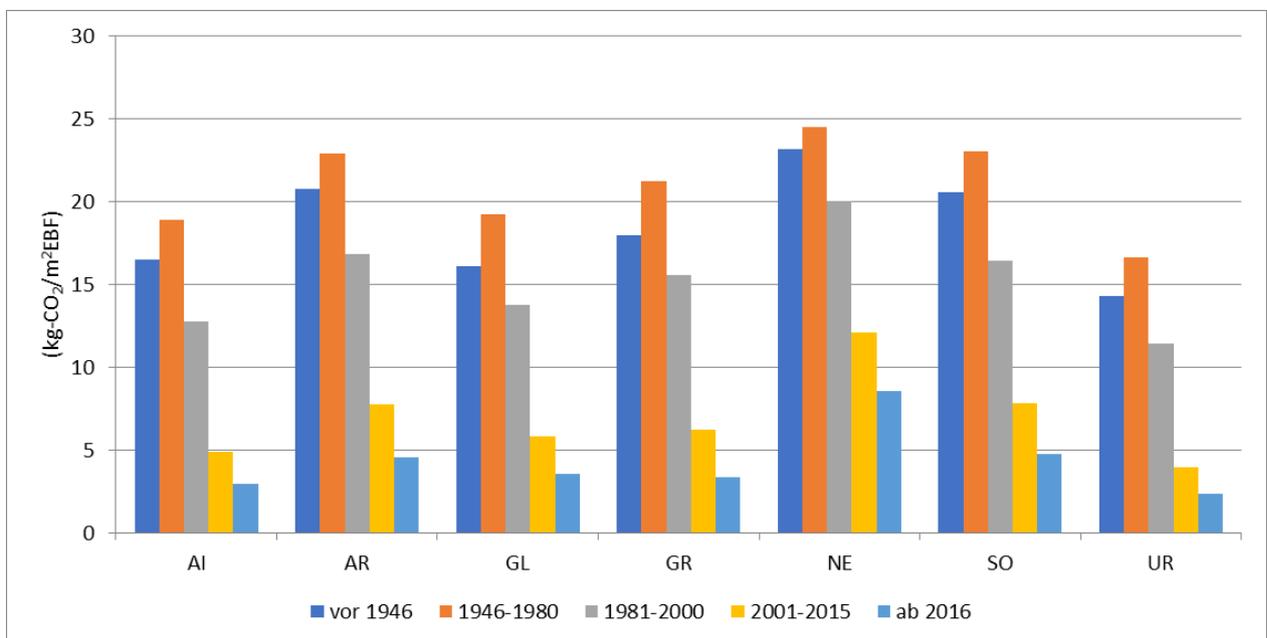


Abbildung 37 CO₂-Emissionen pro m² EBF (Emissionskoeffizienten, kg/m²) im Jahr 2018 nach Kanton und Bauperiode bei Einfamilienhäusern gemäss kantonalem GPM

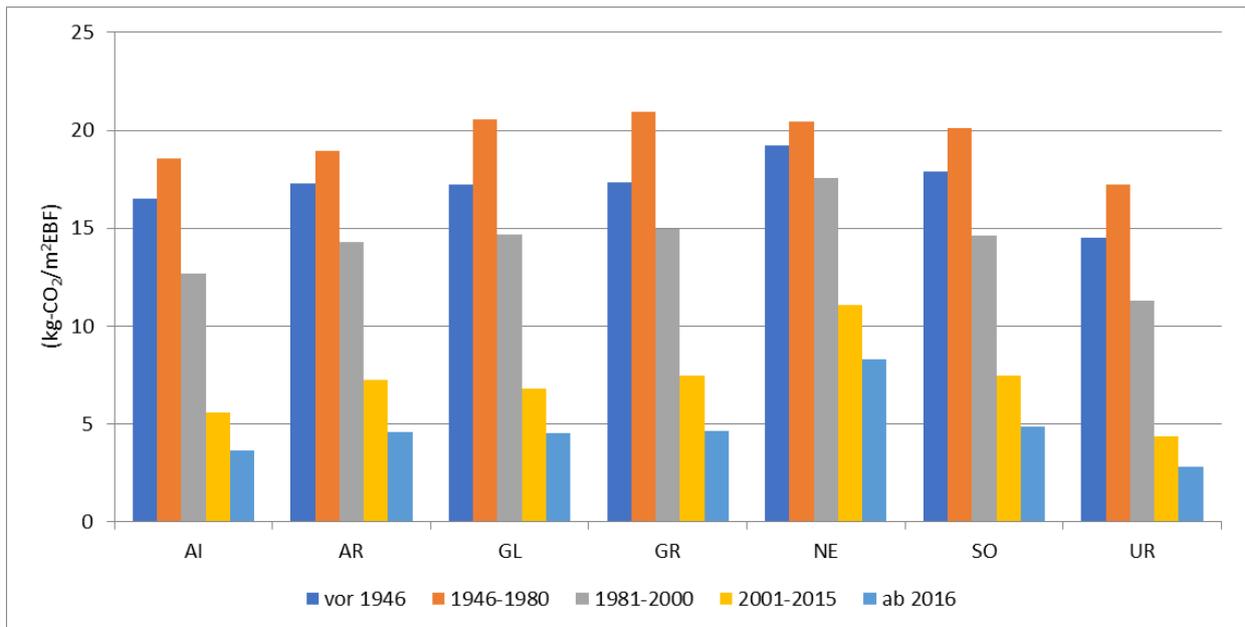


Abbildung 38 CO₂-Emissionen pro m² EBF (Emissionskoeffizienten, kg/m²) im Jahr 2018 nach Kanton und Bauperiode bei Mehrfamilienhäusern gemäss kantonalem GPM

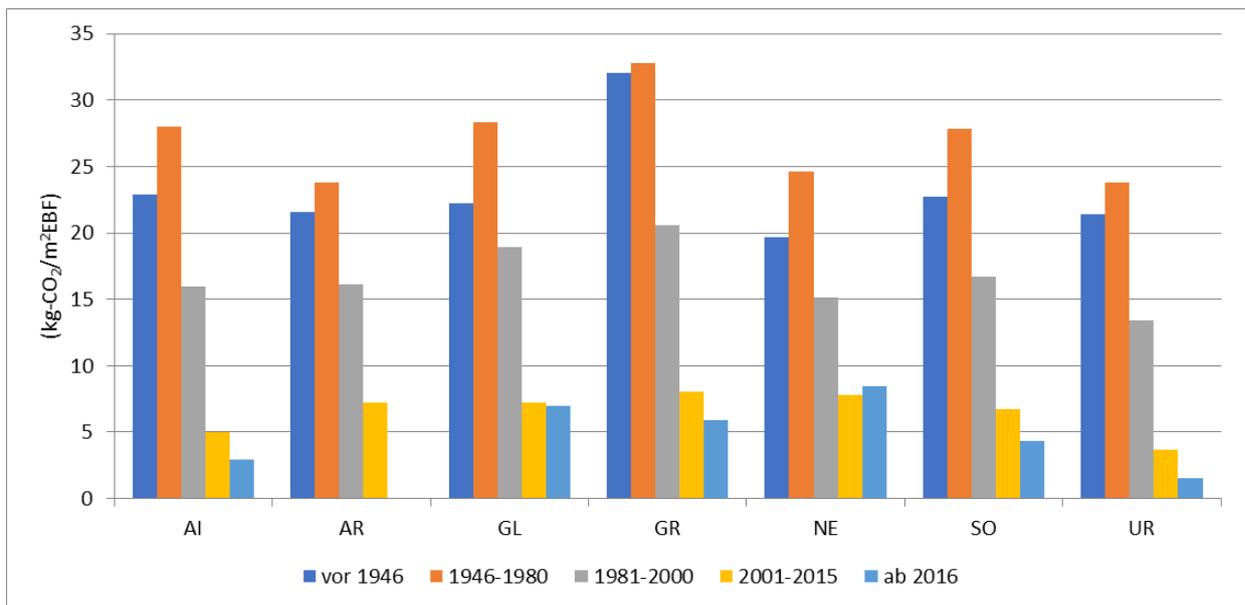


Abbildung 39 CO₂-Emissionen pro m² EBF (Emissionskoeffizienten, kg/m²) im Jahr 2018 nach Kanton und Bauperiode im Gebäudesektor NWG (Flächen des Dienstleistungssektors) gemäss kantonalem GPM

5.6 Energieverbrauch und CO₂-Emissionen pro Kanton

Der sich ergebenden Energieverbräuche pro Energieträger und die daraus resultierenden CO₂-Emissionen pro Kanton sind nachfolgend für die drei Jahre 2016 bis 2018 dargestellt, wobei bei der Energie auf die fossilen Energieträger fokussiert wird.

5.6.1 Fossiler Energieverbrauch

Die grössten Beiträge am Ölverbrauch weisen die Kantone ZH, BE, VD und AG auf, gefolgt von einer hohen Anzahl Kantone mit mittlerem Verbrauch um 1000 GWh siehe Abbildung 40. Zwischen 2016 und 2017 nimmt der Ölverbrauch leicht und zwischen 2017 und 2018 deutlicher ab (in der Regel zwischen 10% und 14%). Der allgemeine Trend zwischen 2016 und 2018 ist auf die energetische Erneuerung und vor allem auf die Substitution des Energieträgers Öl durch Gas und andere Energieträger zurück zu führen, währenddem die Veränderung von 2017 auf 2018 vor allem auf die Witterung zurück zu führen ist (2018 war ein kälteres Jahr mit rund 10% tieferer Aussentemperatur während der Heizperiode).

Gleich wie beim Öl ist der höchste Verbrauch von Erdgas beim Kanton ZH festzustellen, gefolgt von den Kantonen VD, GE, SG, BE und AG (siehe Abbildung 41). Nebst einer Serie von Kantonen mit mittlerem Verbrauch fallen die kleineren Kantone mit wenig oder gar keinem Gasverbrauch auf, u.a. weil einige davon über keine Gasinfrastruktur verfügen. Der zeitliche Trend ist beim Gas im Vergleich zum Öl etwas weniger ausgeprägt, u.a. weil immer noch eine Substitution in Richtung des Energieträgers Gas stattfand. In Kantonen, bei denen eine gewisse Sättigung bzw. ein Ende dieses Trends festzustellen ist, ist der Verlauf ähnlich wie beim Öl, insbesondere was der Einfluss der Witterung von 2017 auf 2018 betrifft.

Abbildung 42 zeigt den gesamten Energieverbrauch aller Energieträger auf. Ähnlich wie beim Öl und Gas, hat ZH mit rund 13'000 GWh den höchsten Verbrauch, gefolgt von BE, VD, AG, SG und GE.

