



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Dezember 2024

Methodenbericht Ex-post-Analysen Energieverbrauch

Dokumentation des Modells für den
Sektor Dienstleistungen

TEP

Beschreibung der Modelle der Ex-Post- Analysen

Sektoren Dienstleistungen und Landwirtschaft

Schlussbericht vom 18.12.2024

Auftraggeber: Bundesamt für Energie (BFE)

Auftraggeber

Bundesamt für Energie BFE, 3003 Bern
Sektion Analysen und Perspektiven

Auftragnehmer

TEP Energy GmbH
Rotbuchstrasse 68, CH-8037 Zürich
www.tep-energy.ch
Telefon +41 43 500 71 71
Fax +41 43 500 71 79

Autoren

Dr. Martin Jakob (Projektleitung), TEP Energy
Dr. Giacomo Catenazzi, TEP Energy
Zoe Talary, TEP Energy

Begleitung

Pia Baumann, BFE
Michael Kost, BFE

Die Autoren danken den Mitgliedern der Begleitgruppe, für ihre Beiträge zum vorliegenden Projekt.

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

Bundesamt für Energie BFE
Pulverstrasse 13, CH-3063 Ittigen; Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · contact@bfe.admin.ch · www.bfe.admin.ch Impressum

:

Kurzfassung

Das Bundesamt für Energie (BFE) führt seit mehreren Jahren eine modellgestützte „Ex-Post-Analyse“ des Energieverbrauchs durch. Damit wird zum einen der Verbrauch auf einzelne sog. Verwendungszwecke zurückgeführt. Zum anderen werden die Effekte der verschiedenen Einflussfaktoren, welche die zeitliche Entwicklung des Verbrauchs erklären, quantifiziert. Die Ergebnisse werden in drei Teilberichten dokumentiert. Um die Transparenz zu erhöhen, gibt es zu jedem Modell einen eigenen Methodenbericht, der auch deren Anwendung für zukünftige Energieprognosen beschreibt.

Der vorliegende Methodenbericht bezieht sich auf das Modell für den Energieverbrauch in den Sektoren Dienstleistungen und Landwirtschaft und beschreibt dessen Funktionsweise, die Eingabedaten und, auf einer Metaebene, die Ergebnisse.

Das hauptsächlich zugrundeliegende Modell - das von TEP Energy entwickelte Gebäudeparkmodell (GPM) Schweiz - dient sowohl für prospektive Szenariorechnungen (ex-ante) als auch für die zurückblickenden Analysen (ex-post) des Energieverbrauchs in Gebäuden. Bei den Ex-post Analysen werden möglichst viele Daten aus bestehenden Statistiken verwendet, anstatt Annahmen zu treffen. Mit automatisierten Sensitivitätsanalysen werden die Auswirkungen verschiedener Einflussfaktoren (Bestimmungsfaktoren) wie Mengen, Effizienzentwicklungen, strukturelle und technopolitische Veränderungen aufgezeigt.

Das TEP GPM Schweiz ist ein stochastisches Gebäudebestandsmodell, das auf den Energieverbrauch innerhalb von Gebäuden fokussiert, einschliesslich Heizung, Lüftung und sektorspezifische Geräte. Es besteht aus zwei Hauptteilen: Der erste Teil modelliert den Gebäudebestand und die Gebäudeerstellung (Geometrien, Typen, Nutzung und Zustand), während der zweite Teil die Dynamik im Gebäudepark abbildet, wie z.B. Nachrüstungen z.B. von Lüftungs- und Kälteanlagen und die Einführung neuer Energieeffizienztechnologien.

Das Modell verfolgt einen Bottom-up-Ansatz, bei dem der Gebäudebestand in Kohorten unterteilt wird, und jede Kohorte hat spezifische Eigenschaften und Treiber (wie z.B. die Energiebezugsfläche, die Bauperiode oder die Anzahl der Mitarbeiter). Diese Treiber werden mit einer speziellen Funktion modifiziert, um den spezifischen Verbrauch zu berechnen. Verschiedene Gebäudetechnologien (Heizung, Warmwasserbereitung, Beleuchtung, Lüftung) werden mithilfe standardisierter Methoden und Kennwerten (z.B. SIA 380/1, SIA, 2024) und Annahmen zur Effizienz und den Betriebsstunden analysiert. Für den Reststromverbrauch in Gebäuden, wie IKT und Kühlung, werden vereinfachte Annahmen aus dem FORECAST-Modell übernommen.

Das Modell berücksichtigt auch spezielle Ad-hoc-Module für den Energieverbrauch von Anwendungen ausserhalb von Wohn- und Dienstleistungsgebäude (z.B. in landwirtschaftlichen Gebäuden wie Ställen oder Gewächshäusern).

Das GPM ist grundsätzlich in der Lage, eine Vielzahl von Ergebnissen zu erzeugen. Für die Ex-Post-Analyse werden die folgenden Daten gespeichert:

- Endenergiebedarf: nach Energieträger, Subsektoren, Gebäudealtersklasse, Energiedienstleistung, Bestimmungsfaktor.
- Anzahl der Heizungsanlagen (und nach Grössenklassen), zur Validierung
- Geschossfläche, nach Teilsektoren, Gebäudealtersklasse

Inhalt

Abkürzungsverzeichnis	5
1 Einleitung	6
2 Das Framework des Modells TEP GPM Schweiz: Eine Übersicht	7
2.1 Das Modell TEP GPM Schweiz	7
2.2 Ad-hoc-Module	9
3 Übersicht: Beschränkungen und Grenzen	10
3.1 Ziel und Umfang	10
3.2 Modellstruktur	10
3.3 Systemgrenzen	10
3.4 Räumliche und zeitliche Auflösung	11
4 Überblick über das Modelldesign	13
4.1 Gebäude	14
4.2 Beschäftigte	15
4.3 Umwelt und Kontext	15
4.4 Energie	15
4.5 Wirtschaftlichkeit und Kosten	16
4.6 Dynamiken	17
5 Input und Output	20
5.1 Zentrale Datenquellen	20
5.1.1 Jährlich überarbeitete Daten:	20
5.1.2 Einige der anderen Datensätze (unregelmässig aktualisiert)	22
5.1.3 Zusätzliche Quellen	22
5.2 Wichtige Annahmen zu den Daten	23
5.3 Wichtige Annahmen für die Modellierung	24
5.4 Szenarien und Sensibilitäten	25
5.5 Output Parameter	26

5.5.1	Energieträger	26
5.5.2	Sub-Sektoren	27
5.5.3	Energiedienstleistungen, «Verwendungszwecke»	29
6	Qualitätssicherung	30
6.1	Kalibrierung	30
6.2	Validierung	30
6.3	Limitierungen	31
6.4	Unsicherheiten	31
6.5	Sensitivität	32
7	Allgemeines	33
7.1	Umsetzung	33
7.2	Zugang	33
7.3	Anwendungsbereiche	33
7.4	Wichtige Referenzprojekte	34
7.5	Wichtigste Literatur	35
8	Ad-hoc-Modell mit Ad-hoc-Modulen	36
8.1	Ad-hoc-Beleuchtung	37
8.2	Strassentunnel	38
8.3	Technische Pistenbeschneigung ("Schneekanonen")	38
8.4	IKT Infrastruktur	38
8.5	Übrige	38
8.6	Landwirtschaftssektor	39
9	Technische Umsetzung	40
9.1	Vorbereitung der Daten	40
9.2	Modellläufe	40
10	Anhang	41
11	Literatur	42

Abkürzungsverzeichnis

BF	Bestimmungsfaktoren
BFE	Bundesamt für Energie
DL	Dienstleistungssektor
EBF	Energiebezugsfläche
EK	Energiekennzahl
El.Stat.	Elektrizitätsstatistik
EnDK	Energiedirektorenkonferenz
EPG	Energy Performance Gap (Energiebedarfslücke)
ESO	Energy Saving Option (Energiesparmassnahmen)
FW	Fernwärme
GEAK	Gebäudeausweis der Kantone
GEST	Gesamtenergiestatistik
GPM	Gebäudeparkmodell
ICT	Information and communication technologies
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
LWT	Landwirtschaftssektor
MFH	Mehrfamilienhaus
NOGA	Nomenclature générale des activités économiques (NOGA)
NW	Nahwärme
NWG	Nicht-Wohngebäude
OM	Operation and Maintenance (Betrieb und Unterhalt)
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
TEP	Technology, Economics, Policy
VZ	Verwendungszwecke
WP	Wärmepumpe
WRG	Wärmerückgewinnung
WTP	Willingness to Pay (Zahlungsbereitschaft)

1

Einleitung

Seit mehreren Jahren lässt das Bundesamt für Energie (BFE) eine modellgestützte Analyse des Energieverbrauchs durchführen, um die statistisch beobachtete Entwicklung des Energieverbrauchs nach den wichtigsten Bestimmungsfaktoren und Verwendungszwecken zu erklären («Ex-Post-Analyse»). Diese Ex-Post-Analyse wird jährlich für die vier Verbrauchssektoren Private Haushalte (Prognos AG); Dienstleistungen und Landwirtschaft (TEP Energy GmbH); Industrie (Prognos AG) und Verkehr (INF-RAS AG) durchgeführt und im Nachgang in einer Synthese zusammengeführt.

Die Ergebnisse der Ex-Post-Analyse werden jeweils in drei Teilberichten dokumentiert (Bestimmungsfaktoren, Verwendungszwecke und Sektor Private Haushalte). Diese Berichte enthalten keine Dokumentation der in der Analyse genutzten Bottom-up-Modelle. Um die Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse zu erhöhen, wurde zu jedem der vier Modelle ein eigenständiger Methodenbericht erstellt. Der Schwerpunkt in den Methodenberichten liegt auf der Beschreibung des Einsatzes der Modelle im Rahmen der Ex-Post-Analyse. Die Modelle können auch für die Berechnung des zukünftigen Energieverbrauchs eingesetzt werden, wie beispielsweise im Rahmen der Energieperspektiven 2050+. Punktuell wird in den Methodenberichten deshalb auch auf die Anwendung in Energieszenarien eingegangen.

Der hier vorliegende Methodenbericht dokumentiert das für die Modellierung des Energieverbrauchs im Dienstleistungs- und Landwirtschaftssektor eingesetzte Modell. Der Bericht beschreibt die Funktionsweise, die Abgrenzung, sowie die zentralen Inputs und Outputs. Der Aufbau und die abgedeckten Inhalte zur Beschreibung des Modells orientieren sich an einer Arbeit von Nägeli et al. (2022).

2

Das Framework des Modells TEP GPM Schweiz: Eine Übersicht

Die Modellierung des Energiebedarfs im Dienstleistungssektor (DL) und Landwirtschaftssektor (LWT) erfolgt mit zwei Modellen:

- das Gebäudeparkmodell (TEP GPM Schweiz), welches die Gebäudedynamik und den Energiebedarf von (beheizten) Gebäuden modelliert, beschrieben in den Kapiteln 3 bis 7.
- mehrere Ad-hoc-Module zur Berechnung der Energie ausserhalb von beheizten Gebäuden oder in speziellen Gebäuden des Landwirtschaftssektors: dies betrifft z.B. die öffentliche Strassenbeleuchtung, die Tunnel- und Verkehrsinfrastruktur, die Telekommunikationsinfrastruktur (Telefonzentralen, Antennen), Gewächshäuser, Ställe etc., die hauptsächlich in Kapitel 8 beschrieben werden.

Jeder der beiden Teile berechnet den Energiebedarf nach Verwendungszwecken und Energieträgern (siehe Abschnitt 5.5) sowie nach weiteren Indikatoren. Die Berechnungen der Bestimmungsfaktoren erfordern separate Läufe des Codes mit verzögerten Eingaben (siehe Abschnitt 5.4).

2.1 Das Modell TEP GPM Schweiz

TEP hat ein Gebäudeparkmodell (GPM) entwickelt, das sowohl für Perspektiven (ex-ante) als auch für Ex-Post-Analysen verwendet werden kann. Für Ex-Post-Analysen werden so viele Daten wie möglich direkt aus Statistiken oder anderen empirischen Grundlagen übernommen oder aus solchen abgeleitet (im Gegensatz dazu werden sie bei den Ex-Ante-Analysen aus Szenario-Annahmen abgeleitet). Darüber hinaus werden im Ex-Post-Projekt verschiedene Sensitivitäten (die sogenannten «Bestimmungsfaktoren») automatisiert berechnet: Die Daten werden automatisch angepasst (an die des Vorjahres), um die Auswirkungen einzelner Einflussfaktoren (Mengen, Struktur, technopolitische Faktoren, Substitutionen, Wetter) anzuzeigen.

Das GPM ist per se ein Gebäudebestandsmodell, d.h. es modelliert nur die Energie innerhalb von Gebäuden (z.B. für Heizung, andere Gebäudetechnologien, z.B. Lüftung, und auch sektorspezifische Geräte und Anlagen). Das GPM modelliert synthetische (virtuelle) Gebäude in einer stochastischen Weise.