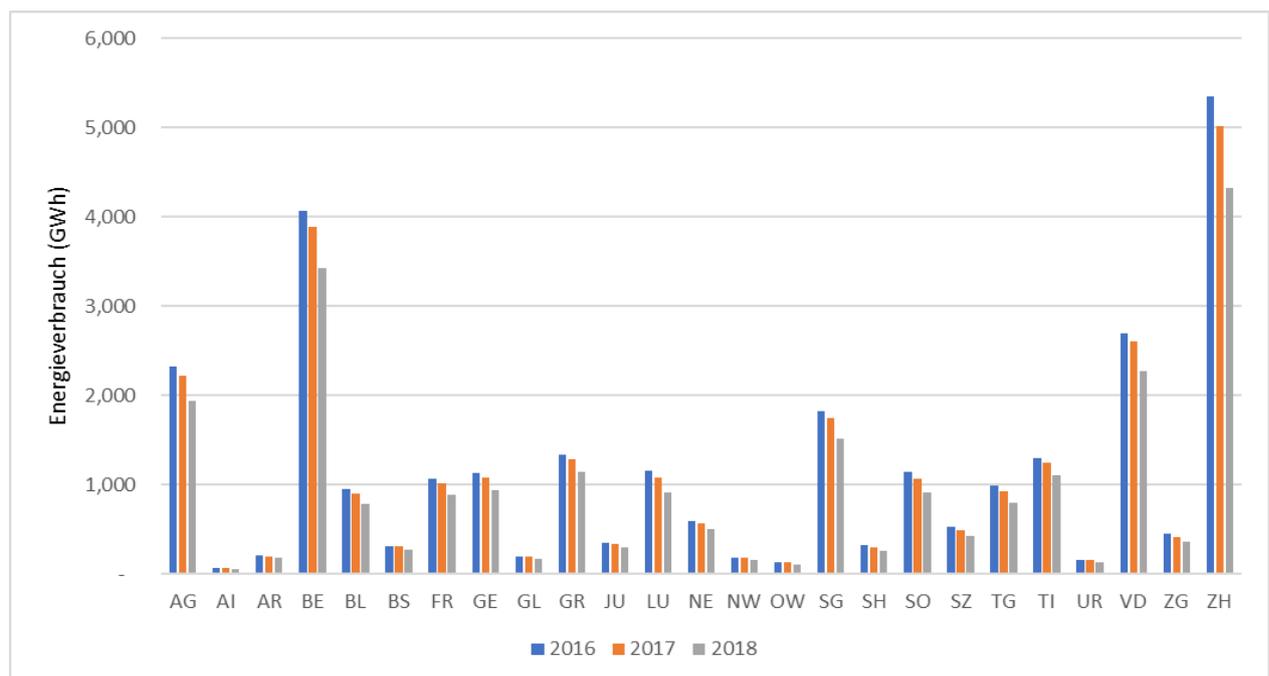


Abbildung 40 Energieverbrauch von Öl für die Bereiche Wohnen und Dienstleistungen für das Jahr 2016, 2017 und 2018 pro Kanton (GWh) gemäss kantonalem GPM

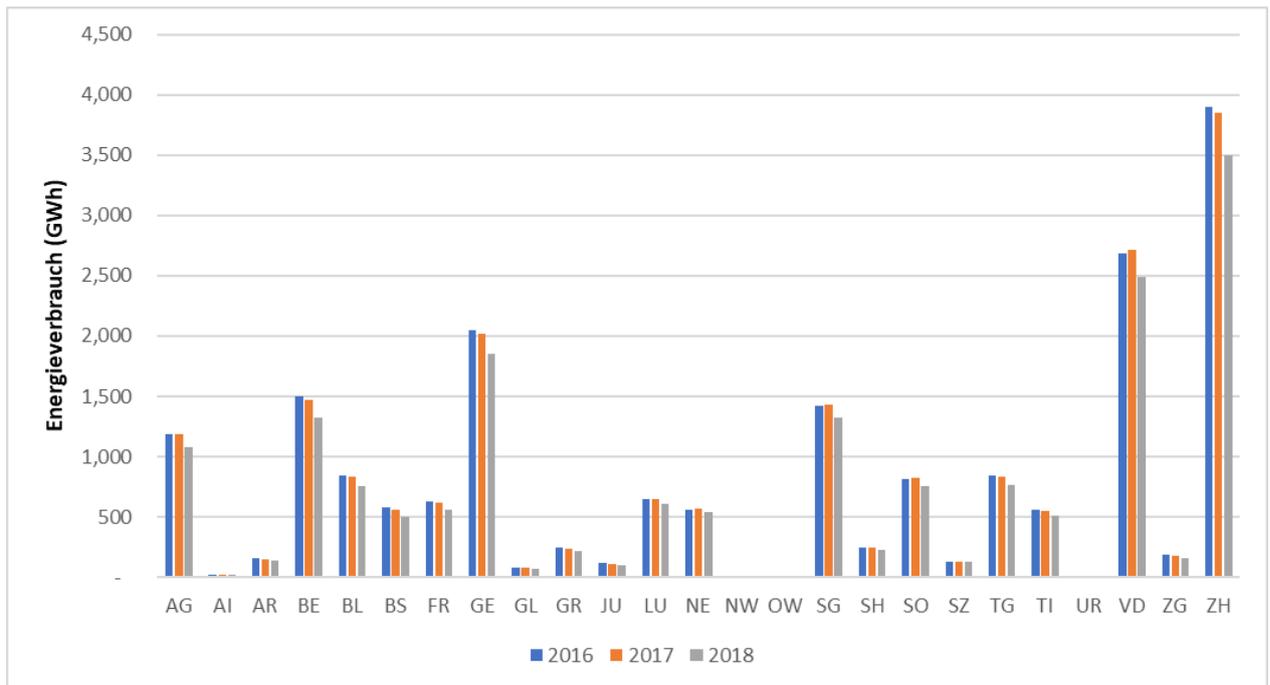


Abbildung 41 Energieverbrauch von Erdgas für die Bereiche Wohnen und Dienstleistungen für das Jahr 2016, 2017 und 2018 pro Kanton (GWh) gemäss kantonalem GPM

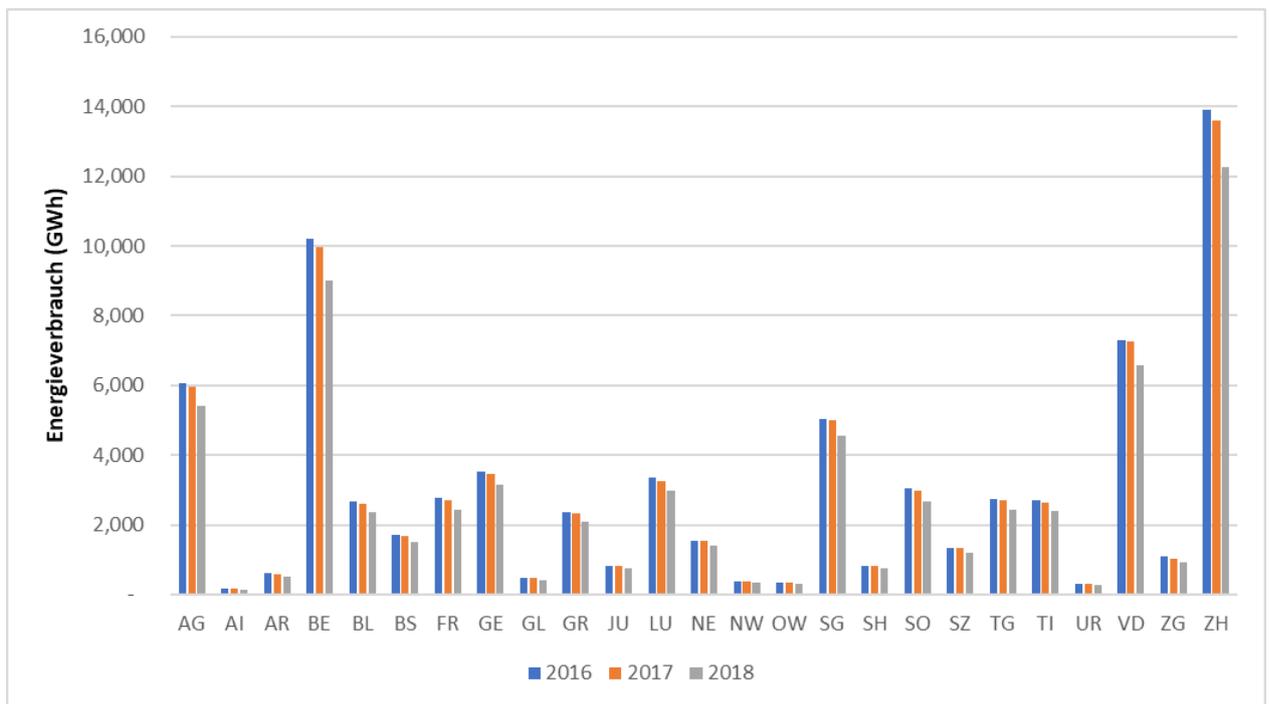


Abbildung 42 Energieverbrauch aller Energieträger für die Bereiche Wohnen und Nicht-Wohnen (Dienstleistungssektor) für das Jahr 2016, 2017 und 2018 pro Kanton (GWh) gemäss kantonalem GPM

5.6.2 CO₂-Emissionen

Die CO₂-Emissionen werden zu rund 70%-80% von Wohngebäuden und zu rund 20%-30% von Gebäuden des Dienstleistungssektors verursacht. In Kantonen mit einem hohen DL-Sektoranteil wie z.B. ZG, ZH, BS und GE weisen die Wohngebäude einen unterdurchschnitt-

lichen Anteil auf, in ländlichen Kantonen wie AR, JU, NE, OW, SZ und TG einen höheren (Abbildung 43). In absoluter Höhe weisen die Kantone AG, BE, SG, VD und v.a. ZH die höchsten CO₂-Emissionen auf (jeweils mehr als 0.8 Mio. t CO₂, siehe auch Abbildung 44).

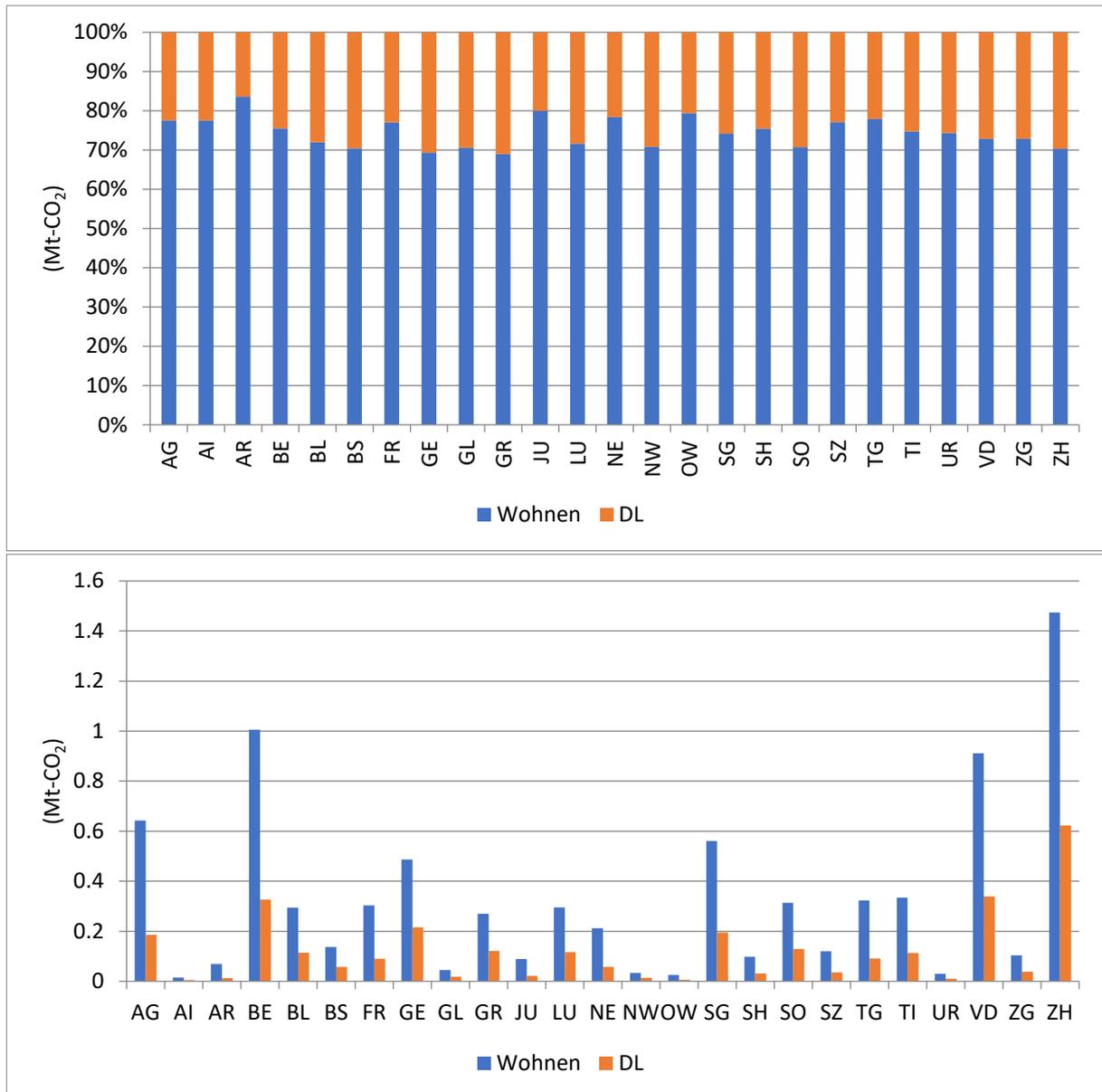


Abbildung 43 CO₂-Emissionen Wohnen und Nicht-Wohnen (Dienstleistungssektor) für das Jahr 2018 pro Kanton, einmal in % (oben) und einmal absolut (Mt) gemäss kantonalem GPM

Im Zeitverlauf zwischen 2016 und 2018 sinken die CO₂-Emissionen des Gebäudebereichs, zwischen 2017 und 2018 deutlich um gut 10%. Nebst des Wechsels von fossilen Energieträgern zu Fernwärme und erneuerbaren Energien ist auch die Witterung für den Emissionsverlauf bestimmend. Letztere ist v.a. für den Rückgang von 2017 auf 2018 verantwortlich. In der Tat sind die Heizgradtage (HGT) 2018 rund 10% tiefer als 2017.

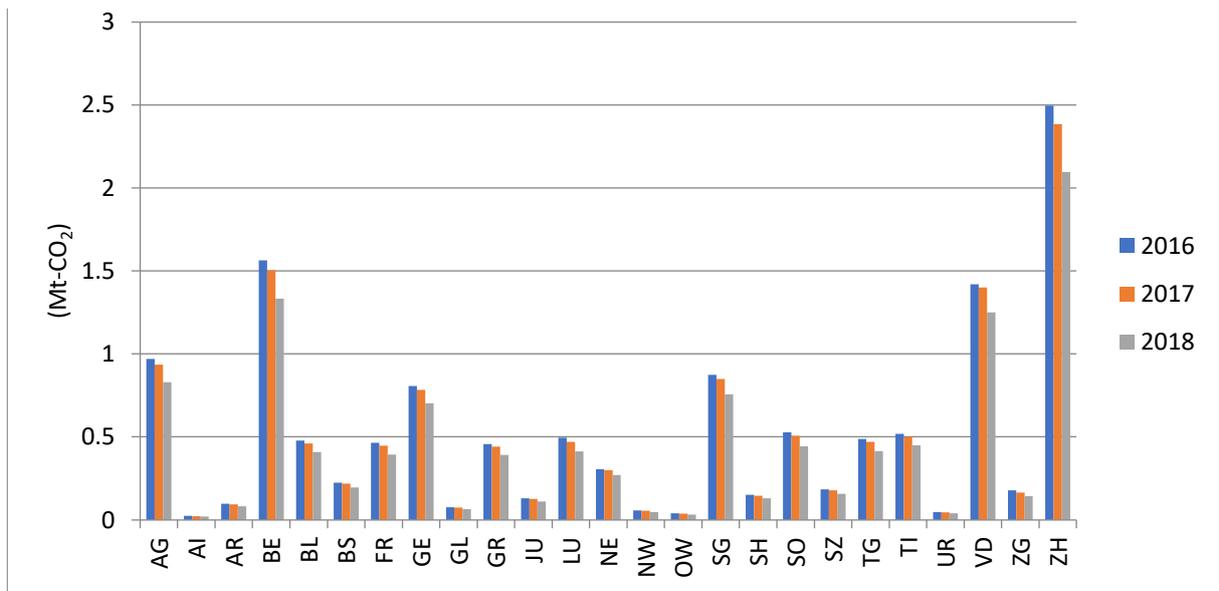


Abbildung 44 CO₂-Emissionen Wohnen und Dienstleistungsgebäude (DL) für das Jahr 2016, 2017 und 2018 pro Kanton, in (Mt) gemäss kantonalem GPM

6 Fazit, Ausblick und weiteres Vorgehen

6.1 Fazit

Bei den in diesem Bericht beschriebenen Verfahren und Datengrundlagen handelt es sich um den Stand der Arbeiten beim Abschluss des Projekts «Kantonale Energiekennzahlen und CO₂-Emissionen im Gebäudebereich». Auch wenn bis zu diesem Zeitpunkt (Juni 2021) nicht alle denkbaren methodischen und empirischen Verbesserungen umgesetzt bzw. mit einbezogen werden konnten, konnten die Energiebezugsflächen, Energiekennzahlen, Energieträgeranteile sowie die Energieverbräuche pro Energieträger und die CO₂-Emissionen pro Kanton wesentlich konsistenter als bisher (Hartmann und Jakob 2018) berechnet werden. Die nun vorliegende Methodik bietet die Grundlage für die Anwendung im Rahmen der folgenden Berichterstattungen, bei denen es insbesondere darum geht, aktualisierte Datengrundlagen, namentlich seitens des GWR und seitens Kantone, jeweils auszuwerten und in die Berechnungen einfließen zu lassen.

Damit konnten die Ziele, die Methodik wesentlich weiter zu entwickeln, die empirischen Datenlage zu verbessern und die Methodik zu erproben und erfolgreich anzuwenden, erreicht werden. Per Juni 2021 können konkret folgende Punkte festgehalten werden:

- Mit der Nutzung des GWR, der GWS, der STATENT sowie des 3D-Modells konnte das Mengengerüst (die Energiebezugsflächen und die Bauteilflächen) v.a. bei der Nicht-Wohnnutzung wesentlich verlässlicher als bisher pro Kanton berechnet werden, dies ausgehend von gebäude- und standortscharfen Daten, welche direkt zu Kohorten aggregiert wurden (für einen Grossteil der Gebäude) und als Grundlage für ein statistisches Modell dienen, mit welchem fehlende Daten ergänzt wurden.
- Die Stichprobenerhebung konnte in 18 Kantonen rechtzeitig durchgeführt werden, so dass die Ergebnisse in die vorliegenden Berechnungen einfließen konnten (AG, AI, AR, BE, BL, GL, GR, LU, NE, NW, OW, SG, SO, SZ, TI, UR, VD und ZG). In weiteren Kantonen wird die Erhebung durchgeführt (Kanton ZH) oder als Möglichkeit angedacht (Kantone TG und SH).
- Bei den Eingangsgrößen für die Berechnung der Energiekennzahlen wie z.B. bei den U-Werten und bei den energetischen Erneuerungsraten konnten Verbesserungen erzielt werden, u.a. durch den Quervergleich mit Ergebnissen der Stichprobenerhebung in 18 Kantonen. Zusammen mit den Verbesserungen bei den geometrischen Verhältnissen der Bauteilflächen ermöglicht dies Ergebnisse, welche gut auf kantonale Grundlagen aufbauen, v.a. in den 18 Kantonen, bei welchen die geplante Erhebung bereits umgesetzt werden konnte.
- Auch bei den Energieträgeranteilen konnten substanzielle Fortschritte erzielt werden, v.a. durch den Einbezug der Erhebungsergebnisse in den erwähnten 18 Kantonen und die Auswertung des GWR, was die neuste(n) Bauperioden betrifft. Es ist jedoch anzufügen, dass noch nicht alle Meta-Daten des GWR berücksichtigt werden konnten.

- Bzgl. Nutzenergiebedarf und EKZ konnte eine konsistente Zeitreihe²⁰ für die Jahre 2016 bis 2018 erstellt werden. Mit den nun vorliegenden Ergebnissen und Modellgrundlagen konnte die Entwicklung grundsätzlich auf die wichtigsten Einflussfaktoren zurückgeführt werden (z.B. Flächenveränderung, energetische Erneuerungsraten, zeitliche Entwicklung des Energieträgermixes, Witterung), ähnlich wie bei den Ex-post Analysen des BFE.

Mit dem vorgeschlagenen und umgesetzten Vorgehen eines kombinierten Erhebungs- und Modellierungsansatzes wird dies mit einem günstigen Verhältnis zwischen empirischer Fundierung, Einfachheit für die Befragten und Aufwand erreicht.

6.2 Ausblick und weiteres Vorgehen

Bezugnehmend auf die formulierte Zielsetzung, das geplante Vorgehen, das obige Fazit, Rückmeldungen der Kantone und weitere gewonnene Erkenntnisse werden für das weitere Vorgehen im Rahmen der regelmässigen Berichterstattung die Umsetzung folgender Punkte vorgeschlagen:

6.2.1 Mengengerüst

- Weitere Verbesserung der Berechnungen der EBF (v.a. bei den Nicht-Wohnflächen und diesbezüglich insbesondere bzgl. der Arealthematik) und den Bauteilflächen. So könnten z.B. bei der Berechnung der Stockwerkhöhe bei Nicht-Wohngebäuden Verbesserungen erzielt werden. Zudem sollten ausgeprägte Stadtkantone (GE und BS) separat als Ausnahme behandelt werden.
- Bezug und Nutzung eines aktualisierten Datensatzes des GWR (inkl. Sekundärdaten), da davon auszugehen ist, dass weitere Kantone aktuellere Daten zu Heizungen und Energieträger aufgrund von Sekundärdaten dem BFS übermitteln werden.

6.2.2 Empirische Abstützung Energieträgeranteile und Energiekennzahlen

- Weitergehende Auswertung des GWR unter Nutzung des Attributs «Informationsquelle Heizung GWAERSCEH₁, GWAERSCEH₂», um das tatsächliche Aktualisierungsjahr bei der Heizung besser einschätzen zu können (u.a. indem mit dem BFS und den Kantonen die wichtigsten Datenlieferungen geklärt werden).
- Differenziertere Annahmen bzgl. energetischen Erneuerungsraten bei den Kantonen, für die noch keine Erhebung durchgeführt werden konnte.
- Wiederholung der Stichprobenerhebung, Einbezug der Daten der Stichprobenerhebungen und Einbezug dieser beiden Datenquellen bei der Modellierung der Energieträgeranteile.
- Durchführen einer non-response Analyse, um in Erfahrung zu bringen, ob und wenn ja bzgl. welcher Merkmale eine Verzerrung (z.B. eine self selection bias) vorliegen könnte.
- Durchführen der Stichprobenerhebung möglichst auch in den Kantonen GE, FR, JU, VS, TG und SH; (BS stellt ähnliche Informationen aus eigenen Quellen zur Verfügung).

²⁰ Aufgrund des grundlegend überarbeiteten Vorgehens sind die Ergebnisse mit den Daten der Berichterstattung 2018 für das Jahr 2016 in den meisten Belangen nicht direkt vergleichbar. Der Vergleich der Jahre 2017 und 2018 mit dem Jahr 2016 soll mit den hiermit neu berechneten Daten für das Jahr 2016 gemacht werden.

- Die Heiz- und Warmwassersystemanteile sollen bei fehlenden Kantonen durch statistische Modelle, welche die gebäudeseitigen und räumlichen Strukturen berücksichtigen, statt durch Analogieschlüsse festgelegt werden.

6.2.3 Berechnungsansätze

- Anpassung des Berechnungsgangs und der JNG-Annahmen, um zwischen kombinierten und dezentralen Warmwasseraufbereitungen zu unterscheiden.
- Anpassung des Berechnungsverfahrens und/oder der Annahmen bei Neubauten (und umfassenden Gebäudeerneuerungen), da die U- und g-Werte von den Planern jeweils so angepasst werden, dass die jeweils vorgegebenen Systemwerte (Q_H) eingehalten werden (d.h. die U-Werte sind höher als die U-Wert-Vorgaben auf Ebene Einzelbauteile).
- Wenn möglich differenziertere Berücksichtigung von spezifischen Nutzungen, u.a. im Bereich Ferienwohnungen und -häusern.
- Anpassung des Berechnungsverfahrens bzw. der Datengrundlagen, um den Witterungseinfluss zu berechnen (u.a. bzgl. Höhenlage).

6.2.4 Validierung

Validierung: Die Validierung sollte verfeinert werden, z.B. unter Einbezug

- von Energieverbrauchsdaten, die bei den Kantonen vorliegen (z.B. pro Versorger, pro Kanton und Verbraucherkategorie). Unterschiedliche Abgrenzungen und Kategorisierungen sind zu berücksichtigen.
- der Energieverbrauchserhebung Industrie und Dienstleistungen des Bundesamts für Energie (siehe z.B. BFE 2019). Dabei werden Gruppen von Gebäudeklassen gebildet und mit den vom BFE erhobenen Branchenenergieverbräuchen verglichen werden.
- Vergleich zwischen berechneten und erhobenen Grössen EBF und EKZ für eine Auswahl von Gebäuden, für welche einzelne Kantone Daten zur Verfügung stellen. Dies dient auch der differenzierteren Berücksichtigung des Energy Performance Gap (EPG). Hierbei sollen nicht nur die Bauperiode, sondern auch der Gebäudesektor (EFH, MFH, NWG), die Nutzung (Ferien- und Leerstandswohnungen) und der Energieeffizienzstandard des Gebäudes (charakterisiert durch das berechnete Q_H) berücksichtigt werden (gemäss Loga 2003 und der übrigen verfügbaren Literatur der Kantone und des BFE zum Thema).
- Näher zu prüfen ist zudem, ob und wie eine Auswertung der GEAK-Datenbank entweder die empirische Abstützung der Berechnungsgrundlagen verbessern kann und/oder ob diese Daten für die Validierung der Ergebnisse nützlich sein könnten.