Der Modellansatz des GPMs lässt sich in zwei Teile gliedern: der erste Teil modelliert die Erzeugung des Gebäudebestands (unter Berücksichtigung von Geometrien, Typen, Nutzungen und Ausgangszustand) und der zweite Teil modelliert die Dynamik am oder innerhalb der Gebäude: Nachrüstung, Rückbau, Austausch von Heizungsanlagen und Geräten, Einführung neuer Energiespartechnologien. Grob gesagt ist der erste Teil ein wichtiger Faktor für das Energieniveau und die Verwendungszwecke (VZ), und der zweite Teil für die Trends bei Effizienz und Energieträgeranteilen sowie für die Bestimmungsfaktoren (BF).

Die Grundidee hinter dem GMP ist das Bottom-up-Kohortenmodell, d. h. die Gebäude werden in Gruppen aufgeteilt, und jede Gruppe hat ihren eigenen spezifischen Eigenschaften, die den spezifischen Energieverbrauch bestimmen. Zusammen mit der Menge jeder Kohorte (Treiber) wird die Nutzenergie wie folgt berechnet:

$$\text{Nutzenergie} = \text{mengenspezifische Treiber} * \text{spezifischer Verbrauch}$$

Das GPM verwendet hauptsächlich zwei mengenspezifische Treiber:

- Die Energiebezugsfläche (EBF) für die Modellierung von Raumwärme, Warmwasser und Gebäudetechnologien
- Die Anzahl der Beschäftigten für die Modellierung verschiedener elektrischer Anwendungen wie z.B. IKT in Bürogebäuden, Geräte im Gesundheitssektor.

In beiden Fällen kommen spezifische mengenspezifische Treiber hinzu, um den Ausstattungsgrad der Flächen bzw. der Mitarbeitenden mit den verschiedenen energetischen Anwendungen zu charakterisieren. Diese spezifischen Treiber werden mittels Diffusionsfunktionen modelliert.

Wenn es konzeptionell zielführend ist und es die Datenlage zulässt, wird der spezifische Verbrauch in Betriebsstunden und installierte Leistung aufgeteilt (wie in SIA (2024)). Bei der Raumwärme und beim Warmwasser wird die SIA 380/1-Methode verwendet, um den spezifischen Bedarf zu berechnen (wobei implizit die Betriebsstunden pro Monat berücksichtigt werden).

Bei der Raumwärme wird die Nutzenergie in Endenergie umgewandelt, zunächst durch die Aufteilung in verschiedene Heizsysteme (primäres, sekundäres System und eventuell auch thermosolare Erzeugung). Jedes Heizsystem wird wiederum in die einzelnen Energieträger aufgeteilt: Wärmepumpen werden in Strom und Umgebungswärme aufgeteilt, teilweise auch mit bivalentem Ansatz, d.h. mit zusätzlichen Energieträgern (Gas, Öl, Holz), wie auch im Bericht zu den Low-Invest-Cost Sanierungen (Jakob et al., 2022) beschrieben wird.

Eine solche allgemeine Struktur und Zerlegung ist notwendig, um verschiedene «Bestimmungsfaktoren» zu modellieren, aber die Art und Weise, wie die einzelnen Energiedienstleistungen berechnet werden, variiert:

- Beim Raumwärmebedarf wird die SIA 380/1 Monats-Energiebilanz angewandt und es werden verschiedene Erneuerungsoptionen für die wichtigsten Komponenten modelliert: Wärmedämmmaßnahmen und Fensterersatz für Wand, Fenster, Dach, Keller.
- Für die Warmwasserbereitstellung wird ebenfalls SIA verwendet, konkret der «Kennwerte» spezifischer Bedarf pro Person, wobei die Anzahl der Personen pro Quadratmeter berücksichtigt wird.
- Für die Beleuchtung werden die Daten von elight SIA 387 verwendet, z.B. Beleuchtungsstärke (Lux), Wirkungsgrad (Watt pro Lumen) und die Diffusion von Sensoren für jede SIA 2024 Raumkategorie.
- Andere Gebäudetechnologien (Lüftung, Klimatisierung, Pumpen, Aufzüge, Sonstiges) werden mit ESO (energy saving options) modelliert: Energiesparoptionen und Einsparungen bei der installierten Leistung und/oder bei den Betriebsstunden)

- Für den restlichen Stromverbrauch in Gebäuden (IKT, Rechenzentren, Kochen, Wäschetrocknung, Prozesskühlung) werden einfachere Annahmen verwendet. Diese werden teilweise aus dem FORECAST-Modell (Fleiter et al., 2010) übernommen und an den Kontext des GPM-Modells angepasst.

2.2 Ad-hoc-Module

Die Ad-hoc-Module ergänzen die vom GPM modellierte Nachfrage für die Verbräuche ausserhalb von Gebäuden oder in speziellen Gebäuden (Ställe, Gewächshäuser). Wir versuchen, den Ansatz beizubehalten, d.h. nach installierter Leistung, Betriebsstunden und spezifischen Einflussfaktoren zu strukturieren, um die Ergebnisse besser mit den GPM-Daten integrieren und die Bestimmungsfaktoren modellieren zu können. Die verfügbaren Daten (oder das Fehlen davon) beeinflussen jedoch teilweise die Struktur des Ansatzes, weshalb wir Vereinfachungen vornehmen müssen. Kapitel 8 beschreibt die einzelnen Ad-hoc-Module.

3

Übersicht: Beschränkungen und Grenzen

3.1 Ziel und Umfang

Die Aufgabe des Modells TEP GPM Schweiz Ex-Post ist die Berechnung des jährlichen Energiebedarfs in Gebäuden (Heizung, Warmwasser und andere Nutzungen) von 2000 bis zum Vorjahr des veröffentlichten Berichts. Die Daten werden nach Nutzungszwecken, Grund für die jährlichen Abweichungen (Bestimmungsfaktoren), Energieträgern (einschliesslich Umgebungswärme) und Branchen für den primären und tertiären Sektor für das BFE aufgeschlüsselt. Diese Modellierung wird jedes Jahr durchgeführt. Für den Abschlussbericht werden die Ergebnisse des Hauptmodells (GPM), der Ad-hoc-Modelle (siehe Kap. 8) und einige Daten aus dem Prognos-Modell für den Wohnsektor (Ferienhäuser, Gemeinschaftsräume auf MFH) vereint.

3.2 Modellstruktur

Das TEP GPM Schweiz ist ein «agent based» Gebäudeparkmodell, das für die Analyse von Gebäuden und deren Energiebedarf in der Vergangenheit und Zukunft entwickelt wurde. Es handelt sich also um ein technisch-ökonomisches Bottom-up-Energiemodell, dessen Haupteinheit ein synthetisches Gebäude ist. Für das Ex-Post-Modell ist der Teil der Vorhersage deaktiviert. Für jedes synthetische Gebäude wird der gesamte Energiebedarf gleichzeitig berechnet, da es Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Energiedienstleistungen und ihren Optionen gibt (z.B. wirkt sich die Wärmerückgewinnung (WRG) sowohl auf die Lüftung als auch auf den Wärmebedarf aus).

3.3 Systemgrenzen

Zeitlich: Jährlich ab dem Jahr 2000 bis zum Vorjahr der Veröffentlichung der Ex-Post-Berichte.

Geografisch: Schweiz, wie in der GEST-Definition, daher schliesst GPM internationale Organisationen auf Schweizer Gebiet ein (NOGA 99)¹.

Wirtschaftssektor: Primärer und tertiärer Sektor, gemäss STATENT-Definition «Arbeitsstätte», d.h. pro Areal, nicht nach der Klassifikation des Betriebs, d.h. eine Arbeitsstätte eines Industrieunternehmens mit hauptsächlich Verwaltungsbüros wird dem Dienstleistungssektor zugerechnet.

- *Abgrenzung zum Wohnsektor:* Das Modell schliesst Mietferienhäuser/-wohnungen aus, die zusammen mit den privaten Ferienhäusern im Wohnsektormodell modelliert werden (siehe Prognos). Obwohl statistisch dem DL-Sektor zugeordnet, wird bei den Ex-Post-Analysen auch der

¹ Einige Statistiken enthalten sie nicht (z.B. STATENT), und sie sind nicht in der Schweizer Zollzone enthalten, aber Gebäude sind im GWR und in einigen kantonalen Statistiken enthalten. Internationale Standards können auch den Energiebedarf der Armee (Verteidigung) ausschließen, aber dieses Modell und die Statistiken schliessen ihn implizit ein.

gemeinsame Energieverbrauch in Mehrfamilienhäusern, wie z.B. die Beleuchtung in Fluren, der Stromverbrauch von gemeinsamen Waschmaschinen, Aufzügen und anderen Gebäudetechnologien, nicht mit dem GPM modelliert, sondern ebenfalls durch Prognos' Modell für den Wohnungssektor. Das «Home Office» wird auch im Wohnsektormodell berücksichtigt. Im GPM wird jedoch die ständige Arbeit in Wohngebäuden im Rahmen des Modells berücksichtigt (z. B. Büros in Wohnhäusern, Beratung usw.).

- *Abgrenzung zum Industriesektor:* Wir orientieren uns an der NOGA (2008)/NACE v2, d.h. Baugewerbe, Abfallwirtschaft, Abwasser, Energieerzeugung, Druckerei und Verkehr fallen nicht in den Geltungsbereich dieses Modells (vgl. *Energieverbrauchsstatistik in der Industrie und im Dienstleistungssektor* (Del Taglia et al., 2023) , wo der Hauptbericht eine ältere NOGA-Klassifikation verwendet, nur die Zusatztabellen, die Monate später veröffentlicht werden, verwenden die NOGA 2008-Klassifikation).
- *Abgrenzung zum Verkehrssektor:* Beheizte Gebäude des Verkehrssektors werden in das GPM oder die Ad-hoc-Module einbezogen (z.B. Bahnhöfe, Tankstellen). Die Ad-hoc-Module umfassen auch den Energiebedarf ausserhalb von Fahrzeugen, wie z.B. Strassenbeleuchtung, Schieneninfrastruktur, Strassentunnel usw. (die Daten stammen aus *Elektrizitätsstatistiken* (BFE, 2024) «Übriger Verkehr»). Wegen der fehlenden Trennung in der Statistik werden Skilifte zusammen mit der Seilbahn durch Infrast modelliert und dem Verkehrssektor zugeordnet, aber Schneekanonen werden als Ad-hoc-Modul durch TEP Energy modelliert. Alle IKT-Branchen werden ebenfalls durch TEP Energy berücksichtigt (Rechenzentren, Antennen, Kommunikationsinfrastruktur etc.).

Gebäudetypen: Alle dauerhaften Gebäudeklassen werden berücksichtigt, unabhängig davon, ob es sich um Wohn- oder Industriegebäude handelt; ausschlaggebend ist die Nutzung gemäss STATENT. Bei Gebäuden mit Mehrfachnutzungen wird nur der Anteil des tertiären (und primären) Sektors berücksichtigt, aber für Entscheidungen (Nachrüstung, Heizsystem) und Grösse (grössere Heizsysteme, Geometrien) wird das gesamte Gebäude modelliert.

Energiedienstleistungen: Alle Dienstleistungen innerhalb der Gebäude werden berücksichtigt, mit Ausnahme des Ladens von Elektrofahrzeugen (Verkehrssektor) und Dienstleistungen, die mit anderen Treibstoffen ausser Elektrizität betrieben werden, (z. B. Palettenhubwagen, Traktoren, Gartenarbeit usw.). Siehe auch Kapitel 8 (Ad-hoc-Module) für Dienstleistungen ausserhalb von Gebäuden, die in die Endergebnisse einbezogen werden.

3.4 Räumliche und zeitliche Auflösung

Die zeitliche Auflösung der Ergebnisse beträgt ein Jahr. Der Raumwärmebedarf wird innerhalb des angewandten Berechnungsgangs (SIA 380/1) pro Monat berechnet.

Synthetische Gebäude sind die kleinste spezifische Auflösung des Modells: jedes Gebäude wird als einzelne unabhängige Einheit modelliert. Jedes Gebäude ist einem Kanton zugeordnet, aber nicht weiter georeferenziert, so dass der Kanton die kleinste räumliche Auflösung für die Ergebnisse darstellt.

Die Auflösung der Eingabedaten ist variabel: nicht alle Daten sind auf kantonaler Ebene verfügbar, einige Daten haben eine andere räumliche Auflösung: z.B. Referenzwettermessstation (verfügbare MeteoSchweiz-Stationen aus SIA 2028²), Zugehörigkeit zu einer «Energieträgerpotenziale- bzw. Angebotszone» (virtuelle Zone innerhalb eines Kantons mit gleicher Verfügbarkeit bzw. Einschränkungen von Brennstoffen oder Energiequellen, z.B. Gas- oder Fernwärme-Netze, WP-Einschränkungen).

Der letzte Lauf modelliert mehr Gebäude im Vergleich zur Anzahl der beheizten Gebäude in der Schweiz (4 Mio., vs. ca. 2 Mio.), um stochastische Effekte zu reduzieren. Die endgültigen Ergebnisse sind auf die erwartete Referenzfläche skaliert.