6.2.5 Anwendung

- Weitere, hier nicht im Einzelnen aufgeführten Punkte aufgrund der bisher erfolgten und ggf. weiterer Rückmeldungen einzelner Kantone, der EnFK und des BAFU.
- Neuberechnung der EKZ und der CO₂-Emissionen unter Berücksichtigung der oben stehenden Punkte.

Anhang

A.1 Definitionen und Abgrenzungen

Tabelle 24 Verwendete Definitionen zur Gebäudetypologisierung

EBF- KAT	GKAT_ GKLAS	GKAT 3)	GKLAS 4)	GKLAS grob	GPM_ GKAT ⁵⁾	SIA 380 KAT	Beschreibung
1	1021	1021	1110	EFH	2	II	EFH, reine Wohngebäude mit einer Wohnung
1	1025	1025	1121	MFH	1	I	Reine Wohngebäude mit zwei Wohnungen
1	1025	1025	1122	MFH	1	I	Reine Wohngebäude mit drei oder mehr Wohnungen
1	1030	1030	-	MFH	1	I	Wohngebäude mit Nebennutzung
1	1040	1040	-	MFH	1	I	Gebäude mit teilweiser Wohnnutzung
2	1211		1211	WEI	4	I	Hotelgebäude
2	1212		1212	WEI	4	I	Andere Gebäude für kurzfristige Beherbergungen
2	1220		1220	BUR	3	III	Bürogebäude
2	1230		1230	HAN	9	V	Gross- und Einzelhandelsgebäude
2	1231		1231	WEI	4	VI	Restaurants und Bars in Gebäuden ohne Wohnnutzung
2	1241		1241	WEI	11	VII	Bahnhöfe, Abfertigungsgebäude, Fernsprechvermittlungszentralen
2	1242		1242		14	X	Garagengebäude
2	1251		1251		10	IX	Industriegebäude
2	1252		1252		13	X	Behälter, Silos und Lagergebäude
2	1261		1261	WEI	8	VII	Gebäude für Kultur- und Freizeitwecke
2	1262		1262	WEI	8	VII	Museen / Bibliotheken
2	1263		1263	SCH	5	IV	Schul- und Hochschulgebäude, Forschungseinrichtungen
2	1264		1264	KRA	6	VIII	Krankenhäuser und Facheinrichtungen des Gesundheitswesens
2	1265		1265	WEI	14	XI	Sporthallen
2	1271		1271		12	X	Landwirtschaftliche Betriebsgebäude
2	1272		1272	WEI	8	VII	Kirchen und sonstige Kultgebäude
2	1273		1273	WEI	14	VII	Denkmäler, unter Denkmalschutz stehende Bauwerke
2	1274		1274	WEI	14	VII	Sonstige Hochbauten, anderweitig nicht genannt
3	1275		1275		4	I	Andere Gebäude für die kollektive Unterkunft
3	1276		1276		14	X	Gebäude für die Tierhaltung
3	1277		1277		14	X	Gebäude für den Pflanzenbau

¹⁾ Legende EBF-Kategorie: 1: Deckt Wohn-EBF ab 2: Deckt Nicht-Wohn-EBF ab 3: Ausserhalb Systemgrenze
²⁾ In diesem Bericht und für die CO₂-Berichterstattung im Ecospeed Immo verwendet
³⁾ Gemäss GWR-Merkmalsskatalog V3.7
⁴⁾ Gemäss GWR-Merkmalsskatalog V4.1
⁵⁾ Interne Kategorie Gebäudeparkmodell (GPM) von TEP Energy

Tabelle 25 Bauperioden

GBAUP	GBAUP_grob	Beschreibung
8011	1	vor 1919
8012	1	1919 bis 1945
8013	2	1946 bis 1960
8014	2	1961 bis 1970
8015	2	1971 bis 1980
8016	3	1981 bis 1985
8017	3	1986 bis 1990
8018	3	1991 bis 1995
8019	3	1996 bis 2000
8020	4	2001 bis 2005
8021	4	2006 bis 2010
8022	4	2011 bis 2015
8023	5	ab 2016

A.2 Weitere Annahmen

Tabelle 26 Historischer Verlauf der Fenster-k- bzw. U-Werte (W/m²K) bei Vorschriften und in den SIA-Normen (ohne Spezialfälle wie Hallenbäder, Heizflächen, erhöhte optische Anforderungen etc.)

	Vorschriften Kanton ZH (mit Ausnahme von Δ: CH)		SIA-Normen	
	Einzelbauteil-nachweis	Bei gleichzeitigem Nachweis nach Durchschnittsbetrachtung (SIA 180/1) bzw. System-nachweis (SIA 380/1)	Grenzwerte (GW), Zielwerte (ZW) Rechenwerte (RW) Einzelbauteile	Einführung, Aktualisierung
1970			Keine k-Werte publiziert	Einführung SIA 180
1977			3.1 (12 mm Luft) 2.8 (20 mm Luft) (RW Rahmen Holz, oder Kunststoff)	Empfehlung SIA 180/1
1980			RW wie 1977 3.3 (GW)	Empfehlung SIA 180/1
1981	3.3 (*) (+) (g1) 2.3 (**)	SIA 180/1 Gleichzeitig C ₀ ≤ 0.75		
1985			3.1 (SIA D 80)	SIA 380/1 als Vornorm
1986	2.6 (+) (g2) auch (Δ)	2.6 Gleichzeitig C ₀ ≤ 0.65		
1988			3.0 (GW, b) 2.5 (RW 12 mm Luft) 2.4 (RW 20mm Luft) 2.6 (GW) 2.0 (ZW)	Norm SIA 180, 180/1 Empfehlung SIA 380/1
1989	2.2 (+) (g2)	2.2 Gleichzeitig C ₀ ≤ 0.65		
1991	2.2 (++)	2.6 Einzelbauteile nach SIA 180		
1992	2.0 (Δ)	2.6 "		
1994	2.0 (++)	2.6 "		
1997	2.0 (++)	2.6 "		
1999	(++)	2.4 "	2.4	Norm SIA 180
2000	1.7 (ΔΔ)			
2001		2.4	1.7 (GW) 1.2 (ZW)	Norm SIA 380/1
2002	1.7 (++)			
2007			1.5 (GW) 1.0 (ZW)	Norm SIA 380/1
2008	1.5 1.3 (ΔΔ)			
2009			1.3 (GW) 0.9 (ZW)	Norm SIA 380/1
2014	1.0 (ΔΔ)		2.4	Norm SIA 180
2016			1.0 (GW) 0.8 (ZW)	Norm SIA 380/1

(Δ) Musterverordnung 1986 bzw. 1992 (ΔΔ) MuKEn
 (*) nachweisbar besonnt bzw. (**) nicht besonnt, namentlich Fenster gegen N, NO, NW
 (+) nur wenn Fläche Fenster+Türen / EBF ≤ 0.15 bzw. (++) 0.2 (ab 1991)
 (g1) Gebäude ≤ 2000 m² (g2) Gebäude ≤ 500 m²
 (b) Je nach Heizsystem und -anordnung. Fenstergrösse und Fensternähe des Aufenthaltsortes sind für Behaglichkeit und Kondenswasserfreiheit niedrigere k-Werte notwendig

Quelle: Baudirektion (BD) Kanton ZH (Wärmedämmvorschriften Ausgaben 1981, 1986, 1989, 1991, 1994, 1997, 2002, 2008), SIA 180 (Ausgaben 1988, 1999, 2014), SIA 180/1 (1977, 1980), SIA 380/1 (Ausgaben V1985, 1988, 2001, 2007, 2009, 2016), SIA D 80, SIA D080, MVO 1986, 1992, MuKEN 2000, 2008, 2014.

Tabelle 27 Historischer Verlauf der k- bzw. U-Werte (W/m^2K) von opaken Bauteilen (berücksichtigt: Wand, Dach) gegen Aussenluft bei Vorschriften und in den SIA-Normen (ohne Spezialfälle wie Hallenbäder, Heizflächen, erhöhte optische Anforderungen etc.)

	Vorschriften Kanton ZH (mit Ausnahme von Δ : CH)		SIA-Normen	
	Einzelbauteil-nachweis	Bei Nachweis nach Durchschnittsbetrachtung (SIA 180/1) bzw. System-nachweis (SIA 380/1)	Grenzwerte (GW), Zielwerte (ZW) Rechenwerte (RW) Einzelbauteile	Einführung, Aktualisierung
1970			Keine k-Werte publ.	Einführung SIA 180
1977			Dach 0.7, Wand 0.9	Empfehlung SIA 180/1
1980			Dach 0.5, Wand 0.6	Empfehlung SIA 180/1
1981	0.4 (g1)	SIA 180/1		
1985			SIA D 80	SIA 380/1 als Vornorm
1986	0.4 (W) (g2) 0.35 (D) 0.4 (Δ)	0.5 (W) SIA 180/1 mittlerer 0.4 (D) k-Wert, $C_0 \leq 0.65$		
1988			Dach 0.5, Wand 0.6 0.4 (GW) 0.3 (ZW)	Norm SIA 180, 180/1 Empfehlung SIA 380/1
1989	0.4 (W) (g2) 0.35 (D)	0.5 (W) SIA 180/1 (mittlerer 0.4 (D) k-Wert, $C_0 \leq 0.65$)		
1991	0.4 (W) 0.3 (D)	0.4 Einzelbauteile nach SIA 180		
1992	0.3 (D, W) (Δ)	" "		
1994	0.3	" "		
1997	0.3	" "		
1999		" "	0.4, $U_T \leq 0.2$ (Dach)	Norm SIA 180
2000	0.3 ($\Delta\Delta$)			
2001		" "	0.3 (GW) 0.2 (ZW)	Norm SIA 380/1
2002	0.3			
2007			0.25 (GW) 0.15 (ZW)	Norm SIA 380/1
2008	0.25 (+) 0.2 (++) 0.2 (+) ($\Delta\Delta$) 0.17 (++) ($\Delta\Delta$)			
2009			Dach 0.2 (GW) 0.09 (ZW), Wand 0.2 (GW) 0.11 (ZW)	Norm SIA 380/1
2014	0.17 ($\Delta\Delta$)		Dach 0.4, Wand 0.4	Norm SIA 180
2016			0.17 (GW) 0.1 (ZW)	Norm SIA 380/1

(Δ) Musterverordnung 1986 bzw. 1992 ($\Delta\Delta$) MuKEn
(g1) Gebäude $\leq 2000 m^2$ (g2) Gebäude $\leq 500 m^2$
(D) Dach (W) Wand (+) mit bzw. (++) ohne Wärmebrückennachweis

Quelle: Baudirektion (BD) Kanton ZH (Wärmedämmvorschriften Ausgaben 1981, 1986, 1989, 1991, 1994, 1997, 2002, 2008), SIA 180 (Ausgaben 1988, 1999, 2014), SIA 180/1 (1977, 1980), SIA 380/1 (Ausgaben V1985, 1988, 2001, 2007, 2009, 2016), SIA D 80, SIA D080, MVO 1986, 1992, MuKEN 2000, 2008, 2014.