Hinweis: Im Gebäudeinneren werden die Nutzungsanteile nach ihrer Branchenzugehörigkeit unterteilt (Luftwechsellvolumen, Warmwasserbedarf, Strombedarf je nach Branche).

² Einige Kantone haben verschiedene Referenzmessstationen, aber nicht alle Kantone haben eine, und die Kantone müssen unter Umständen auch mehrere Stationen ausserhalb der Kantonsgrenzen verwenden (z.B. für Gebirgsregionen). Die EnDK hat im Vergleich zur SIA weitere Einschränkungen bezüglich der Wetterstation, die ein Kanton verwenden sollte, die ebenfalls im GPM berücksichtigt werden.

4

Überblick über das Modelldesign

Hinweis: Für die Ex-Post-Analysen sind viele grundlegende Daten verfügbar, so dass es im Gegensatz zur Ex-Ante-Funktion des GPM nicht notwendig ist, diese explizit zu modellieren.

Das Modell TEP GPM Schweiz simuliert die Entwicklung von Gebäuden und deren Energiebedarf, und zwar jeweils für ein Gebäude vom Bau bis zum Abriss/Rückbau des Gebäudes (oder bis Simulationsendjahr, falls dies früher geschieht).

Das Modell folgt diesen Schritten für jedes Gebäude:

- Erstellung eines synthetischen Gebäudes (Festlegung der Geometrie, der Materialien, der Nutzung usw.), Festlegung des Baujahres und des Abrissjahres mittels statistischen Funktionen.
- Definition des Ausgangszustands der Komponenten (z.B. U- und g-Werte bei der Hülle, Nutzungsgrad beim Heizsystem) und Diffusion von Klimaanlage, Lüftung und anderen Geräten usw.
- Schleife für jedes Simulationsjahr:
 - o Entwicklung der elektrischen Geräte: Diffusion der Energiesparoptionen der installierten Geräte und ESO, wenn diese am Ende ihrer Lebensdauer sind.
 - o Entscheidungsmodell für die Nachrüstung von Komponenten der Gebäudehülle (ab Baujahr 1981) und der Heizungsanlage (ab Installationsjahr 2000), wenn diese am Ende ihrer Lebensdauer angelangt sind
 - o Berechnung der Nutz- und Endenergie.

Anpassung des Energiebedarfs an jahresspezifische Kennwerte, z.B. Warmwasser, Wetter, kurzfristige Effekte (Lockdowns während der COVID-19 Pandemie, Energiekrise, etc.), und Speicherung der benötigten Indikatoren. Es gibt zusätzliche generische Schritte:

- Iteration der obigen Schritte für die anfängliche Anzahl von Gebäuden, die vor dem Jahr 2000 gebaut wurden.
- Erstellen von neuen Gebäuden (ab 2000) entsprechend der EBF-Entwicklung.
- Aggregieren der Ergebnisse und Skalieren aller Indikatoren.
- Vorbereiten und Speichern der zusammenfassenden Tabellen der Indikatoren

Diese generischen Schritte werden für jeden Bestimmungsfaktor durchgeführt.

4.1 Gebäude

Die synthetischen Gebäude werden stochastisch generiert, und zwar nach Gebäudetyp, Baualterklasse und Gebäudegrößenklasse. Danach werden das genaue Baujahr und die Grösse stochastisch zugewiesen, davon werden Gebäudegeometrien und Nutzungen abgeleitet. Das Modell verwendet vereinfachte Geometrien: Quader, Fenster/Wand-Verhältnis und eine einzige Wahl der Dachform pro Gebäude (flach oder geneigt; bei geneigten Dächern entscheidet das Modell, ob die Wärmedämmung im Dach oder auf dem Dachboden liegt). Die Gebäude werden je nach Typ, Grösse und Alter unter dem Bodenniveau mit Untergeschossen erweitert. Ein Teil dieser Erweiterung kann beheizt werden. Jedes Gebäude hat seine konkrete Ausrichtung, was bei der Berücksichtigung der Solarstrahlung berücksichtigt wird. Zudem wird die Anzahl der gemeinsamen Wände bestimmt, z.B. bei Reihenhäusern, also Einzel-, Eck- oder Mittelhaus.

Ausserdem wird jedem Gebäude anfänglich eine Energieträgerverfügbarkeitszone zugewiesen. Diese kann sich in Zukunft ändern kann (z.B. durch die Ausweitung von thermischen Netzen oder die Stilllegung von Gasnetzen. Auch Einschränkung von Wärmepumpenquellen oder Einschränkung von Luft-Wasser-WP wegen des Lärmpegels können sich verändern.

Die Modellierung der Dynamik bei den Bauteilen und Komponenten erfolgt zweistufig:

- In Stufe 1 wird der jährliche Austausch oder die Instandsetzung von Bauteilen (Fenster, Wanddämmung, Dachdämmung, Kellerdämmung, Heizungsanlage, ESO (nur an der Gebäudehülle)) ab dem Baujahr des Gebäudes modelliert.
- In Stufe 2 wird die energetische Wahl der Komponenten der Gebäudehülle modelliert. Dies beginnt 1981, davor wird ein Standard-U-Wert angenommen, der Baualterklasse von 1980 entsprechend. Die Art des Heizsystems wird für das Startjahr des Modells (2000) anhand der verfügbaren Daten (Volkszählung 2001 und andere Statistiken) und eigener Annahmen festgelegt. Ab dem Startjahr der Stufe 2 wählen die Entscheidungsmodelle die entsprechenden Optionen aus.

ESO (Energy Saving Options) für (elektrische) Gebäudetechnologien werden ab 2000 modelliert, wobei die anfängliche Wahrscheinlichkeit der Verbreitung jeder Technologie und die Wahrscheinlichkeit der Installation einer neuen Technologie je nach Gebäudenutzung, Gebäudealter und Gebäudegrösse (zwei Klassen) berücksichtigt werden.

Wechselwirkung zwischen den Teilen: Die Effizienz der Wärmerückgewinnung und Massnahmen zur Verringerung des Lüftungsvolumens wirken sich auf den Raumwärmebedarf aus. Das Alter der Fenster beeinflusst die Infiltrationsraten, die sich auf die Raumheizung auswirken. Die Wahl des Heizsystems hängt vom Heizungs- und Warmwasserbedarf ab, ist also vom Zustand der Gebäudehülle abhängig.

Die Nutzung (in Sub-Sektoren) ist derzeit statisch: sie wird stochastisch bei der Gebäudeerstellung bestimmt.

4.2 Beschäftigte

Die Zahl der Beschäftigten wird zur Berechnung der Bezugsfläche herangezogen, ansonsten wird die Interaktion der Menschen mit dem Gebäude nur implizit unter Verwendung der SIA 2024-Daten berücksichtigt (d. h. Liter Warmwasser pro Person, Lüftungsvolumen und interne Wärme je nach Arbeitsintensität usw.). Es gibt keine Stochastik zur Personenverteilung (und -nutzung) in Gebäuden.

4.3 Umwelt und Kontext

Wetter und Klima: Es wird unterschieden zwischen jährlicher Witterung und mittlerem Klima:

- Die Gebäudeausrichtung und die Klimaregion beeinflussen den Energiebedarf, aber das tatsächliche Wetter wird im Entscheidungsmodell nicht berücksichtigt: Die Baunormen erfordern eine Berechnung mit einem Bezugsjahr (und unter Verwendung einer vordefinierten Reihe von Referenzstationen, die von EnDK vorgegeben werden).
- Die jährliche Wetterkorrektur wird auf die Endergebnisse angewendet. Diese Korrektur für Raumheizung und Warmwasser verwendet die Prognos-Methode ("Witterungsbereinigung Auf Basis von Gradtagen Und Solarstrahlung," 2015) und Faktoren wie Gradtage und Strahlung. Für die Klimatisierung wird eine eigene Korrektur (TEP) verwendet, die auf den Kühlgradtagen basiert.

Politische Massnahmen werden implizit mit Energiekosten und Zahlungsbereitschaft (z.B. Kampagnen) und explizit mit Subventionen und Restriktionen (z.B. Verbot fossiler Brennstoffe in Neubauten, gemäss kantonaler Politik) berücksichtigt.

Wirtschaftliche Einflussfaktoren: Bei der Ex-Post-Analyse werden die wirtschaftlichen Einflussfaktoren wie z.B. Energiepreise exogen aus Statistiken abgeleitet.

Physikalischer Kontext: Jedes Gebäude wird unabhängig modelliert. Obwohl der GPM das Nahwärmesystem modelliert, trifft jedes Gebäude seine eigenen, unabhängigen Entscheidungen. Limitationen bei der Umgebungswärme und die maximale Verfügbarkeit einiger Brennstoffe (z. B. Holz) werden bei der Ex-Post-Modellierung nicht direkt berücksichtigt.

4.4 Energie

Der Raumwärmebedarf wird pro Gebäude auf monatlicher Basis berechnet. Jeder Teil/ jede Nutzung kann den Durchschnittswert im Gebäude beeinflussen, z.B. Luftwechselrate, interne Wärme (Personen, Geräte). Der Heizwärmebedarf wird nach SIA und SIA 380/1 modelliert, wobei die Energiebilanz aus Verlusten (Transmissionsverluste und Luftvolumenstrom) und Wärmegewinnen (Sonneneinstrahlung, Personen, Geräte) berechnet wird.

Der Warmwasserbedarf hängt von den SIA 380/1-Werten ab, mit Korrekturen entsprechend der Veränderung der Personenanzahl pro Quadratmeter. Beachten Sie die Unstimmigkeiten zwischen den verschiedenen SIA-Normen (und auch mit verschiedenen Modellen). Das Modell unterscheidet

zwischen gelieferter Energie (aus den Heizkörpern) und Nutzenergie (an der Zapfstelle), berücksichtigt also die Effizienz der Heizkörper und die Verteilungs- und Speicherverluste.

Für die Beleuchtung gibt es ein eigenes Modell, das auf der SLG-Methode (SIA 387/4) basiert und die erwartete Beleuchtungsstärke, die Effizienz der Beleuchtung, die Anzahl der Leuchtelemente pro Quadratmeter, den durchschnittlichen Verbrauch und die Verbreitung und Effizienz von Energiesparmassnahmen berücksichtigt.

Andere Gebäudetechnologien werden mit einem Kohortenmodell über die Verbreitung einer Dienstleistung (Lüftung, Klimatisierung) und einem Kohortenmodell über spezifische Technologien (und Energiesparoptionen) modelliert.

Die übrigen Energiedienstleistungen werden mit exogenen Teilsektoren und zeitabhängigen Energie-Kennzahlen (EK) modelliert (z.B. basierend auf Zielwerten und Diffusion zwischen Klassen), basierend auf SIA 2024 Bestand/Neu/Ziel-Werten und im Vergleich mit anderen Studien und Statistiken.

Als letzter Schritt wird das aktuelle Wetter für Raumheizung, Warmwasseraufbereitung und Klimatisierung berücksichtigt.

Das Modell berechnet die Nutzenergie und die Endenergie (und optional die Primärenergie nach unterschiedlichen Definitionen/Umfängen). Die Effizienz der Heizungsanlage hängt vom Installationsjahr und in einigen Fällen von der Wärmeintensität pro Quadratmeter ab (die stellvertretend für die Temperatur der Wärmeverteilung verwendet wird, was Brennwertkessel oder effizientere Wärmepumpen ermöglichen kann).

4.5 Wirtschaftlichkeit und Kosten

Gebäudehülle: Das Modell berücksichtigt Investitionskosten für die Modellierung von Effizienzmassnahmen bei energetisch relevanten Komponenten der Gebäudehülle. Es werden nur die Mehrkosten im Vergleich zu den Instandsetzungskosten berücksichtigt, also Differenzkosten. Damit werden spezifische Jahreskosten der Effizienzsteigerung berechnet (CHF/kWh). Diese Kosten sind abhängig von der Sanierungsintensität, dem Gebäudetyp und dem Baujahr. Zusätzlich können Fördermittel abgezogen werden. Die spezifischen Kosten fliessen in ein Entscheidungsmodell ein, bei dem simuliert wird, ob die Massnahme bei gegebenen Energiepreisen wirtschaftlich ist oder nicht. Im Bereich Gebäudehülle berücksichtigt das Entscheidungsmodell keine Betriebs- und Wartungskosten.

Heizungsanlage: Die Investitionskosten werden nach Technologie, installierter Leistung (Grösse), Kostenstufen nach Schwierigkeitsgrad der Installation (einfach, normal, schwierig) gegeben. Zudem wird unterschieden, ob es sich um eine neue Anlage, einen Ersatz für eine ähnliche Technologie oder einen Ersatz durch eine andere Technologie handelt. Diese Kosten umfassen alle Phasen, einschliesslich Projektierung und Planung, Installation, die Geräte selbst und auch Steuern und Anschlussgebühren. Die zukünftige Entwicklung wird mit einer Reduktionsfunktion angegeben, die nach Technologie und Jahr differenziert. Zusätzlich werden die Betriebs- und Wartungskosten berücksichtigt.