Tabelle 28 Festlegung der Wand U-Werte bei Neubauten für die Baujahre 2002 bis 2019, differenziert nach Kanton

KT	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
ZH	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
BE	0.40	0.40	0.38	0.38	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.25	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
LU	0.40	0.40	0.38	0.38	0.38	0.35	0.35	0.35	0.35	0.25	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
UR	0.40	0.40	0.38	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.25	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
SZ	0.40	0.40	0.38	0.38	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
OW	0.40	0.40	0.38	0.38	0.38	0.33	0.33	0.33	0.33	0.25	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
NW	0.40	0.40	0.38	0.38	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
GL	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.25	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
ZG	0.40	0.40	0.38	0.38	0.38	0.33	0.35	0.35	0.35	0.25	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
FR	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.25	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
SO	0.40	0.40	0.38	0.38	0.38	0.33	0.35	0.35	0.35	0.35	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
BS	0.40	0.40	0.38	0.35	0.35	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.225	0.225	0.225	0.22	0.21	0.2	0.2	0.20	0.20	0.20
BL	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.28	0.28	0.28	0.28	0.25	0.23	0.23	0.23	0.22	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
SH	0.40	0.40	0.38	0.38	0.38	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
AR	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
AI	0.40	0.40	0.38	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.25	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
SG	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
GR	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
AG	0.40	0.40	0.38	0.38	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.25	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
TG	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
TI	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.25	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
VD	0.40	0.40	0.38	0.38	0.38	0.33	0.33	0.35	0.35	0.35	0.35	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
VS	0.40	0.40	0.38	0.38	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
NE	0.50	0.50	0.50	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.25	0.25	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
GE	0.40	0.40	0.38	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
JU	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

Quelle: TEP Energy, GPM, basierend auf SIA 380/1 und Berichte Stand der Energiepolitik in den Kantonen

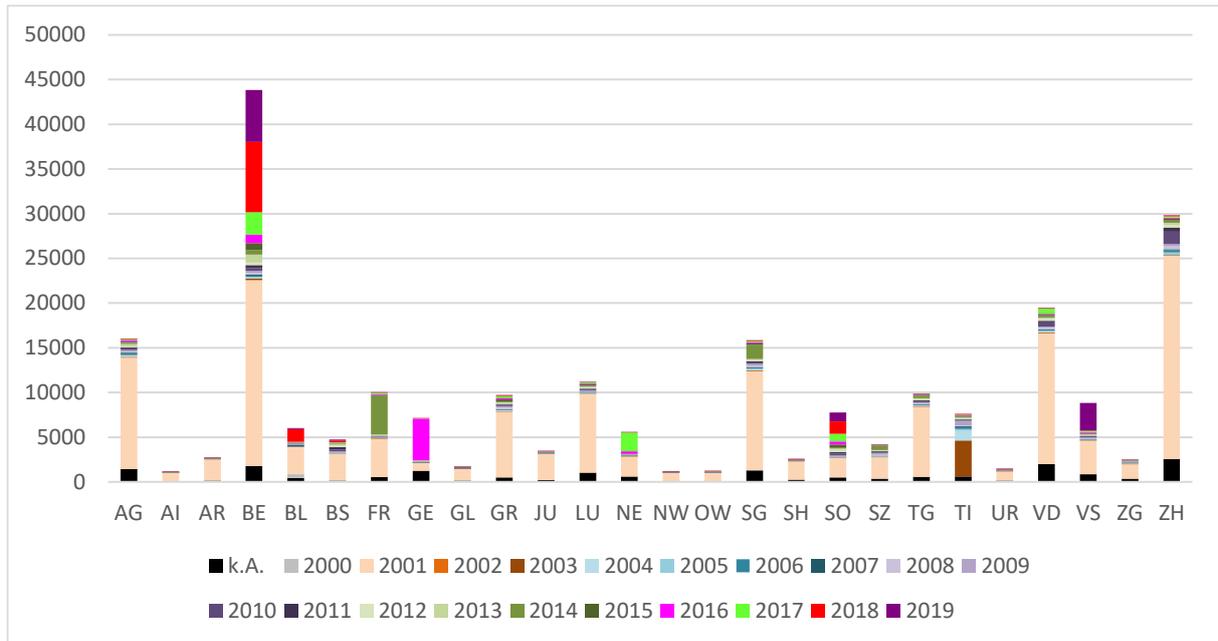


Abbildung 45 Aktualisierungsdatum Heizung im GWR für den Fall der Gebäude ohne Wohnungen (in 1000 m²)

A.3 Weitere ausgewählte Detailergebnisse

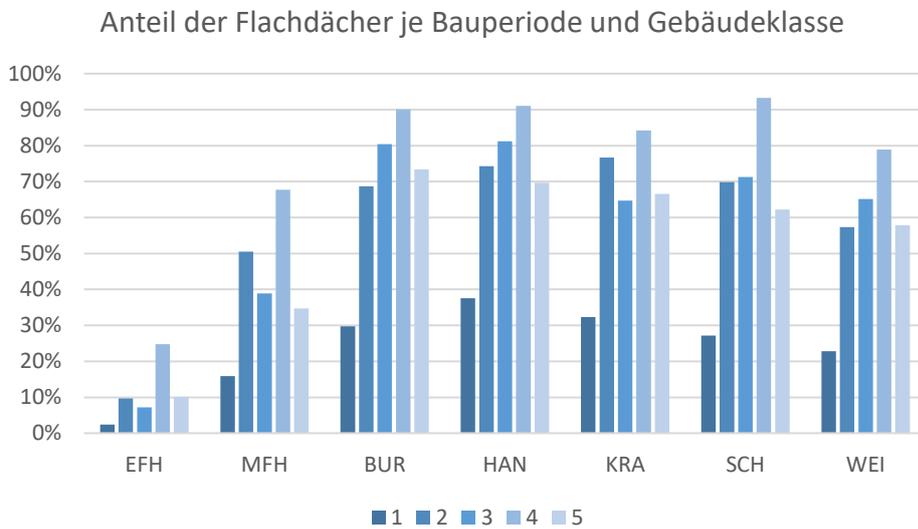


Abbildung 46 EBF-gewichteter Anteil der Flachdächer pro grobe Bauperiode (Legende: 1 bis 5) und grobe Gebäudeklasse.

A.4 Auswertungsergebnisse der Erhebung Erneuerungstätigkeiten in den Kantonen

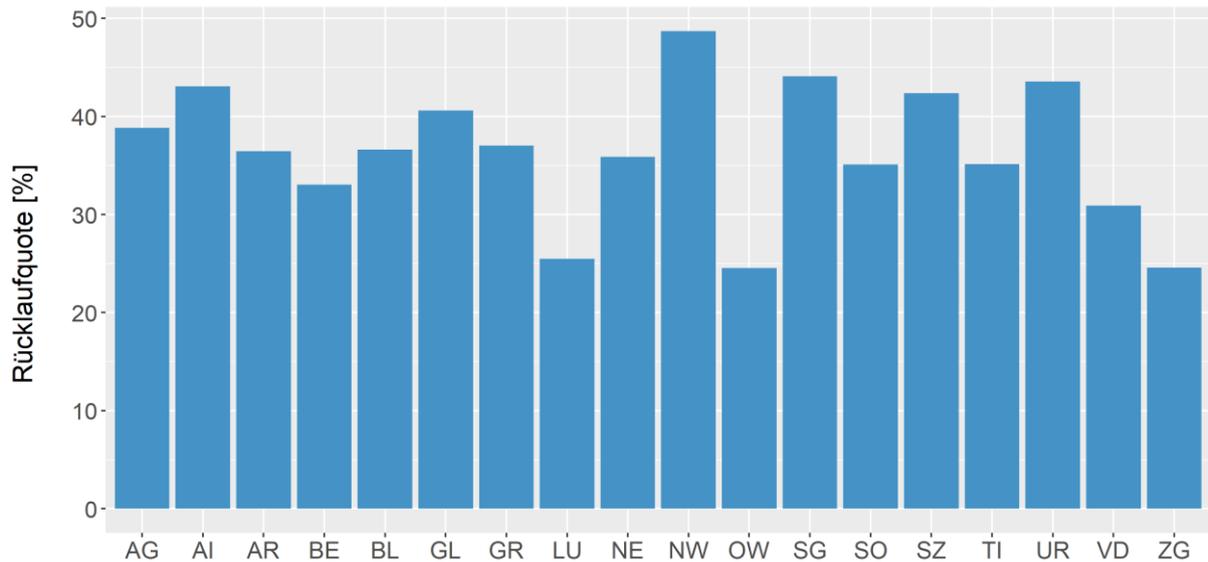


Abbildung 47 Rücklaufquote pro Kanton, n=10886.

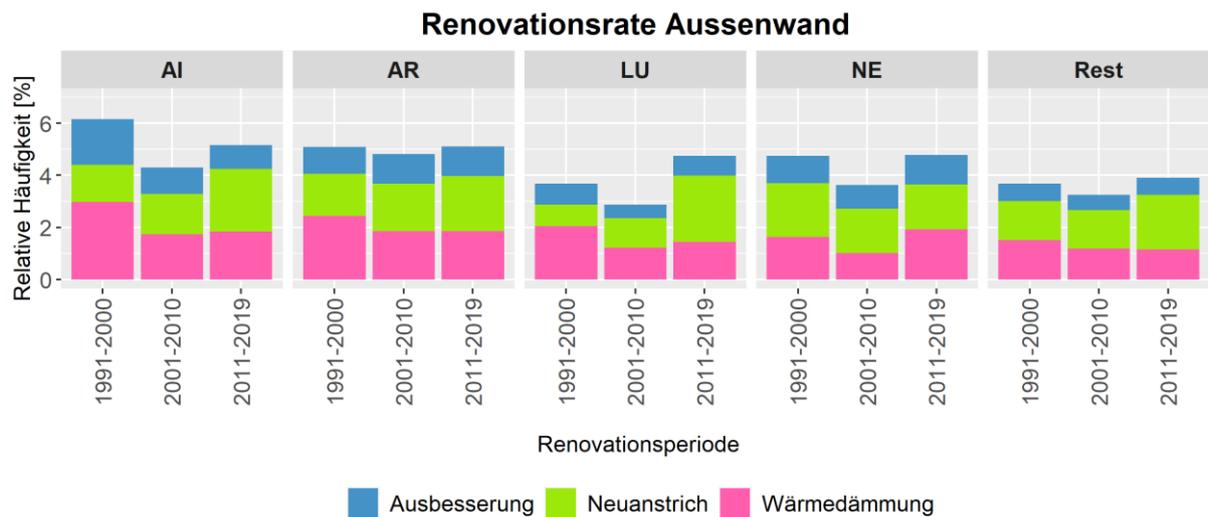


Abbildung 48: Renovationsraten (% pro Jahr, separat für Instandsetzungen und energetischen Erneuerungen, gemittelt für Renovationsperioden mit einer Dauer von 10 Jahren) bei Aussenwänden von Wohngebäuden (deskriptive Auswertung).

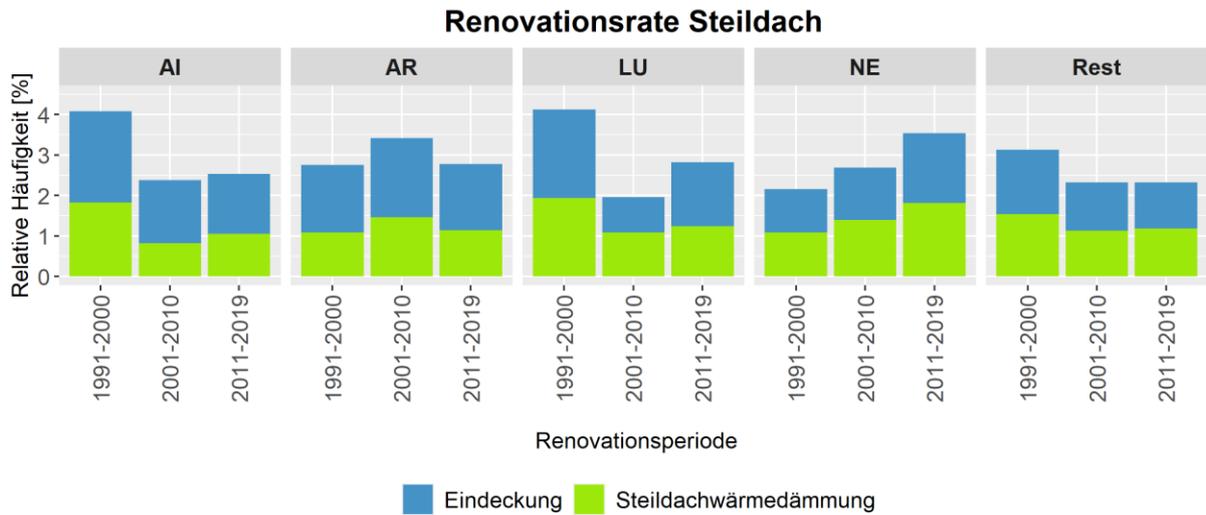


Abbildung 49: Renovationsrate (% pro Jahr, separat für Instandsetzungen und energetischen Erneuerungen, gemittelt für Renovationsperioden mit einer Dauer von 10 Jahren) für Steildächern bei Wohngebäuden (deskriptive Auswertung).