Die Investitionskosten werden, mit einer wirtschaftlichen Lebensdauer und einem Diskontsatz annualisiert. Es wird ein sog. Impliziter Diskontsatz verwendet, der auch Unsicherheiten und Hemmnisse einschliesst. Die annualisierten Investitionskosten werden zusammen mit den Energiekosten in die Nutzungsfunktionen der des Entscheidungsmodells eingesetzt. Dieses simuliert die Entscheidung der Gebäudeeigentümer in Abhängigkeit der relativen Nutzen der verfügbaren technologischen Optionen.

4.6 Dynamiken

Für die Ex-Post-Analysen verwendet das Modell so weit wie möglich exogene Daten, in jedem Fall gibt es einige dynamische Entwicklungen:

Gebäude:

Der Flächenbedarf wird durch die Kombination zweier Datenquellen ermittelt: zum einen die W&P-Daten (*Dokumentation zur Berechnung der Energiebezugsflächen*, Wüest Partner, 2012) und die Daten des eigenen GPM-Moduls, in dem die Anzahl Beschäftigte mit der Fläche pro Beschäftigten verknüpft ist. Beide Module haben Vor- und Nachteile: Die W&P-Fläche hat mehr statistische Relevanz auf jährlicher Basis (und mehr Trägheit). Das GPM-Flächenmodul verwendet jährliche Daten für Beschäftigte (aber es fehlen ein oder zwei Jahre branchenspezifischer Daten aufgrund der Verzögerung bei der Veröffentlichung von STATENT), dadurch gibt es mehr Schwankungen zwischen den Jahren, welche in der Realität nicht vorkommen (Gebäude werden nicht in einem so kurzen Zeitzyklen erstellt und rückgebaut). Andererseits ermöglichen die GPM-Module eine viel genauere Unterteilung der Geschossfläche nach Teilsektoren, eine bessere Angabe der Bestimmungsfaktoren (mehr Beschäftigte, weniger Geschossfläche pro Beschäftigten) und eine bessere sektorale Unterteilung der auch von der Industrie genutzten Gebäude (Lager, «Grosshandel» usw.).

Mit Hilfe einer log-logistischen Funktion wird (je nach Altersgruppe und Gebäudetyp) ermittelt, wie viele bestehende Gebäude (je Jahrgang und Nutzung) rückgebaut (und je nach Nachfrage durch neue Gebäude ersetzt) werden. Die Differenz zur Gesamtflächennachfrage ergibt die Bruttomenge der neuen Geschossflächen in neuen Gebäuden, die dann mit neuen synthetischen Gebäuden gefüllt werden.

Gebäudehülle:

Jede Komponente (Wärmedämmungen von Wand, Dach, Kellerdecke, Fenster) muss in regelmässigen Abständen instandgesetzt, erneuert oder ersetzt werden. Die Wahrscheinlichkeit ist exogen gegeben (aus Erhebungen und Analysen aus *Wirkung der Klima- und Energiepolitik in den Kantonen*, (Müller et al., 2018) MISTEE (*Motivations for Investment in Smart Technologies and Energy Efficiency/MISTEE* (Farsi et al., 2022)), Synthesebericht Erneuerungsraten (Jakob et al., 2024)).

Heizungsanlagen:

Die Heizungsanlagen in einem Gebäude werden nach einer Weibull-Verteilung ersetzt (entweder durch ein System derselben Art oder durch ein solches einer anderen Art). Bei der Entscheidung über den Austausch werden verschiedene Optionen bewertet. Hierbei werden Einschränkungen berücksichtigt, z.B. wenn der Brennstoff in der aktuellen «Potenzial- und Angebotszone» nicht verfügbar

ist oder wenn es Einschränkungen gibt (z.B. Verbot fossiler Brennstoffe auf kantonaler Ebene, gemäss dem jährlich veröffentlichten «Stand der Energiepolitik in den Kantonen» (BFE/EnDK). Die werden die Kosten der verfügbaren Optionen berechnet, wobei unterschieden wird, ob das System ein ähnliches System ersetzt oder ob auf neue Technologien umgestellt wird. Das Modell berücksichtigt auch drei verschiedene Installationschwierigkeitsstufen (hierbei werden exogen festgelegte Anteile stochastisch einzelnen Gebäuderepräsentanten zugewiesen). Eine Änderung der Gebäudehülle kann die Möglichkeit eines effizienteren Heizsystems eröffnen (z.B. Brennwertkessel oder Niedertemperaturwärmepumpen).

Gebäudesysteme:

Je nach Lebensdauer der einzelnen Technologien wird ein neues System bewertet: zuerst die Diffusion (z.B. wenn eine Klimaanlage installiert ist), dann die ESO-Diffusion (Energy Saving Option pro spezifischer Technologie) mit relativen Einsparungen (bei installierter Leistung und bei den Betriebsstunden). Beide Diffusionen können von der Grösse des Gebäudes abhängen und es wird auch zwischen kleinen und grossen Gebäuden unterschieden (die Grenze liegt bei 1000 m²).

Beleuchtung:

Alle Daten sind exogen verfügbar, pro Jahr (vor 2010 sind die Daten extrapoliert/geschätzt). Ein Kohorten-Modul bestimmt den durchschnittlichen Beleuchtungsverbrauch (pro Teilssektor) und wendet ihn für alle Teilssektoren (Teile der Gebäude) an.

Andere Anwendungen:

Ähnlich wie bei der Beleuchtung, aber die Eingabedaten stammen aus dem FORECAST-Modell und der SIA 2024 (Bestand/Neu/Ziel Werte). Jedes Gebäude verwendet den durchschnittlichen Verbrauch (pro Teilssektor und Jahr).

Ad hoc:

Die Dynamik der Ad-hoc-Modelle wird im Kapitel 8 im Detail besprochen.

Wetter:

Zusätzlich zu der oben genannten Dynamik wird der Verbrauch für Raumheizung, Warmwasser und Klimatisierung für das aktuelle Wetterjahr korrigiert.

Zusätzliche Dynamiken:

Für die Ergebnisse der Ex-Post-Analysen, die nach 2020 veröffentlicht werden, enthält das GPM zwei zusätzliche exogene jährliche Korrekturen:

- Betriebsstunden: reduzierte Betriebsstunden gemäss COVID-Lockdowns (abhängig vom Teilssektor und unterschiedlicher Anteil pro Teilssektor und Energiedienstleistung). Wird nur zur Anpassung des Verbrauchs in den Jahren 2020 und 2021 verwendet.
- Energieverbrauch: wurde entwickelt, um kurzfristige Änderungen des Nutzerverhaltens zu beschreiben (BFE-Energiesparkampagne und Energiepreisausschläge in den Jahren 2022 und 2023 wegen des Ukraine-Kriegs), die anderweitig nicht explizit modelliert werden (z. B. bei der Modellierung des Effekts von Bauvorschriften oder der Installationsentscheidungen).

Diese beiden Änderungen werden nur für kurzfristige, plötzliche Änderungen verwendet. Langfristig wirkt sich COVID auf die Nutzfläche pro Beschäftigten aus (mehr «Home-Office»), die in der Flächendynamik und auf spezifische Nutzungen modelliert wird. Beim Energieverbrauch werden Verbote fossiler Brennstoffe und die Substitution von Brennstoffen abgebildet. Dabei wird berücksichtigt, dass es Zeit braucht, bis solche Vorschriften ihre Wirkung entfalten und dass der Effekt auch von der Verfügbarkeit alternativer Brennstoffe abhängt. Hinweis: In Modellweiterentwicklung sollten die langfristigen Auswirkungen neu bewertet und modelliert werden.

5

Input und Output

5.1 Zentrale Datenquellen

5.1.1 Jährlich überarbeitete Daten:

Themen	Datensatz / Verwendung im Modell	Herausgeber
Anzahl Beschäftigte (detailliert)	<p>STATENT (<i>Statistik der Unternehmensstruktur</i>)</p> <p>Anzahl der Beschäftigten pro Branche (werden mit ein bis zwei Jahren Verzug publiziert), aus dem Jahr 2011</p> <p>BZ (<i>Betriebszählung</i>), ersetzt durch STATENT für die Jahre 2005 und 2008</p>	BFS
Anzahl Beschäftigte	<p>BESTA (<i>Beschäftigungsstatistik</i>)</p> <p>Komplementär zu STATENT/BZ für fehlende Jahre (dieses und letztes Jahr)</p>	BFS
Anzahl Beschäftigte (Primärsektor)	<p>ETS (<i>Erwerbstätigenstatistik</i>)</p> <p>Für den Primärsektor (der in den beiden vorherigen Datensätzen nicht enthalten ist). Diese Daten beziehen sich auf die Hauptbeschäftigung der Personen</p>	BFS
EBF	<p>W&P/ Ex-Post-Rahmendaten</p> <p>einige Angaben zur Bodenfläche, integriert mit eigenem EBF-Modul, das auf der Beschäftigung basiert</p>	W&P via BFE
Energiepreise (und Wirtschaftsindikatoren)	<p>Ex-Post-Rahmendaten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Energiepreis für die Endnutzer • LIK (<i>Landesindex der Konsumentenpreise</i>) • MWSt <p>Die drei Datensätze werden verwendet, um den Endverbraucher-Energiepreis zu reale-Preisen umzurechnen, wie es das Modell verlangt</p>	BFS
Bevölkerung	<p>Ex-Post-Rahmendaten:</p> <p>Bevölkerung</p>	BFS

	Modellierung von Gebäudetypen und -nutzungen in gemischt genutzten Gebäuden.	
Witterung (Kühlung)	Ex-Post-Rahmendaten CDD (Cooling Degree Days) Air Conditioning: Witterungskorrekturen	Prognos
Witterung (Heizung)	Witterungskorrekturfaktoren Korrekturen bei Heizung und Warmwasser, je Gebäudetyp	Prognos
Beleuchtung (auch für die Ad-hoc-Modelle)	SLG Monitoring (<i>Stromverbrauch für Beleuchtung in der Schweiz 2012 bis 2022</i>) Für Beleuchtungsmodellierung, auch für Ad-hoc-Beleuchtungsmodell (ausserhalb von Gebäuden) verwendet	BFE/SLG
Gebäudevorschriften	Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKE) gemäss dem jeweils aktuellsten Bericht <i>Stand der Energiepolitik in den Kantonen</i> Für fossiles Verbot / Anforderungen Erneuerbare Für kantonsspezifische Mindestanforderungen an die Gebäudehülle (Neubauten, evtl. Nachrüstung und öffentliche Gebäude)	BFE/EnDK
LWT (Ad-hoc)	<i>Agrarbericht</i> Verschiedene Indikatoren und Statistiken (einschliesslich Energiestatistiken)	BLW
LWT (Ad-hoc)	<i>Landwirtschaftliche Betriebe und Nutztiere</i> Zusätzliche Indikatoren	BFS
Beleuchtung, Tunnelöffnungen (Ad-hoc)	<i>Strassen und Verkehr</i> Länge der Tunnel und Autobahnen, zum Teil andere Indikatoren (z.B. spezifischer Energieverbrauch)	Astra
Eisenbahn Infrastruktur (Ad-hoc)	SBB Statistiken Indikatoren der Bahn-Infrastruktur, https://reporting.sbb.ch/en/infrastructures	SBB

5.1.2 Einige der anderen Datensätze (unregelmässig aktualisiert)

Themen	Datensatz / Verwendung im Modell	Herausgeber
Baudynamik pro Kanton	<i>Entwicklung kantonale EKZ und CO₂</i> Sanierungsraten, Fossilverbot, etc. pro Kanton	BAFU / KE-BECO
Gebäudedynamik	<i>Energetische Erneuerungsraten im Gebäudebereich (2014, 2024)</i> Erneuerungsraten	BFE
GWR	<i>Eidgenössische Gebäude- und Wohnungsregister:</i> Dynamik, Abriss, Validierung: Hinweis GWR, W&P, und eigenes Modell berechnen Gebäude mit verschiedenen Gesichtspunkten (GKLAS, Typen, Subsektoren)	BFS
Baunormen	Verschiedene SIA-Normen und Merkblätter: 180, 380, 380/1, 387, 2024, 2028, 2032, 2040, 2048, 2056 Hinweis: aktuelle Versionen, aber auch frühere Versionen (bis Modellperiode 2000-2023) SIA 380 und SIA 380/1: Modellierung des Energieverbrauchs für Heizung und Warmwasser und einige Faktoren für eine solche Modellierung SIA 2024 (und SIA 2040): Daten für einen Teil des Stromverbrauchs und Daten für die interne Last und die Lüftung für die Heizung SIA 387: Beleuchtung SIA 2028: Klimadaten (Normjahr) SIA 180, SIA 2056 (und andere Normen und Merkblätter, die für die vorgenannten Berichte erforderlich sind): zusätzliche Informationen	SIA
Strassen (Ad-hoc)	<i>swissTLMRegio</i> Strassenlänge, Tunnellängen, Fläche, Parkplätze, etc.	swisstopo

5.1.3 Zusätzliche Quellen

Siehe Methodikkapitel und Literatur in vergangenen Ex-Post-Berichten: nebst den nachfolgend aufgeführten Quellen werden andere Studien (die nicht regelmässig aktualisiert werden) verwendet. Die wichtigsten Quellen sind folgende:

- SIA2024 (mit Expertendiskussion über die Aufteilung der SIA 2024-Räume in TEP-Teilsektoren)
- Minergie und GEAK: verschiedene Dokumente und Studien sowie einige Statistiken über die Umsetzung
- Kennwerte Gebäudekühlung, TEP i.A. EnergieSchweiz (2021)
- Parametervariation der Anforderungen für die Rückerstattung des Netzzuschlags: Analyse der finanziellen und energetischen Auswirkungen. TEP Energy/INFRAS 2016.

- Swiss Retail statistics
- Rechenzentren in der Schweiz – Stromverbrauch und Effizienzpotenzial (TEP i.A. Energie-Schweiz, 2021)
- TopTen.ch: die Entwicklung von Technologien und Normen
- WWF: Strassenbeleuchtung in den Hauptstädten der Kantone, die bisherige Entwicklung der Technologien und ihre Umsetzung

Andere Daten, hauptsächlich zur Kalibrierung verwendet (also nicht als direkte Eingabe)

Dataset	Use	Publisher
GEST <i>Gesamtenergiestatistik</i>	Tertiär und in begrenztem Umfang LWT, jährlich veröffentlicht	BFE
EIStat <i>Elektrizitätsstatistik</i>	Strassenbeleuchtung, andere Verbräuche in Verkehr, jährlich veröffentlicht	BFE
ErnStat <i>Statistik der Erneuerbaren Energien,</i>	Feinere Angaben zu Erneuerbaren Energieträgern	BFE, priv. Komm..
Ind.DL.Stat <i>Energieverbrauch in der Industrie und im Dienstleistungssektor</i>	Sowohl Hauptbericht als auch zusätzliche Tabellen mit NOGA2-Differenzierung, für Branchenverbräuche	BFE
ProCal/KlimaSchweiz	Validierung der Anzahl Heizungsanlagen, Grössenverteilung	ProCal

Einige der Dokumente (Jahresdaten) können zur Kalibrierung verwendet werden, z.B. Agrarbericht, SLG Monitoring, etc.

Darüber hinaus gibt es einen Austausch von Ergebnissen mit Prognos (Wohnmodell) zur Plausibilisierung, und andere Studien und Berichte können ebenfalls verwendet werden.

5.2 Wichtige Annahmen zu den Daten

- Viele Daten haben ein gewisses Mass an empirischer Grundlage. Einige wenige Datensätze, die in das Modell aufgenommen werden, um verschiedene Effekte zu simulieren, sind in der Realität nicht gut quantifiziert.
- Im Allgemeinen neigen wir dazu, die meisten Design- und Konstruktionsdaten eher pessimistisch zu sehen: problematische oder nicht-ideale Umsetzung, vielfältigere menschliche Verhaltensweisen, nicht-optimale Dimensionierung, vereinfachtes Standardmodell, etc. So wird beispielsweise das Luftaustauschvolumen in den Normen wahrscheinlich unterschätzt: Die Menschen neigen dazu, mehr als nötig manuell zu lüften (auch im Falle einer zentralen Lüftung), die Wartung der Fenster ist möglicherweise nicht ideal, so dass mehr Luft eindringt usw. Wir müssen von solchen zusätzlichen Faktoren ausgehen. Als Hilfe haben wir Experten vor Ort befragt, wir

vergleichen die Modellergebnisse mit Feldmessungen (externe Studien, Expertenschätzungen usw.).

- Auch die Innentemperatur ist variabel zwischen den verschiedenen Nutzern und kann tendenziell höher als die Standards eingestellt werden, z. B. in Büros, andererseits gibt es in einigen Gebäuden zusätzliche Räume, die nicht so stark beansprucht werden (z. B. in Gebäuden mit geringem Bedarf). Zu diesem Thema gehört auch die Energy Performance Gap (EPG): Messungen des Energieverbrauchs stimmen oft nicht mit den Standards überein, siehe z.B. Loga et al. (2015), und das hängt auch von verschiedenen sozioökonomischen Bedingungen ab (auch im oben zitierten Loga-Bericht). Das Nutzerverhalten (und die Anforderungen) sind sehr unterschiedlich (eine Berechnung mit Durchschnittswerten ergibt oft andere Ergebnisse als der Durchschnitt von mehreren Berechnungen mit Originalwerten).
- Das Modell implementiert zwei Tabellen zur «Zahlungsbereitschaft», eine für den Bereich Heizung und eine für den Bereich Gebäudehülle: Diese beinhalten die Präferenzen der Nutzer (die auch von Kampagnen und Informationen beeinflusst werden können), Zusatznutzen oder -kosten, die nicht im techno-ökonomisch begründet sind, sowie Vorlieben und Bequemlichkeit. In solchen Fällen gibt die Validierung mit erwarteten (und gemessenen) Entscheidungen zusammen mit 20 (und mehr) Jahren, die rückwärts modelliert werden, einen gewissen Einblick.

5.3 Wichtige Annahmen für die Modellierung

- Das Modell geht von einer homogenen Nutzung in jedem der 45 Sektoren aus (dennoch hat jedes Gebäude sein eigenes Alter, seine eigenen Entscheidungen, seine eigene Verbreitung von Klima- und Lüftungsanlagen, seine eigene Austauschrate von Komponenten und Geräten).
- Bei verschiedenen Inputs geht das Modell nur von einem einzigen homogenen tertiären Sektor aus (ohne Differenzierung nach Branchen).
- Auch für die meisten Daten wird die Schweiz als homogen betrachtet, nur wenige Daten weisen eine kantonale Differenzierung auf (wie Bodenfläche, kantonale Politik, Brennstoffbeschränkungen und -verfügbarkeit, Klima, aber nicht Wetter).
- Darüber hinaus haben alle Agenten (im Modell) dieselben Präferenzparameter für Entscheidungsmodelle (laufende Arbeiten für das Projekt BFE SWEET SURE). Ansonsten handelt es sich bei dem Entscheidungsmodell hauptsächlich um ein ökonomisches Entscheidungsmodell (das im Falle von Optionen mit ähnlichem Preis eine Alternative zulässt), nur mit WTP (Willingness To Pay) kann das Modell einige Benutzerpräferenzen implementieren.
- Die Entscheidungen im Modell berücksichtigen nur Daten aus der Gegenwart und der Vergangenheit, so dass zukünftige Verbote von fossilen Brennstoffen oder die zukünftige Erwartung des Energiepreises keinen Einfluss auf die Entscheidungen haben. Ausserdem trifft jeder Agent seine Entscheidungen unabhängig von anderen Agenten.

- Die Geometrien sind nicht sehr differenziert (ausser nach Gebäudetyp und eventuell Alter), und es wird von einfachen Geometrien ausgegangen. Dächer haben ebenfalls eine einfache Geometrie (entweder flach oder geneigt).
- Es gibt keine Nutzungsänderung in einem Gebäude, so dass neue Gebiete mit neuen Gebäuden geschaffen werden und keine Änderung der Zweckbestimmung, wie z. B. die Umwandlung von Häusern in Büros im zentralen Teil von Städten und Gemeinden.

5.4 Szenarien und Sensibilitäten

In der Ex-Post-Analyse werden verschiedene Sensitivitäten definiert, um die Auswirkungen verschiedener Einflussfaktoren auf den Energieverbrauch zu ermitteln, d.h. um die so genannten *Bestimmungsfaktoren* zu identifizieren.

Sensitivitäten:

Jede Sensitivität erfordert einen neuen Durchlauf des Modells. Wir versuchen, die meisten «echten» stochastischen Effekte zu eliminieren, indem wir eine Pseudo-Zufallsgenerierung verwenden und für jedes Gebäude und jeden Teil der Entscheidung einen vordefinierten Seed (Startpunkt) setzen (indem wir den Seed in Abhängigkeit von der Gebäudenummer, dem Jahr und dem Teil des Modells setzen), aber nicht alle Effekte können eliminiert werden. Die im Modell verwendeten Daten werden automatisch aus den Eingaben abgeleitet, indem es von konstanten Werten ausgeht und bei jeder Sensitivität neue Daten integriert.

Die folgende Tabelle beschreibt die verschiedenen Sensitivitäten und die Reihenfolge, in der die Sensitivitäten durchgeführt werden, und wie sie in Ex-Post-Sensitivitäten umgesetzt werden.

Die erste Sensitivität ist «Zero», es werden die gleichen Werte wie im Vorjahr verwendet, es wird kein neues Gebäude modelliert. Die meisten Ergebnisse sollten mit denen des Vorjahres übereinstimmen (mit Ausnahme der stochastischen und Fügeeffekte (Joint-Effekte)).

«W₂» ist das Endergebnis. Die Differenz zwischen zwei Sensitivitäten ist der «*Bestimmungsfaktor*».

«Joint-Effect» beschreibt die Effekte, die durch die obige Methode nicht modelliert wurden (meist aus stochastischen Gründen, durch die Schaffung neuer Agenten/Skalierung und andere nicht quantifizierte Effekte). Hinweis: Wir versuchen, sie durch eine verbesserte Modellierung auf Null zu reduzieren.

«0W» ist eine spezielle Sensitivität, bei der das Klima nicht korrigiert wird. Sie wird im Rahmen von Exkursen des Ex-Post-Berichts und für interne Plausibilitätsprüfungen verwendet.

Hinweis: Die Sensitivitäten prüfen Unterschiede zwischen den Vorjahren, so dass «W₁» und «W₂» den Energiebedarf mit dem Wetter des Vorjahres vergleichen wird, nicht mit dem neutralen Wetter.

Code	Ex-Post-	Sensitivität
Zero		Konstante Daten, Daten aus dem Vorjahr
M1	Menge	EBF, Beschäftigte, jeweils für den DL-Sektor total
St1	Struktur	EBF, Beschäftigte pro Branchengruppe
St2	Struktur	Strukturwandel kleine / grosse Arbeitsstätten (AST)
TP1	Tech. Pol.	Struktur Neubau vs. Bestand
M2	Menge	Ausrüstung mit Energiedienstleistungen pro Branchengruppe, AST, NB/Best.
M3	Menge	Auslastung
TP2	Tech. Pol.	Gebäude-, Anlagen- und Geräteerneuerung autonom
TP3	Tech. Pol.	Gebäude-, Anlagen- und Geräteerneuerung Politik / Preise
Sub1	Substitution	Substitution elektrisch / thermisch
Sub2	Substitution	Thermische Energieträger
W1	Witterung	Witterung Heizung
W2	Witterung	Witterung Air-Conditioning
oW		Keine Witterung
	Joint	Joint-Effect (Erläuterung siehe Text), als Differenz zwischen Zero und Vorjahr W2

5.5 Output Parameter

Für die Ex-Post-Analyse werden die folgenden Daten gespeichert:

- Endenergiebedarf: nach Energieträger, Teilsektoren, Gebäudealtersklasse, Energiedienstleistung, Sensibilität
- Anzahl der Heizungsanlagen (und nach Grössenklassen), zur Validierung
- Geschossfläche, nach Teilsektoren, Gebäudealtersklasse

5.5.1 Energieträger

HEL (Heizöl), Erdgas, Holz (inkl. Pellets, Chips), Elektrizität, Kohle, Fernwärme, Sonne³ (thermosolar), Biogas (als Biomethan), Umweltwärme

Anmerkung: Nahwärme (NW) wird als Technologie betrachtet, so dass die effektiven Energieträger des NW-Heizsystems in den Ergebnissen berücksichtigt werden.

³ Für die Warmwasserbereitung, eventuell auch als Hilfsenergie für die Raumheizung und Prozesswärme, aber nicht in der LWT für Gewächshäuser, und auch nicht als Strahlung (und Wärme) von Fenstern (in der Bilanz bei Anwendung der SIA 380/1-Methode berücksichtigt, aber nicht als Endenergie).