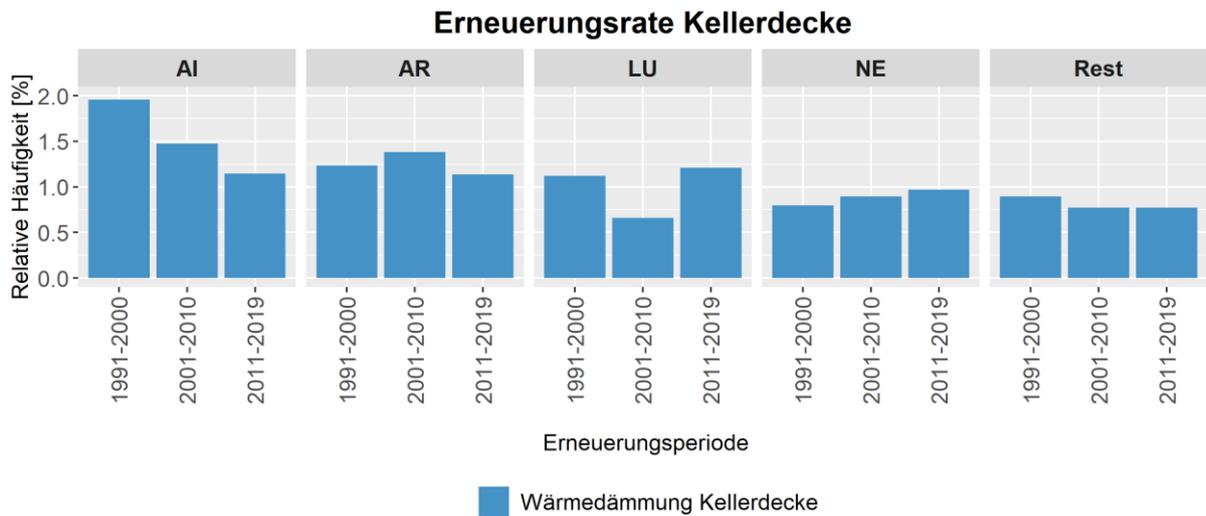


Abbildung 50: Erneuerungsrate (% pro Jahr, gemittelt für Erneuerungsperioden mit einer Dauer von 10 Jahren) für Kellerdecken bei Wohngebäuden (deskriptive Auswertung).

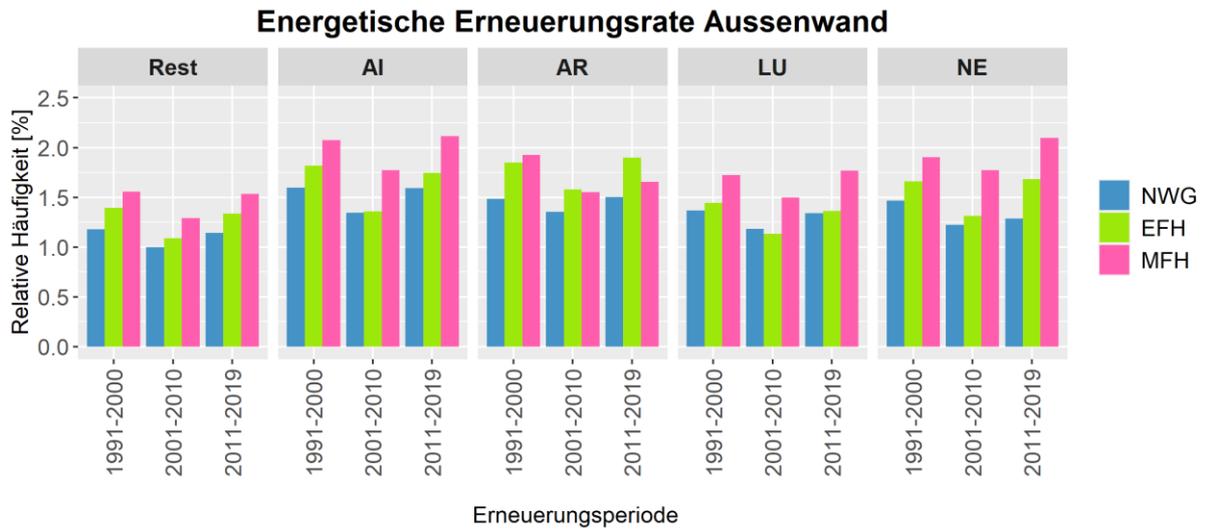


Abbildung 51: Erneuerungsrate (% pro Jahr, gemittelt für drei Erneuerungsperioden) bei Aussenwänden von EFH, MFH und NWG (Predict mit Modell).

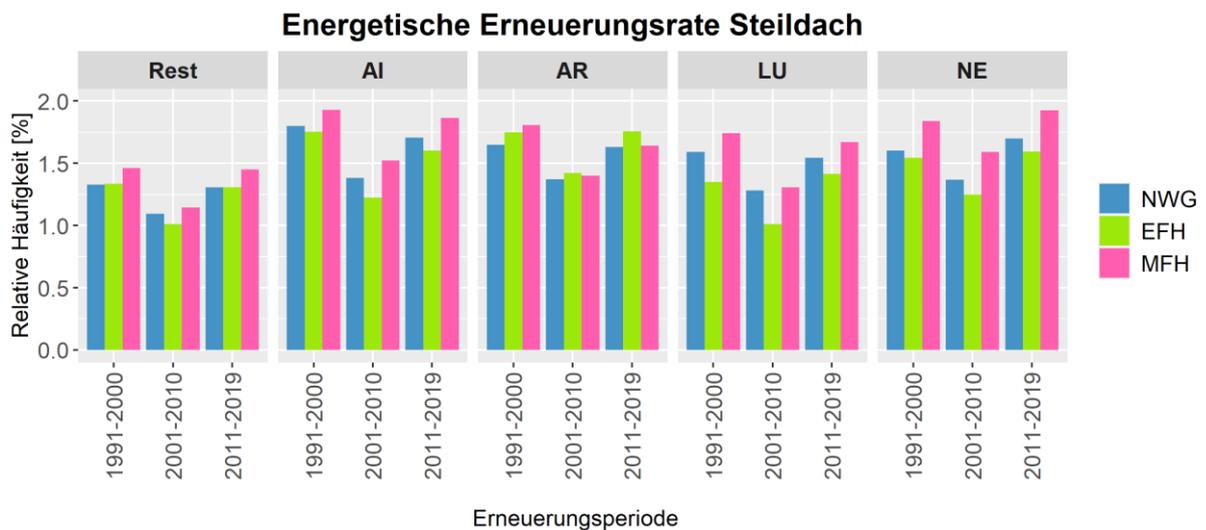


Abbildung 52: Erneuerungsrate (% pro Jahr, gemittelt für drei Erneuerungsperioden) für Steildächer bei EFH, MFH und NWG (Predict mit Modell).

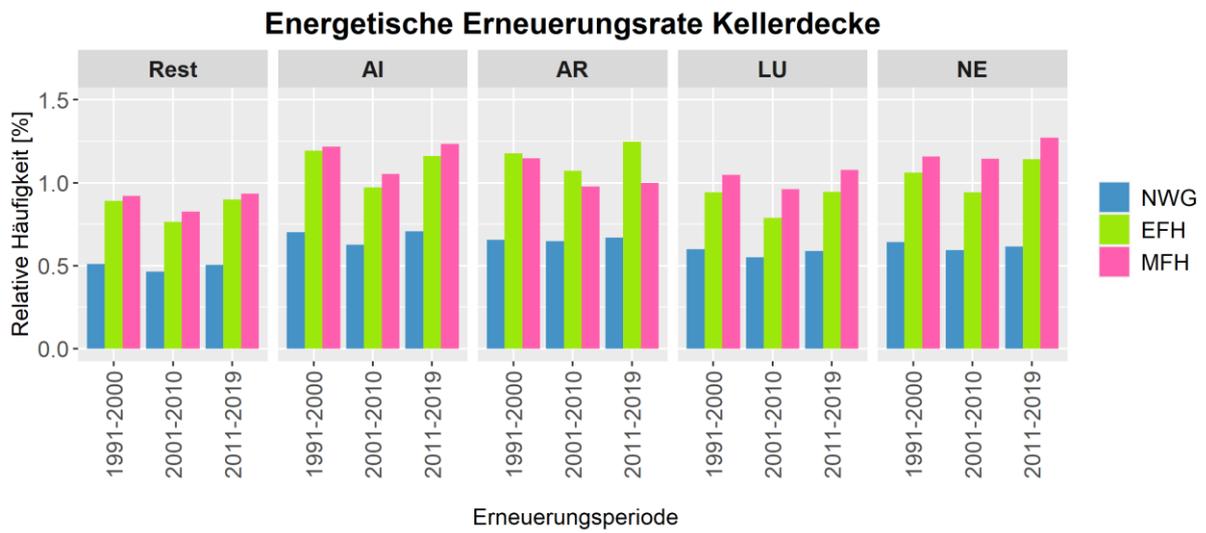


Abbildung 53: Erneuerungsrate (% pro Jahr, gemittelt für drei Erneuerungsperioden) für Kellerdecken bei EFH, MFH und NWG (Predict mit Modell).

Tabelle 29: Geschätzte Koeffizienten, Standardfehler, Teststatistik sowie p-Werte für das Regressionsmodell bzgl. Heizsysteme, Fortsetzung in Tabelle 30 (Basiskategorien: Heizöl, AG, BAUP_bis1945, EFH, Signifikanzniveaus: * 0.001, ** 0.01, *0.05).**

Variable	Koeff.	Std. Fehler	Test-statistik	p-Wert	Variable	Koeff.	Std. Fehler	Test-statistik	p-Wert	Variable	Koeff.	Std. Fehler	Test-statistik	p-Wert
Intercept	-0.78	0.12	-6.81	1E-11 ***	NE : Andere	0.07	0.36	0.19	8E-01	BL : Gas	0.68	0.14	5.01	5E-07 ***
Andere	-2.11	0.25	-8.56	1E-17 ***	NW : Andere	0.93	0.27	3.44	6E-04 ***	GL : Gas	-0.35	0.27	-1.28	2E-01
Fernwärme	-2.58	0.23	-11.38	5E-30 ***	OW : Andere	0.01	0.45	0.03	1E+00	GR : Gas	-0.91	0.85	-1.06	3E-01
Gas	-0.66	0.18	-3.67	2E-04 ***	SG : Andere	0.18	0.27	0.66	5E-01	LU : Gas	-0.12	0.30	-0.40	7E-01
Holz	-1.41	0.24	-5.94	3E-09 ***	SO : Andere	-0.06	0.45	-0.14	9E-01	NE : Gas	0.96	0.17	5.74	1E-08 ***
Wärmepumpe	-0.43	0.18	-2.36	2E-02 *	SZ : Andere	0.61	0.32	1.88	6E-02 .	NW : Gas	-3.29	1.00	-3.30	1E-03 ***
AI : Heizöl	0.09	0.23	0.38	7E-01	TI : Andere	1.16	0.21	5.43	6E-08 ***	OW : Gas	-5.17	1.00	-5.17	2E-07 ***
AR : Heizöl	-0.14	0.15	-0.92	4E-01	UR : Andere	0.89	0.32	2.81	5E-03 **	SG : Gas	0.44	0.13	3.38	7E-04 ***
BE : Heizöl	-0.01	0.19	-0.08	9E-01	VD : Andere	0.95	0.29	3.30	1E-03 ***	SO : Gas	0.49	0.17	2.87	4E-03 **
BL : Heizöl	-0.23	0.11	-2.04	4E-02 *	ZG : Andere	0.55	0.30	1.81	7E-02 .	SZ : Gas	-0.79	0.17	-4.74	2E-06 ***
GL : Heizöl	0.07	0.22	0.31	8E-01	AI : Fernwärme	-1.55	0.59	-2.62	9E-03 **	TI : Gas	-0.03	0.18	-0.19	9E-01
GR : Heizöl	0.65	0.23	2.84	4E-03 **	AR : Fernwärme	0.33	0.19	1.76	8E-02 .	UR : Gas	-17.29	0.31	-56.02	0E+00 ***
LU : Heizöl	-0.43	0.16	-2.70	7E-03 **	BE : Fernwärme	-0.06	0.24	-0.23	8E-01	VD : Gas	0.78	0.13	6.21	5E-10 ***
NE : Heizöl	-0.12	0.16	-0.73	5E-01	BL : Fernwärme	0.01	0.21	0.06	9E-01	ZG : Gas	-0.30	0.28	-1.09	3E-01
NW : Heizöl	0.09	0.22	0.40	7E-01	GL : Fernwärme	-0.65	0.43	-1.51	1E-01	AI : Holz	1.15	0.29	3.98	7E-05 ***
OW : Heizöl	-0.04	0.21	-0.22	8E-01	GR : Fernwärme	-0.87	0.73	-1.18	2E-01	AR : Holz	0.61	0.27	2.22	3E-02 *
SG : Heizöl	-0.24	0.10	-2.39	2E-02 *	LU : Fernwärme	-0.23	0.22	-1.03	3E-01	BE : Holz	1.46	0.30	4.91	9E-07 ***
SO : Heizöl	-0.20	0.21	-0.93	4E-01	NE : Fernwärme	-0.11	0.22	-0.52	6E-01	BL : Holz	0.57	0.24	2.36	2E-02 *
SZ : Heizöl	-0.08	0.19	-0.41	7E-01	NW : Fernwärme	0.35	0.20	1.70	9E-02 .	GL : Holz	0.92	0.27	3.47	5E-04 ***
TI : Heizöl	0.18	0.14	1.29	2E-01	OW : Fernwärme	0.66	0.23	2.84	5E-03 **	GR : Holz	1.04	0.36	2.87	4E-03 **
UR : Heizöl	0.47	0.29	1.64	1E-01	SG : Fernwärme	-0.42	0.19	-2.23	3E-02 *	LU : Holz	0.55	0.33	1.67	9E-02 .
VD : Heizöl	-0.15	0.17	-0.86	4E-01	SO : Fernwärme	-0.38	0.23	-1.63	1E-01	NE : Holz	0.57	0.27	2.09	4E-02 *
ZG : Heizöl	0.09	0.19	0.47	6E-01	SZ : Fernwärme	-0.07	0.19	-0.37	7E-01	NW : Holz	0.65	0.30	2.18	3E-02 *
AI : Andere	0.61	0.46	1.34	2E-01	TI : Fernwärme	-1.99	0.38	-5.31	1E-07 ***	OW : Holz	0.67	0.34	1.96	5E-02 *
AR : Andere	-0.01	0.54	-0.02	1E+00	UR : Fernwärme	0.09	0.40	0.24	8E-01	SG : Holz	0.35	0.34	1.03	3E-01
BE : Andere	0.53	0.25	2.13	3E-02 *	VD : Fernwärme	-0.49	0.22	-2.24	3E-02 *	SO : Holz	0.28	0.25	1.12	3E-01
BL : Andere	-0.04	0.29	-0.12	9E-01	ZG : Fernwärme	0.25	0.19	1.29	2E-01	SZ : Holz	1.51	0.31	4.79	2E-06 ***
GL : Andere	0.86	0.34	2.55	1E-02 *	AI : Gas	-0.75	0.29	-2.59	1E-02 **	TI : Holz	-0.51	0.39	-1.30	2E-01
GR : Andere	1.11	0.25	4.34	1E-05 ***	AR : Gas	0.30	0.14	2.04	4E-02 *	UR : Holz	0.65	0.33	1.99	5E-02 *
LU : Andere	0.65	0.30	2.15	3E-02 *	BE : Gas	-0.43	0.17	-2.49	1E-02 *	VD : Holz	0.23	0.31	0.75	5E-01

Quelle: TEP Energy, Auswertung in Zusammenarbeit mit BFE-Projekt MISTEE

Tabelle 30: Geschätzte Koeffizienten, Standardfehler, Teststatistik sowie p-Werte für das Regressionsmodell bzgl. Heizsysteme, Fortsetzung in Tabelle 30 (Basiskategorien: Heizöl, AG, BAUP_bis1945, EFH, Signifikanzniveaus: * 0.001, ** 0.01, *0.05).**

Variable	Koeff.	Std. Fehler	Test-statistik	p-Wert	Variable	Koeff.	Std. Fehler	Test-statistik	p-Wert
ZG : Holz	1.00	0.37	2.72	7E-03 **	Heizöl : BAUP_1946_1980	0.39	0.10	4.07	5E-05 ***
Al : Wärmepumpe	0.33	0.31	1.07	3E-01	Andere : BAUP_1946_1980	0.19	0.16	1.21	2E-01
AR : Wärmepumpe	-0.67	0.23	-2.95	3E-03 **	Fernwärme : BAUP_1946_1980	0.05	0.13	0.36	7E-01
BE : Wärmepumpe	-0.52	0.18	-2.85	4E-03 **	Gas : BAUP_1946_1980	-0.33	0.10	-3.25	1E-03 **
BL : Wärmepumpe	-0.91	0.18	-5.00	6E-07 ***	Holz : BAUP_1946_1980	-0.71	0.17	-4.21	3E-05 ***
GL : Wärmepumpe	-0.12	0.20	-0.59	6E-01	Wärmepumpe : BAUP_1946_1980	0.06	0.12	0.50	6E-01
GR : Wärmepumpe	-0.69	0.27	-2.54	1E-02 *	Heizöl : BAUP_1981_2000	-0.07	0.11	-0.61	5E-01
LU : Wärmepumpe	0.30	0.17	1.81	7E-02 .	Andere : BAUP_1981_2000	0.12	0.17	0.69	5E-01
NE : Wärmepumpe	-1.81	0.27	-6.70	2E-11 ***	Fernwärme : BAUP_1981_2000	0.05	0.17	0.29	8E-01
NW : Wärmepumpe	0.33	0.25	1.33	2E-01	Gas : BAUP_1981_2000	0.00	0.11	0.02	1E+00
OW : Wärmepumpe	0.57	0.22	2.55	1E-02 *	Holz : BAUP_1981_2000	-0.94	0.20	-4.81	2E-06 ***
SG : Wärmepumpe	-0.18	0.16	-1.10	3E-01	Wärmepumpe : BAUP_1981_2000	0.66	0.12	5.52	3E-08 ***
SO : Wärmepumpe	-0.23	0.18	-1.25	2E-01	Heizöl : BAUP_ab2001	-1.56	0.15	-10.57	4E-26 ***
SZ : Wärmepumpe	-0.22	0.18	-1.23	2E-01	Andere : BAUP_ab2001	-0.81	0.23	-3.52	4E-04 ***
TI : Wärmepumpe	0.08	0.22	0.36	7E-01	Fernwärme : BAUP_ab2001	0.43	0.15	2.77	6E-03 **
UR : Wärmepumpe	0.13	0.21	0.60	5E-01	Gas : BAUP_ab2001	-0.13	0.17	-0.75	5E-01
VD : Wärmepumpe	-1.20	0.27	-4.48	7E-06 ***	Holz : BAUP_ab2001	-0.78	0.18	-4.25	2E-05 ***
ZG : Wärmepumpe	-0.63	0.25	-2.49	1E-02 *	Wärmepumpe : BAUP_ab2001	1.93	0.13	15.39	2E-53 ***
Heizöl : MFH	0.37	0.08	4.59	4E-06 ***					
Andere : MFH	-0.68	0.15	-4.66	3E-06 ***					
Fernwärme : MFH	0.93	0.15	6.28	3E-10 ***					
Gas : MFH	0.34	0.10	3.53	4E-04 ***					
Holz : MFH	-0.51	0.13	-3.93	9E-05 ***					
Wärmepumpe : MFH	-0.49	0.08	-6.15	8E-10 ***					
Heizöl : NWG	-0.01	0.12	-0.05	1E+00					
Andere : NWG	-0.16	0.16	-0.99	3E-01					
Fernwärme : NWG	2.02	0.15	13.92	4E-44 ***					
Gas : NWG	0.45	0.13	3.43	6E-04 ***					
Holz : NWG	-0.34	0.18	-1.89	6E-02 .					
Wärmepumpe : NWG	-1.29	0.15	-8.72	3E-18 ***					

Quelle: TEP Energy, Auswertung in Zusammenarbeit mit BFE-Projekt MISTEE

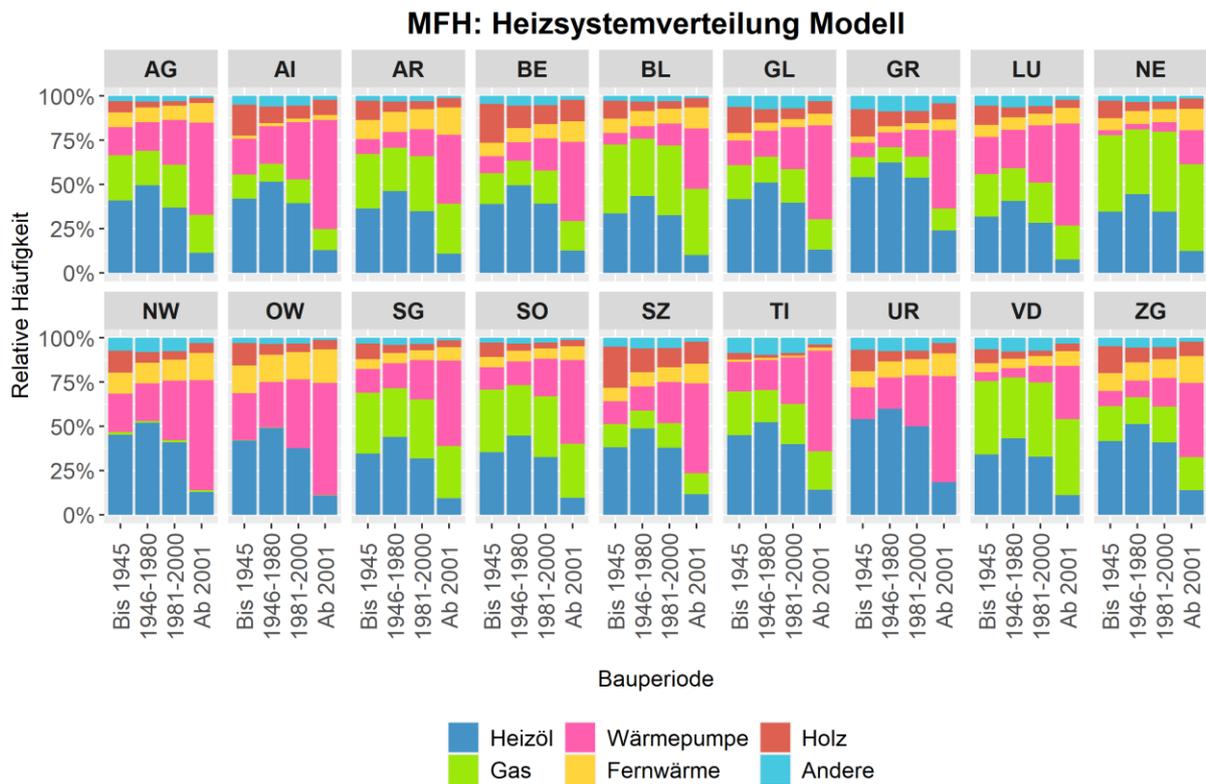


Abbildung 54: Heizsystemanteile pro Bauperiode bei Mehrfamilienhäusern gemäss Regressionsmodell (predict). (Quelle: Angaben Gebäudeeigentümer, Auswertung TEP Energy)

Bibliographie

Dieses Verzeichnis enthält explizit zitierte Literatur sowie wichtige Grundlagen, welche bei der Erarbeitung dieses Projektberichts und der Methodik zu Berechnung der kantonalen CO₂-Emissionen des Gebäudebereichs berücksichtigt wurden.