5.5.2 Sub-Sektoren

Sektor	Branche (Ex-Post)	Sub-Sektor (GPM)	Branche (Sub-Sub-Sektor) (GPM)	NOGA
DL	Gross- und Einzelhandel	Grosshandel	Lebensmittel	463
DL	Gross- und Einzelhandel	Grosshandel	Nicht-Lebensmittel	45, 461-462, 464-467, 469
DL	Gross- und Einzelhandel	Detailhandel	Food, grosser Laden oder Einkaufszentrum	471, 472, 473
DL	Gross- und Einzelhandel	Detailhandel	Food, Fachgeschäft klein	
DL	Gross- und Einzelhandel	Detailhandel	Non-Food, grosser Laden oder Einkaufszentrum	474-477
DL	Gross- und Einzelhandel	Detailhandel	Non-Food, Fachgeschäft klein	
DL	Gross- und Einzelhandel	Verkauf ausserhalb von Gebäuden	Wird im Ad hoc Modell berücksichtigt	478, 479
DL	Lagerhaltung, Hilfstätigkeiten für den Transport, Postdienste	Verkehr	Poststellen	53
DL	Lagerhaltung, Hilfstätigkeiten für den Transport, Postdienste	Verkehr	Postverteilzentren	
DL	Lagerhaltung, Hilfstätigkeiten für den Transport, Postdienste	Verkehr	Restlicher Verkehr	49-52
DL	Information und Kommunikation	IKT	Informations- und Kommunikationstechnik	58-63
DL	Unterkunft und Verpflegung	Beherbergung	Hotels	551
DL	Unterkunft und Verpflegung	Beherbergung	Ferienunterkünfte	552, 553, 559
DL	Unterkunft und Verpflegung	Gastronomie	Restaurants und Bars	561, 563
DL	Unterkunft und Verpflegung	Gastronomie	Caterer	562
DL	Finanz-, Versicherungs- und Immobilienwesen, Wissenschaft und Verwaltung	Finanzwesen	Finanzwesen	64-66
DL	öffentliche Verwaltung	öffentl. Verwaltung	öffentl. Verwaltung	84
DL	Bildung	Erziehungswesen	Volksschulen	851, 852, 853101
DL	Bildung	Erziehungswesen	Gymnasien	853102, 853103, 853200
DL	Bildung	Erziehungswesen	Hochschulen	854
DL	Bildung	Erziehungswesen	Sonstiger Unterricht	855, 856

DL	Gesundheit und Sozialarbeit	Gesundheitswesen	Krankenhäuser und Pflegeheime	861
DL	Gesundheit und Sozialarbeit	Gesundheitswesen	Arztpraxen	862
DL	Gesundheit und Sozialarbeit	Gesundheitswesen	Sonstiges Gesundheitswesen	869
DL	Gesundheit und Sozialarbeit	Gesundheitswesen	Sozialwesen	88
DL	Gesundheit und Sozialarbeit	Gesundheitswesen	Pflegeheime	871
DL	Gesundheit und Sozialarbeit	Heime und Soziales	Altersheime und stationäre psychosoziale Betreuung	872,873,879
DL	Finanz-, Versicherungs- und Immobilienwesen, Wissenschaft und Verwaltung	Unternehmensdienstleistungen	Unternehmensdienstleistungen	68-82
DL	Kunst, Unterhaltung und Erholung	Andere Dienstleistungen	Bibliotheken, Museen, botanische und zoologische Gärten	91
DL	Kunst, Unterhaltung und Erholung	andere Dienstleistungen	restliche andere Dienstleistungen	90, 92, 94, 95
DL	Kunst, Unterhaltung und Erholung	andere Dienstleistungen	persönliche andere Dienstleistungen	93, 96
LWT	LWT	Landwirtschaft	LWT	01,02,03

Anmerkungen:

- NOGA Nummer 97 und 98 gehören implizit zu den privaten Sektoren (z. B. Hausreinigung, Kochen im privaten Sektor, Herstellung von sonstigen Waren für den privaten Gebrauch)
- NOGA Nummer 99 (internationale Organisationen) ist implizit in «Erbringung von Finanz- und Versicherungsdienstleistungen, Grundstücks- und Wohnungswesen, Wissenschaft und Verwaltung» enthalten.

5.5.3 Energiedienstleistungen, «Verwendungszwecke»

GPM	Ex-Post-
Lighting	Beleuchtung
ICT office	I&K
ICT data centers	I&K
Air-conditioning	Klima
Ventilation	Klima
Circulation pumps and other heating auxiliaries	Klima
Elevators	Antriebe
Misc. building technologies	Antriebe
Cooking	Prozesswärme
Laundry	Antriebe
Refrigeration	Antriebe
Heating	Raumwärme
Hot water	Warmwasser

Ad-hoc Module	Ex-Post
Lighting street	Beleuchtung
Street tunnel	Sonstige
Rail infra	Sonstige
Snow	Sonstige
Übrige	Sonstige
Light Sport	Beleuchtung
IKT infra	I&K
Antriebe, Prozesse	Antriebe
Klima, Lüftung, Haustechnik	Klima
Beleuchtung	Beleuchtung
Sonstige	Sonstige
Raumwärme	Raumwärme
Light station	Beleuchtung
Light traffic	Beleuchtung
Light other	Beleuchtung
Tunnel lighting	Beleuchtung

Sensitivitäten: Die Sensitivitäten werden in dieser Reihenfolge durchgeführt. Intern wird «Zero» verwendet. «0W» wird für den Gebäudezusatz verwendet, siehe Abschnitt 5.4.

6

Qualitätssicherung

Die Ex-Post-Analyse hat den Vorteil, dass viele Statistiken zum Vergleich und zur Ableitung von Inputs und Ergebnissen zur Verfügung stehen und dass sie eine klare Aussagekraft hat. Nichtsdestotrotz fehlen viele Details, und die endgültigen Statistiken werden u.U. erst Jahre nach der Veröffentlichung des letzten Ex-Post-Berichts veröffentlicht, z.B. werden die Statistiken von STATENT und die Energieverbrauchserhebung Industrie und Dienstleistungen mit NOGA 2-Differenzierung mit einem Jahr Verzögerung veröffentlicht. Manche Daten des BFS sind als „provisorisch“ gekennzeichnet, und andere Branchendaten können auch nach Ex-Post-Berechnungen veröffentlicht werden.

Jedes Jahr versucht TEP, einen anderen Teil des Modells zu vertiefen und zu verbessern. Dies hat den Nachteil, dass sich dadurch oft die Werte der Vergangenheit ändern.

Hinweis: Für die Kalibrierung und Validierung wird der tertiäre Sektor, der vom Prognos-Wohnungsmodell modelliert wird, einbezogen. Die für die Kalibrierung und Validierung verwendeten Daten sind in Abschnitt 5.1 aufgeführt.

6.1 Kalibrierung

Ein Teil der Kalibrierung erfolgt zusammen mit der Validierung (die im nächsten Abschnitt beschrieben wird). Da wir über eine lange Zeitreihe statistischer Daten verfügen (2000 bis 2023), können wir nicht nur die Werte skalieren, sondern auch die dynamischen Parameter des Modells anpassen.

Einige Ad-hoc-Kalibrierungsfaktoren wurden dem Modell hinzugefügt, um besondere Ereignisse zu modellieren, wie die obligatorische Heimarbeit während einiger Zeiträume der COVID-Pandemie (und die Schliessung von Restaurants und Hotels) und die Energiekrise zu Beginn des Ukraine-Krieges. Das erste Ereignis wurde als kurzfristige «Volllaststunden» modelliert, die entsprechend den Schliessungstagen und dem Anteil der von der Schliessung betroffenen Personen pro Sektor reduziert wurden. Die zweite wurde als reduzierte Leistung aufgrund einer grossen Energiesparkkampagne berücksichtigt (die langfristigen Auswirkungen sind direkt im TEP GPM enthalten).

6.2 Validierung

Die Validierung erfolgt durch den Vergleich von Gesamtenergiestatistik (GEST), Elektrizitätsstatistik (EIStat) und Industrie und Dienstleistungs-Energieverbrauchsstatistik (IND-DL). Mit der EIStat können wir Ad-hoc-Modelle (und den Verkehrsteil) überprüfen, IND-DL wird auch zum Vergleich der sektoralen Energienachfrage verwendet. Vor dem Vergleich mit der GEST müssen wir einige Bereiche miteinbeziehen, die vom Prognos-Wohnungsmodell modelliert werden: Zweit- und Ferienwohnungen (im Gastgewerbe) und Gemeinschaftsräume (z. B. Beleuchtung, Waschmaschinen usw.) in Mehrfamilienhäusern (im Immobiliensektor).

Darüber hinaus vergleichen wir gemeinsam mit Prognos die Gesamtzahl der neu installierten Heizungsanlagen der beiden Modelle mit den ProCal-Daten.

Die sektoralen Daten helfen bei der Validierung der VZ, da sich die verschiedenen Branchen unterschiedlich entwickelt haben, aber wir gehen davon aus, dass jede VZ unabhängig von der Branche eine ähnliche Verbesserung aufweist.

6.3 Limitierungen

Die Schweiz besteht aus 26 Kantonen und somit 26 verschiedenen Energiepolitiken und vielen weiteren Versorgungsunternehmen mit eigenen Tarifen. Das GPM hat einige kantonale Differenzierungen: Verbote/Beschränkungen für fossile Brennstoffe, Potenziale der Brennstoffnetze (Gas, Fernwärme), Sanierungsraten (Wirkung der Klima- und Energiepolitik in den Kantonen (Müller et al., 2018) ; Motivationen für Investitionen in intelligente Technologien und Energieeffizienz, (Farsi et al., 2022) und Klimadaten (SIA 2028/DEnK), aber nur einen Energiepreis (pro Energieträger und Jahr) und eine allgemeine Politik (und Subventionen), die dem Standard der MuKE- und KlimaSchweiz-Daten folgt.

Viele Daten werden als Gesamtwerte angegeben, ohne sektorale Differenzierung, so dass Annahmen getroffen werden und es in den meisten Fällen unmöglich ist, die Konsistenz der Annahmen zu überprüfen, da andere Modelle andere Methoden verwenden.

6.4 Unsicherheiten

Der tertiäre Sektor ist sehr vielfältig. Ausserhalb der gängigsten (oder weniger vielfältigen) Sektoren (wie Bürogebäude, Einzelhandel, Hotels, Schulen und Krankenhäuser) sind die Gebäudenutzungen nicht gut bekannt (keine guten Daten). Zum Beispiel sind beheizte Fläche, Heiztemperatur, Belüftung, Beleuchtung in einem «Grosshandels»-Gebäude sehr vielfältig und daher mit wenigen Werten schwer zu erfassen.

Outsourcing ist eine Quelle von Unsicherheiten. Dies betrifft vor allem Schulen, Krankenhäuser und Hotels: manchmal ist das Waschen und Kochen im ursprünglichen Sektor enthalten, manchmal aber auch nicht (je nach Unternehmenszweig, der die Dienstleistung erbringt, also STATENT). Ebenso ist es bei der jüngsten «Cloudifizierung» schwierig zu quantifizieren, wie viel IT-Infrastruktur in den Gebäuden verbleibt, wie viel in der Cloud gespeichert wird, und in diesem Fall: wie viel davon in Schweizer Clouds.

Die Kohortendynamik ist unsicher (Rückbau alter Gebäude): Die Rückbauraten scheinen in vielen Studien unrealistisch niedrig (möglicherweise OK für Ex-Post, also für einen kurzen Zeitraum), andererseits deuten einige Daten auf zu viele Ersetzungen hin (Datenverzerrung: Änderungen können zu neuen Einträgen im GWR führen). Beide Datensätze lassen Gebäude, die nicht mehr genutzt werden (hauptsächlich in Randgebieten) aus.

Das Modell ist auch stochastisch, so dass ein gewisses Mass an Zufälligkeit in den Ergebnissen enthalten ist. Aufgrund der grossen Anzahl von Gebäuden sollte der Effekt im Allgemeinen gering sein,

aber die Kombination von kleineren Branchen und kleineren Energieträgern kann zu einer gewissen Unsicherheit führen. Aus diesem Grund ist es bis zu weiteren Studien nicht ratsam, stärker disaggregierte Daten (oder auch kantonale Daten) zu veröffentlichen.

6.5 Sensitivität

Der Bestimmungsfaktoren-Teil der Ex-Post-Analysen ist eine Art Sensitivitätsanalyse, die einen Einblick in die wichtigsten Parameter gibt. Ansonsten wurde die Sensitivitätsanalyse nur bei Ex-Ante-Läufen durchgeführt, bei denen die Unsicherheit der Parameter (und Szenarien) grösser ist. Das Ergebnis zeigt, dass die Bezugsfläche, die Innentemperatur, die Lüftungsmengen (und die Effizienz der Wärmerückgewinnung) die wichtigsten Faktoren sind. Klimaanlage (Anteil), Warmwasserbedarf und Kühltürme (Prozesskühlung) sind in einigen Sektoren relevant.

7

Allgemeines

7.1 Umsetzung

Das TEP GPM wird intern bei TEP entwickelt, wobei eine Vielzahl von Teilmodellen zusammengeführt und ersetzt werden. Derzeit (2024) werden Ein- und Ausgaben in Microsoft Excel verarbeitet, um die Datenqualität zu bewerten, Ausreisser zu korrigieren und die Daten auf der richtigen Ebene zu aggregieren/disaggregieren.

Gebäudeerzeugung, Gebäudekomponenten (und -materialien), Wärmebedarf, Strommodule usw. sind vollständig in denselben Code und dieselbe Dynamik integriert (TEP GPM Schweiz).

Es gibt drei gleichwertige Implementierungen: Visual Basic, Python und C++. Sie alle verwenden keine speziellen Bibliotheken, sondern nur die Schnittstelle (Benutzer und Dateneingabe/-ausgabe). Hilfsprogramme und Dienstprogramme sind in Python geschrieben, einige von ihnen verwenden Pandas-Bibliotheken (Handhabung von Daten-Frames und einige Ein-/Ausgaben), openpyxl (Schnittstelle zu .xlsx-Dateien), pythoncom/win32com (Schnittstelle zu .net und Microsoft Excel-Anwendungen)

Seit 2024 gibt es ein Shell-Skript in GNU Bash, das es ermöglicht, alle Module und Hilfsprogramme in einer vordefinierten Reihenfolge auszuführen, um einen kompletten Lauf mit allen Sensitivitäten durchzuführen: vom Importieren von Daten aus Microsoft Excel in csv-Dateien, Kompilieren und Ausführen des Modells, Speichern von Code-Änderungen und Daten, Exportieren nach Microsoft Excel und automatisches Aktualisieren von Links auf relevante Ausgabedateien.

7.2 Zugang

Das TEP GPM ist ein firmeneigenes Programm von TEP Energy.

7.3 Anwendungsbereiche

Das TEP GPM wurde erstellt, um alle Gebäude in der Schweiz zu modellieren, sowohl für die künftige Entwicklung (ex-ante) mit der Berechnung von Szenarien als auch für den Ex-Post-Teil (hier beschrieben), um den Verbrauch der Vergangenheit auf die Verwendungszwecke aufzuteilen und die Wirkung der Bestimmungsfaktoren zu analysieren: Es gibt einen gemeinsamen Code und einige Flags, um Bestimmungsfaktoren und die Methode für die Nachrüstungsrate der Gebäudehülle zu bestimmen.

Vom Modell TEP GPM stehen verschiedene weitere Versionen zur Verfügung:

- TEP GPM Schweiz Ex-Ante: Berechnung von verschiedenen Szenarien der zeitlichen Entwicklung bis 2060. Hierbei kann auch der Effekt einzelner Politikmassnahmen abgebildet werden.
- TEP GPM mit den Modulen Graue Energie, Graue Emissionen (embodied emissions) und Materialien: mit diesen Modulen werden die Auswirkungen von Neubau, Ersatzneubau und Gebäudeerneuerung auf die indirekten Energieverbräuche (z.B. in Fernwärmenetzen) und Emissionen, auf die Energieverbräuche und Emissionen der vorgelagerten Ketten sowie auf die Materialflüsse abgebildet.
- TEP GPM Kantone
- TEP GPM für Gemeinden: in dieser Version werden die geo-referenzierten Gebäude aus einer externen Datei eingelesen werden, und wenn ein Datenfeld (Gebäudeattribut) aussagekräftige Daten enthält, werden diese anstelle von synthetisch erzeugten Daten verwendet. Der dynamische Teil bleibt unverändert (allerdings können durch Flags einige Auswahlmöglichkeiten deaktiviert oder spezifische Massnahmen hinzugefügt werden).

Das Modell kann den jährlichen Energiebedarf von 2000 bis 2060 berechnen.

7.4 Wichtige Referenzprojekte

Das Schweizer GPM-Modell wurde in verschiedenen Projekten eingesetzt, hier eine Auswahl, deren Abschlussberichte (oder technische Berichte) weitere Dokumentationen der Modellmethoden und Daten enthalten.

- *Ex-Post-Analyse (BFE)*:
 - seit 2010 durch TEP, vorher bei CEPE. Die Modellierung folgte der Entwicklung der CEPE- und TEP-Modellierung. Ad-hoc-Modellstruktur wurde vor Ex-Post-2008 bei CEPE definiert.
- *Netto-Null Treibhausgasemissionen im Gebäudebereich (NN THGG) – F1 Top down Betrachtungen* (Jakob & Stettler, 2023).
 - Berechnung der direkten, der indirekten und der sog. Emissionen Erstellung (embodied emissions) sowie der wichtigsten Materialflüsse von Neubau, Ersatzneubau und Gebäudeerneuerung für verschiedene Szenario-Varianten bis 2050 (aufbauend auf dem Projekt GEPAMOD).
- *Erweiterung des Gebäudeparkmodells gemäss SIA-Effizienzpfad Energie* (Martin Jakob et al., 2016)
 - (GEPAMOD) erstes Projekt, das die meisten Teilmodule in aktueller Form enthält. Der Bericht enthält Details zu Treibern und Gebäudegeometrien. Hinweis: Es beinhaltet auch die Graue Energie und die Grauen Emissionen (nicht Teil von Ex-Post).
- *Potenzialabschätzung von Massnahmen im Bereich der Gebäudetechnik* (Jakob et al., 2016)
 - parallel zum vorherigen Projekt durchgeführt: Fokus auf Gebäudetechnik (Elektrizität: Diffusionen und ESO)

- *Auswirkungen eines subsidiären Verbots fossiler Heizungen (Iten et al., 2017)*
 - o Beginn der kantonalen Differenzierung
- *Energieperspektiven 2050+ (Prognos et al., 2021)*
 - o Viele Verbesserungen an Modell und Daten (Politik, Kosten, Dynamik), Implementierung von Energiezonen (nach Kantonen) aus georeferenzierten Daten. Die GEPAMOD-Struktur wurde an das Modell aus dem Jahr 2000 angepasst (dies ist also das erste von GEPAMOD abgeleitete Modell, das in Ex-Post-verwendet wird). Refactor Ad-hoc-Modellierung (um in Zukunft Energieeinsparungen zu ermöglichen, aber auch BF für Ex-Post)
- *SWEET SURE Forschungsprojekt (BFE, laufend)*
 - o Weitere Verbesserungen (Automatisierung, Kalibrierung, geografische Differenzierung, Hinzufügen von unterschiedlichem Verhalten je nach Eigentübertyp)

7.5 Wichtigste Literatur

Neben der Literatur in Abschnitt 5.1 (verwendete Daten) und dem vorhergehenden Abschnitt 7.4 (wichtige Projekte), die auch Methoden und Daten zur projektspezifischen Verbesserung beschreiben können, gibt es weitere methodische Arbeiten:

- *Weiterentwicklungen des Gebäudebestandsmodells (Nägeli Claudio, 2013)*
 - o Masterarbeit von Claudio Nägeli: GPM in moderner Form: Implementierung und Beschreibung von Entscheidungsmodellen und den dazugehörigen Daten.
- *Elektrizitätsnachfrage im europäischen Dienstleistungssektor: eine detaillierte Bottom-up-Schätzung nach Sektoren und Endverbrauch (Fleiter et al., 2010) Konferenzband der IEECB 13-14.04.2010, Frankfurt*
 - o Beschreibung von FORECAST, Basis von wenigen VZ. Siehe auch <https://www.forecast-model.eu> und Publikationsliste in <https://www.forecast-model.eu/forecast-en/content/publications.php>

8

Ad-hoc-Modell mit Ad-hoc-Modulen

Das in den vorangehenden Kapiteln beschriebene TEP-GPM konzentriert sich auf den Gebäudebestand und damit auf den Verbrauch innerhalb von Gebäuden / im Zusammenhang mit Gebäuden. Um eine vollständige Abbildung des tertiären Sektors zu erhalten, gibt es eine Reihe kleinerer Tools, um den Energiebedarf (und die Bestimmungsfaktoren) für die Energienutzung ausserhalb von Gebäuden zu ermitteln. Hierbei handelt es sich vornehmlich um strombasierte Verwendungszwecke, z. B. Strassenbeleuchtung und andere Aussenbeleuchtungen (z. B. Parkplätze, Sportplätze usw.), Strassentunnel (Belüftung, Beleuchtung), Schneekanonen, Telekommunikationsinfrastruktur (Antennen, Schalter etc.) usw. Auch spezielle Gebäudeanwendungen wie die Beleuchtung in Parkhäusern und Tiefgaragen sowie verschiedene Anwendungen in der Landwirtschaft werden mit Modulen des sog. Ad-hoc-Modells abgedeckt. Die nachfolgende Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die im Rahmen der Ex-Post-Analysen eingesetzten Ad-hoc-Module. Auf die wichtigsten davon wird in den nachfolgenden Unterkapiteln näher eingegangen.

Tabelle 1 Übersicht über die Ad-hoc-Module

Ad-hoc-Modell output	VZ Ex-Post-	Beschreibung
Dienstleistungssektor		
Lighting street	Beleuchtung	Öffentliche Strassenbeleuchtung (wie in der El.Stat.)
Street tunnel	Sonstige	Lüftungen
Rail infra	Sonstige	Bahninfrastruktur
Snow	Sonstige	Schneekanonen
Other	Sonstige	Verschiedene, anderweitig nicht modellierten, tertiäre Verwendungen
Light Sport	Beleuchtung	Beleuchtung auf Sportplätzen
IKT infra	I&K	Antennen, Telefonschalter/Repeater
Light station	Beleuchtung	Beleuchtung an Bahnhöfen
Light traffic	Beleuchtung	Beleuchtung auf Aussen-Parkplätzen, Flughäfen, Tankstellen etc.
Light other	Beleuchtung	Andere Aussenbeleuchtung (Ambiente, Denkmäler, Aussenbereiche von Restaurants usw.)
Tunnel lighting	Beleuchtung	Beleuchtung in Strassentunnels
Landwirtschaftssektor		
Antriebe, Prozesse	Antriebe	Verschiedene Prozesse, z.B. Milchproduktion und Kühlung
Klima, Lüftung, Haustechnik	Klima	Auf nicht beheizten Gebäuden
Beleuchtung	Beleuchtung	Aussenbeleuchtung, Beleuchtung in nicht beheizten Gebäuden (Ställe, Treibhäuser, etc.)
sonstige	Sonstige	Andere nicht differenzierte Verwendungen
Raumwärme	Raumwärme	Gewächshäuser, Ställe, etc.

8.1 Ad-hoc-Beleuchtung

Die Energieverbrauchsdaten der folgenden Bereiche werden direkt aus dem Bericht *Stromverbrauch für Beleuchtung in der Schweiz 2012 bis 2022* (Gasser, 2022) (in diesem Abschnitt «Beleuchtungsmonitoring») importiert, mit folgender Differenzierung:

- Strassenbeleuchtung wie in der El.Stat (Kategorie «öffentliche Beleuchtung»): Anmerkung: dieselben Daten werden auch im Beleuchtungsmonitoring verwendet, aber mit einiger Verzögerung veröffentlicht.
- Beleuchtung für Sport im Freien, siehe Tabelle «Aussen-Sportplätze» im Beleuchtungsmonitoring.
- Beleuchtung in Bahnhöfen und sonstige Bahnbeleuchtung als 30% von «Lampen», siehe Tabelle: «Übrige Aussenbeleuchtung» im Beleuchtungsmonitoring.
- Sonstige Beleuchtung in Verkehrsbereichen: Parkplätze, Industrie- und Gewerbegebiete, angenommen mit 60% der «Lampen» in «Übrige Aussenbeleuchtung» im Bericht Beleuchtungsmonitoring plus 80% der «LED-Leuchten: Strassen» gemäss dem Beleuchtungsmonitoring.
- Sonstige Beleuchtungen (z.B. Ambiance-Beleuchtung), z.B. für die Beleuchtung von Denkmälern, Gärten (z.B. von Restaurants), Parks, Wegen auf Privatgrundstücken (sofern diese im tertiären Sektor zu betrachten sind) etc. Der Verbrauch im Dienstleistungssektor wird wie folgt berechnet:
 - o 10% der «Lampen» in «Übrige Aussenbeleuchtung»
 - o 20% der «LED-Leuchten»: Strassen
 - o 100% der «LED-Leuchten»: Aussenscheinwerfer
 - o 20% der «LED-Leuchten»: Aussen Ambiance. Hinweis: Der Rest ist nicht hier berücksichtigt, da bereits im Wohnbereich eingesetzt (z.B. zur Beleuchtung von Wegen, Haustüren etc.) oder bereits in der Statistik innerhalb von Gebäuden berücksichtigt (da keine spezifische Messung).
- Tunnelbeleuchtung, Tabelle "Aussenbeleuchtung: Tunnel» im Beleuchtungsmonitoring.

Für die Schätzung von Mengen, Betriebsstunden und installierter Leistung werden andere technische Daten aus dem Beleuchtungsmonitoring und eigene Schätzungen verwendet. Für die Schätzung der Zeitreihen 2000-2023 werden auch die ASTRA-Publikationen über Tunnel (Teilstatistiken), die Daten von SwissTMLRegio (Swisstopo und eigene GIS-Analysen) und der Bericht «Sportanlagestatistik 2012» des BASPO (Balthasar et al., 2013) verwendet.

8.2 Strassentunnel

Aus den ASTRA-Jahresberichten verfügen wir über eine relativ lange Zeitreihe, aus der wir die Tunnellänge (in km) der Nationalstrassen ableiten. Mit *SwissTMLRegio* (Swisstopo) leiten wir die effektive Tunnellänge nach Strassenkategorie (und Tunnellänge) für das Jahr 2022 ab, was uns hilft, die ASTRA-Werte (Nationalstrassen) für alle Strassentunnel (auch kantonale und kommunale) zu skalieren.

Darüber hinaus verfügen wir über einige wenige Punktdaten zum Energieverbrauch einiger der längsten Tunnel (z.B. aus Sonderberichten, Exkursen), die uns eine Schätzung der Verbesserungsrate pro Jahr, aber auch (nach unten skaliert: kürzere Tunnels sind weniger komplex) einen Verbrauch pro Kilometer ermöglichen.