- ARE GR (2014). Geschossflächenberechnung - Anleitung zur Berechnung der Geschossflächen bei Bauten ausserhalb der Bauzonen.
- BAFU (2019). CO₂-Emissionsfaktoren des Treibhausgasinventars der Schweiz – Faktenblatt. Bern, April.
- BAFU (2017). Informationen zur Berichterstattung der Kantone über die Verminderung der CO₂-Emissionen aus Gebäuden.
- Banfi S., Farsi M., Jakob M., Häberli A., Karydas K., Manser J., Volkart K. (2012). An Analysis of Investment Decision for Energy-Efficient Renovation of Multi-Family Buildings; Centre for Energy Policy and Economics (CEPE) ETH Zürich und TEP Energy; des Bundesamts für Energie (BFE); Zürich.
- Banfi S., Ramseier C., Filippini M., Alberini A., Jakob M., Knellwolf-Pióro D. (2011). Erneuerung von Einfamilienhäusern – Eine mikroökonomische Analyse für ausgewählte Schweizer Kantone; Studie des CEPE der ETH Zürich; des Bundesamts für Energie.
- Banfi S., Ramseier C., Filippini M., Alberini A., Jakob M., Knellwolf-Pióro D. (2010). Mikroökonomische Analyse des Erneuerungsverhaltens von Einfamilienhausbesitzern – Teil 1: Datenerfassung und deskriptive Auswertungen.; CEPE, ETH Zürich in Zusammenarbeit mit Meccop, USI; Bericht im Auftrag des Bundesamts für Energie, Dezember.
- BAWOS. (2017, March). *Bruttogeschossfläche berechnen*. <https://bawos.ch/bruttogeschossflaeche-berechnen/>
- BFE (2019). Energieverbrauch in der Industrie und im Dienstleistungssektor – Resultate 2018. Helbling, Polyquest und Bundesamt für Statistik (BFS), i.A. Bundesamt für Energie (BFE), Bern.
- BFE (2017) Globalbeiträge an die Kantone nach Art. 15 Eng. Wirkungsanalyse kantonaler Förderprogramme. Ergebnisse der Erhebung 2016. Infras i.A. Bundesamt für Energie, Bern, Juli.
- BFE (2007). Vorstudie zur Erhebung von Energiekennzahlen von Wohnbauten. Amstein+Walthert und Econcept i.A. Bundesamt für Energie, Bern, November.
- BFE/EnDK (2018). Stand der Energiepolitik in den Kantonen 2017. BFE und EnDK (Hrsg.), Bern, Juli.
- BFE/EnDK (2019). Stand der Energiepolitik in den Kantonen 2018. BFE und EnDK (Hrsg.), Bern.
- BFS (2016). Gebäude- und Wohnungsstatistik (seit 2009). <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/bau-wohnungswesen/erhebungen/gws2009.assetdetail.8521.html>. Zugriffen am: 07.07.2021
- BFS (2019). *Statistik der Unternehmensstruktur (STATENT)*. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/industriedienstleistungen/erhebungen/statent.html>. Zugriffen am: 07.07.2021
- Brühlmann K., Tochtermann D. (2000): Erhebung der durchschnittlichen Energiekennzahlen für Neubauten in 13 Kantonen. Wüest&Partner AG i.A. Bundesamt für Energie, Programm Energiewirtschaftliche Grundlagen EWG, Bern, 2000.
- Bundesrat (2016). Wirksamkeit der Finanzhilfen zur Verminderung der CO₂-Emissionen bei Gebäuden gemäss Artikel 34 CO₂-Gesetz - Bericht des Bundesrates an die Bundesversammlung.
- Das Gebäudeprogramm (2017a). Das Gebäudeprogramm im Jahr 2016. Jahresbericht. EBP i.A. EnDK, Zollikon/Bern,

- Das Gebäudeprogramm (2017b). Statistische Auswertungen. Jahresstatistik 2016, Gesamtschweizerische Analyse. Zollikon, Januar.
- EFK (2014). Gebäudeprogramm von Bund und Kantonen, Evaluation des Schätzmodells zur Berechnung der CO₂- und Energiewirkungen der Fördermassnahmen, Eidgenössische Finanzkontrolle, Bern, Februar.
- enArgus (2020). Kohortenmodell. <https://www.enargus.de/>. Zugegriffen am: 07.07.2021
- GWR (2019). Eidgenössisches Gebäude- und Wohnungsregister. Bundesamt für Statistik (BFS), Neuchâtel (Datenlieferung BFS an TEP Energy im Rahmen des Projekts, Datenstand 31.12.2018).
- Hartmann Ch., Jakob M. (2018). Methodik ECOSPEED Immo - Berechnung der CO₂-Emissionen im Gebäudebereich auf Basis der Gebäude- und Wohnungsstatistik (GWS) und des Gebäudeparkmodells (GPM), Zürich, Mai.
- Hartmann Ch., Jakob M. (2016). Methodik zur Berechnung der kantonalen CO₂-Emissionen im Gebäudebereich auf Basis des Gebäude- und Wohnungsregisters (GWR). ECOSPEED und TEP Energy i.A. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Zürich/Bern, Dezember.
- Infras (2011). Wirkungsanalyse Energieschweiz 2010. Wirkungen der freiwilligen Massnahmen und der Förderaktivitäten von EnergieSchweiz auf Energie, Emissionen und Beschäftigung.
- Infras (2013). Wirkung kantonalen Energiegesetzes. Analyse der Auswirkungen gemäss Art. 20 EnG, Aktualisierung für das Jahr 2012
- Infras (2015). Berichterstattung zum Stand der Klimapolitik im Gebäudebereich. Massnahmen der Kantone. Stand 2012. Infras i.A. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern, Juli.
- Jakob et al. (2020). Kantonale Energiekennzahlen und CO₂-Emissionen im Gebäudebereich – Zwischenbericht. TEP Energy i.A. BAFU, KVA, EnFK, Zürich, April (unveröffentlicht).
- Jakob M. et al. (2016a). Potenzialabschätzung von Massnahmen im Bereich der Gebäudetechnik – Grundlagen für ein Potenzial- und Massnahmenkonzept der Gebäudetechnik zur Reduktion von Endenergie, Primärenergie und Treibhausgasemissionen. TEP Energy i.A. EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie, Bern, Januar.
- Jakob M., Catenazzi G., Forster R., Kaiser Th., Martius G., Nägeli, C., Reiter U., Sunarjo B. (2016b): Erweiterung des Gebäudeparkmodells gemäss SIA Effizienzpfad. TEP Energy in Zusammenarbeit mit Lemon Consult i.A. Bundesamt für Energie, Bern, Juni
- Jakob M., Nägeli C., Martius G., Forster R. Vogel U. (2015). Bestandesaufnahme Energie- und CO₂-Daten. Grundlagendaten für die Bestimmung von Energie- und CO₂-Daten des kantonalen Gebäudeparks. TEP Energy und Amstein+Waltert i.A. Bundesamt für Umwelt, Zürich/Bern (unveröffentlicht).
- Jakob M., Reiter U. et al. (2015). Wirtschaftliche Wirkung des Gebäudeprogramms, TEP Energy, Amstein + Walthert, INFRAS 2015 i.A BFE, Zürich.
- Jakob M., Ott W., Bolliger R., von Grünigen S., Kallio S., Nägeli C., Ott W. (2014). Integrated strategies and policy instruments for retrofitting buildings to reduce primary energy use and GHG emissions (INSPIRE); Generic strategies for buildings in Switzerland; Swiss contribution to the era-net "ERACOBUILD" - Final Report.
- Jakob M., Martius G., Catenazzi G., Berleth H. (2014). Energetische Erneuerungsraten im Gebäudebereich, Synthesebericht zu Gebäudehülle und Heizanlagen, TEP i.A. Bundesamt für Energie, Bern, Februar.
- Jakob M., Fürst M., Martius G. (2013). Die städtischen Gebäude der Stadt Zürich bis 2050 – Eine ergänzende Abschätzung auf Grundlage des Gebäudeparkmodells mit Bezug zum Energieversorgungskonzept 2050. TEP Energy im Auftrag des Amtes für Hochbauten der Stadt Zürich.

- Jakob M. et al. (2010). Energetische Gebäudeerneuerungen – Wirtschaftlichkeit und CO₂-Vermeidungskosten Eine Auswertung des Gebäudeprogramms der Stiftung Klimarappen Schlussbericht Stiftung Klimarappen. TEP Energy, Meier+Steinauer und HSLU i.A. Stiftung Klimarappen. Zürich, Juni.
- Jakob M. (2008) Grundlagen zur Wirkungsabschätzung der Energiepolitik der Kantone im Gebäudebereich. Studie im Auftrag von INFRAS, im Rahmen der Wirkungsanalyse 2007. Zürich 2008.
- Jakob M., Jochem E.; (2003, red. Anpassungen 2009); Quantitative Erhebung des Erneuerungsverhaltens im Bereich Wohngebäude; CEPE, ETH Zürich; BFE, BWO; Kantone AG, BE, BL, TG, ZH.
- Jakob M., Jochem E., Honegger A., Baumgartner A., Menti U., Plüss I. (2006). Grenzkosten bei forcierten Energie-Effizienz-Massnahmen und optimierter Gebäudetechnik bei Wirtschaftsbauten. Bundesamt für Energie (Hrsg.), Bern, November, 360 S.
- Jakob M., Jochem E., Christen K. (2002). Grenzkosten bei forcierten Energieeffizienz-massnahmen bei Wohngebäuden, CEPE und HBT, ETH Zürich, Studie im Auftrag des Forschungsprogramms EWG des Bundesamts für Energie (BFE). September.
- Kesser St., Siegrist D. (2016). Harmonisiertes Fördermodell der Kantone (HFM 2015). Schlussbericht, revidierte Fassung vom September 2016. Infrac i.A. Bundesamt für Energie BFE, Konferenz Kantonalen Energiefachstellen EnFK.
- Lasvaux et al. (2019) Analysis of lifetimes of building elements in the literature and in renovation practices and sensitivity analyses on building LCA & LCC.
- Loga T., Großklos M., Knissel J. (2003). Der Einfluss des Gebäudestandards und des Nutzerverhaltens auf die Heizkosten, Institut Wohnen und Umwelt (UWI), Darmstadt, Germany, 2003.
- Ott W., Jakob M., Berleth H., Bolliger R., Bade S., Karlegger A., Jaberg A. (2013). Erneuerungstätigkeit und Erneuerungsmotive bei Wohn- und Bürobauten. Econcept und TEP Energy im Rahmen von Energieforschung Stadt Zürich, Zürich.
- Ott W., Philippen D., Umbricht A., Baumgartner A., Jakob M., Gross N. (2011) „CO₂ – Vermeidungskosten bei der Erneuerung von Wohnbauten. Econcept, Amstein+Walthert, TEP Energy i.A. Bundesamt für Energie (BFE), Bern.
- SIA (2015b). SIA Merkblatt 2040 – Effizienzpfad Energie. Entwurf für die Vernehmlassung Stand 13. Oktober 2015. SIA (Hrsg.), Zürich.
- SIA (2009). SIA Norm 380/1 - Thermische Energie im Hochbau. SIA, Zürich.
- TEP et al. (2009-2020). Ex-Post-Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 – 2019 nach Bestimmungsfaktoren - Synthesebericht. Prognos, Infrac, TEP i.A. Bundesamt für Energie, Bern.
- UWE (2013). Gebäude-Heizenergiebedarf - Methodik zur Schätzung des Heizenergiebedarfs von Wohngebäude mittels kantonalem Gebäude- und Wohnungsregister. Amt für Umwelt und Energie (UWE) des Kantons Luzern. Luzern.
- Volland B, Farsi M., Lasvaux, S. Padey P. (2019). DUREE Project, WP 2: Survey to determine the effective building element service lives in the renovation context. UniNE, HES-SO, IGT-LESBAT on behalf of Swiss Office of Energy.
- Wallbaum H., Heeren N., Jakob M., Gabathuler M., Gross N., Martius G. (2009). Gebäudeparkmodell SIA Effizienzpfad Energie Dienstleistungs- und Wohngebäude - Vorstudie zum Gebäudeparkmodell Schweiz – Grundlagen zur Überarbeitung des SIA Effizienzpfades Energie. ETH Zürich und TEP Energy i.A. Bundesamt für Energie (BFE), Bern.