8.3 Technische Pistenbeschneigung (“Schneekanonen”)

Es gibt nur wenige Daten über Skipisten mit technischer Beschneigung und nur einige Schätzungen über den Energiebedarf pro Kilometer (Schneeproduktion, aber auch das Pumpen und Lagern von Wasser im Sommer). Die Daten werden im Zeitablauf immer ungenauer und fehlen oft. Der letzte gute Bericht ist «*Energetische Bedeutung der technischen Pistenbeschneigung und Potenziale für Energieoptimierungen*» (Lang, 2008), und wenige Aktualisierungen zu Pistenlängen mit Kunstschnee in den Berichten des Verbands *Seilbahnen Schweiz*.

8.4 IKT Infrastruktur

In dieser Kategorie modellieren wir die IKT-Infrastruktur ausserhalb von Gebäuden, d.h. ohne Bürogeräte, Serverräume und Rechenzentren. Dieses Modul umfasst also die Energie, die für Telefon-Ortszentralen, für den Betrieb der verschiedenen Kommunikationsnetze, für Radio- und Fernsehantennen, für Mobilfunkantennen usw. verbraucht wird. Bei den Daten dazu handelt es sich grösstenteils um Expertenschätzungen. Die Mengeneffekte werden anhand der Netzinfrastruktur und der Anzahl der aktiven Antennen geschätzt.

8.5 Übrige

Dieses Modul umfasst die Differenz zwischen dem Verbrauch der Kategorie «übriger Verkehr» der El.Stat. und den Ergebnissen der Ad-hoc Modelle, die nach unserer Einschätzung in diese Kategorie fallen sollten. Diese Kategorie umfasst immer noch 66% des übrigen Verkehrs der El.Stat. und bedarf weiterer Untersuchungen. Einige dieser Verbräuche könnten in den Bereich Industrie fallen (Trinkwasserpumpen, Abwasserentsorgung/Pumpen).

Zur Kategorie gehören: ÖV-Fahrkartenautomaten, Parkgebührenautomaten, Verkaufsautomaten, Überwachungskameras, städtisches WLAN (solange es nicht zur IKT-Infrastruktur gehört), öffent-

liche Defibrillatoren, Signale und Verkehrskontrolle, automatische Tore, Aussensorik (im Allgemeinen), Wetterüberwachung, Radar, etc.

8.6 Landwirtschaftssektor

Die Energie des primären Sektors, d.h. des Sektors Landwirtschaft LWT, wird mit zwei verschiedenen Modellen berechnet, zum einen mit dem TEP GPM Schweiz und zum anderen mit einem Ad-hoc-Modell, das landwirtschaftliche Statistiken (Gewächshäuser, Ställe usw.) und einige Indikatoren verwendet. Die Ergebnisse der beiden Modelle werden zur Berechnung des Verbrauchs im Landwirtschaftssektor (ohne Treibstoffe) verwendet.

Die Endergebnisse des gesamten primären Sektors werden mit der GEST als «*Landwirtschaft und statistische Differenzen*» und dem jährlich vom Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) veröffentlichten «*Agrar-Bericht*» validiert, aber es verbleibt eine hohe Unsicherheit, insbesondere bei den Verwendungszwecken und den Bestimmungsfaktoren sowie bei den Energieträgern mit geringem Anteil.

9

Technische Umsetzung

9.1 Vorbereitung der Daten

Das Hauptdatenformat für die Dateneingabe ist Microsoft Excel, wobei die Daten aus verschiedenen Quellen oder dem GIS-Analysemodul verknüpft (oder kopiert) werden können. Fehlende Jahre werden interpoliert/extrapoliert und eine erste Validierung wird manuell vorgenommen.

9.2 Modellläufe

Ein Shell-Skript («*bash*») sorgt für die automatische Ausführung aller Schritte (die im Bedarfsfall auch manuell durchgeführt werden können):

1. Die Eingabetabellen werden mit Hilfe eines Python-Skripts aus Microsoft Excel-Dateien in eine CSV-Datei extrahiert (eine für jede Eingabetabelle).
2. Der GPM-Code wird geprüft, kompiliert und die Referenz der Codeversion wird im Ergebnisverzeichnis gespeichert.
3. Das GPM wird ausgeführt und es werden CSV-Dateien als Ausgabe erzeugt. Für die Ex-Post-Analysen verwenden wir die VisualBasic-Version des GPM. Die ausführbare Datei berechnet automatisch alle Sensitivitäten, eine nach der anderen.
4. Die Ergebnisse werden mithilfe eines Python-Skripts in Excel-Dateien umgewandelt.
5. Die Links zu den endgültigen Ergebnisdateien und den Validierungsdateien werden aktualisiert, einschliesslich der Verknüpfung mit dem Ad-hoc-Modell (Python-Skript). In diesem Schritt werden die sog. Energiedienstleistungen des Modells den «Verwendungszwecken» gemäss Definition der Ex-Post-Analysen (siehe 5.5.3) zugeordnet und die Sensitivitäten zu den Ex-Post-«Bestimmungsfaktoren» (siehe 5.4) aggregiert.

Ein kompletter Durchlauf mit allen Sensitivitäten dauert einige Stunden und man braucht viele Durchläufe mit manuellen Anpassungen, um das Model zu kalibrieren.

Hinweis: Ad-hoc-Modelle werden direkt in Excel implementiert, so dass die Verknüpfungen vor dem endgültigen Lauf aktualisiert werden sollen.

10

Anhang

	M1	St1	St2	TP1	M2	M3	TP2	TP3	Sub1	Sub2	W1	W2
	EBF, Beschäftigte, jeweils für den DL-Sektor total	EBF, Beschäftigte pro Branche-gruppe	Strukturwandel kleine / grosse Arbeitsstätten (AST)	Struktur Neubau vs. Bestand	Ausrüstung mit Energie-dienstleistungen pro Branche-gruppe, AST, NB/Best.	Auslastung	Gebäude-, Anlagen- und Geräte-erneuerung autonom	Gebäude-, Anlagen- und Geräte-erneuerung Politik / Preise	Substitution elektrisch / thermisch	Thermische Energieträger	Witterung Wärme	Witterung Kälte
In_BR_Subsidies								X				
In_BR_WillingnessToPay							X					
In_BuildingGeometry			X									
In_Choices_BR							X					
In_ClimateCorr											X	
In_ClimateHDD												CDD
In_EC_GHG								X				
In_EC_PEFnon								X				
In_EC_PEFtot								X				
In_EK_EL_2050_Ref							X					
In_El_Lighting							X					
In_ElBasis					diffusion							
In_ElBasisPower						x						
In_ElBasisTime						x						
In_Employee	tot sector	by sss										
In_EnergyPrices								X		??		
In_ESO								X				
In_FloorspaceEmployee	tot sector	by sss										
In_GA_Heating							X					
In_HS_Availability_Restriction									X			
In_HS_AvailabilityFactors									X			
In_HS_MixedFuel										X		
In_HS_Subsidies										X		
In_HS_WillingnessToPay										X		
In_HS_WillingnessToPayNB										X		
In_HW_Efficiencies							X					
In_HW_RedFactor								X				
In_InitialHS_KT_BP				X								
In_InitialHS_WithSolar				X								
In_InitialHW_KT_BP				X								
In_InterestRate							X					
In_InvestCosts_BR							X					
In_InvestCostsAlt_BR							X					
In_RH_Efficiencies							X					
In_RH_EFFLevel							X					
In_RH_RedFactor								X				
In_ShareKonstSystem				X								
In_ShareKonstTyp				X								
In_ShareRoofBasement			X									
In_UValStandards							X					
In_Ventilation								X				
In_Weibull							X					

Abbildung 1 Relationship between input tables and sensitivities. Input tables which are not relevant (not energy related or no timeseries) are not shown.

11

Literatur

- Balthasar, A., Bieri, O., Laubereau, B., Arnold, T., Rütter, H., Höchli, C., Rieser, A., Stettler, J., & Wehrli, R. (2013). *Sportanlagenstatistik Schweiz 2012 – Kurzbericht*. Interface, Rütter+Partner und Hochschule Luzern i.A. Bundesamt für Sport.
- BFE (2009). *Energetische Bedeutung der technischen Pistenbeschneigung und Potenziale für Energieoptimierungen*.
- BFE (2024). *Elektrizitätsstatistiken*.
- BFS (2004). *Eidgenössische Volkszählung 2000. Gebäude, Wohnungen und Wohnverhältnisse*. BFS.
- Del Taglia, C., Sommer, S., Chalimourda, A., Madonna, E., & Bächlin, L. (2023). *Energieverbrauchsstatistik in der Industrie und im Dienstleistungssektor*.
- energieschweiz (2021). *Handlungsleitsätze für Netto Null und 2000 Watt für Städte und Gemeinden, und alle anderen Akteure auf dem Weg zum Ziel*. https://www.local-energy.swiss/dam/jcr:eef2200d-8620-45d5-88a6-6c4250146adc/2021-11-24_ECHfG_2000WG_Handlungsleitsaetze.pdf
- Farsi, M., Jakob, M., Weber, S., Maciosek, B., & Müller, J. (2022). *Motivations for Investment in Smart Technologies and Energy Efficiency - The Case of Residential Buildings*. Université de Neuchâtel und TEP Energy i.A. BFE.
- Fleiter, T., Hirzel, S., Jakob, M., Barth, J., Quandt, L., Reitze, F., & Toro, F. (2010). *Electricity demand in the Euro-pean service sector: a detailed bottom-up estimate by sector and by end-use, Konferenzband der IEECB 13-14.04.2010*.
- Gasser, S. (2022). *Stromverbrauch für Beleuchtung in der Schweiz 2012 bis 2022*.
- Iten, Jakob, Wunderlich, Sigris, Catenazzi, & Reiter (2017). *Auswirkungen eines subsidiären Verbots fossiler Heizungen – Grundlagenbericht für die Klimapolitik nach 2020*. Infrac, TEP Energy i.A. BAFU.
- Jakob, M., Berti, D., & Catenazzi, G. (2024). *Energetische Erneuerungsraten im Gebäudebereich in der Periode von 2010 bis 2020 - Entwurf Schlussbericht*.
- Jakob, M., Catenazzi, G., Melliger, M., Forster, M., Martius, G., & Ménard, M. (2016). *Potenzialabschätzung von Massnahmen im Bereich der Gebäudetechnik*. Bundesamt Für Energie. <http://www.news.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/42510.pdf>
- Jakob, M., Martius, G., Catenazzi, G., & Berleth, H. (2014). *Energetische Erneuerungsraten im Gebäudebereich – Synthesebericht zu Gebäudehülle und Heizanlagen*. TEP Energy i.A. Bundesamt für Energie.
- Jakob, M., Ménard, M., Catenazzi, G., Müller, J., Schmid, J., Weinberg, L., Zulliger, D., Roost, M., Lamster, J., & Wüthrich, T. (2022). *Low-Invest-Cost Sanierungen (LICS). Potenziale und Limitationen von bestehenden und neuen Lösungen für Low-Invest-Cost Sanierungen zur Erreichung eines tiefen CO₂- Grenzwerts bei Bestandsbauten. Schlussbericht*. TEP Energy, Low-Tech Lab und Durable i.A. BFE.
- Jakob, M., & Stettler, C. (2023). *Netto-Null Treibhausgasemissionen im Gebäudebereich - Methodische Fragen. Zwischenbericht*. Bundesamt für Energie (BFE). <https://www.aramis.admin.ch/Default?DocumentID=70739&Load=true>

- Loga, T., Stein, B., Diefenbach, N., & Born, R. (2015). *Deutsche Wohngebäudetypologie Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden*. Institut Wohnen und Umwelt GmbH (Hrsg.).
- Martin Jakob, Giacomo Catenazzi, & Remo Forster. (2016). *Erweiterung des Gebädeparkmodells gemäss gemäss SIA-Effizienzpfad Energie*.
- Müller, M., De Sanctis, G., & Perch-Nielsen, S. (2018). *Wirkung der Klima- und Energiepolitik im Gebäudebereich in den Kantonen: Technischer Bericht zum Wirkungsmodell*.
- Nägeli, C., Camarasa, C., Delghust, M., Fennell, P., Hamilton, I., Jakob, M., Langevin, J., Laverge, J., Reyna, J. L., Sandberg, N. H., & Webster, J. (2022). Best practice reporting guideline for building stock energy models. *Energy and Buildings*, 260, 111904.
<https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2022.111904>
- Nägeli Claudio. (2013). *Further Developing the Building Stock Model* [Master Thesis]. ETH.
- NOGA (2008). *NOGA 2008: Allgemeine Systematik der Wirtschaftszweige: Erläuterungen*. BFS.
- Prognos, TEP Energy, Infrac, & Ecoplan (2021). *Energieperspektiven 2050+ Gesamtdokumentation der Arbeiten*. i.A. BFE.
- SIA (2024). *Raumnutzungsdaten für die Energie- und Gebäudetechnik Norm 2024*.
- SIA (2015). *Grundlagen für energetische Berechnungen von Gebäuden Norm 380*.
- SIA (2016). *Heizwärmebedarf - Korrigenda C1 zur Norm SIA 380/1:2016*.
- Witterungsbereinigung auf Basis von Gradtagen und Solarstrahlung (2015). *Swiss Federal Office of Energy (SFOE)*.
- Wüest Partner (2012). *Dokumentation zur Berechnung der Energiebezugsflächen (EBF)*.