



Dezember 2024

Methodenbericht Ex-post-Analysen Energieverbrauch

Dokumentation des Modells für den
Sektor Private Haushalte

Methodenbericht Sektor Private Haushalte

Dokumentation des
Prognos RESidential Sector Model (ProgRESS)

Von
Andreas Kemmler (Prognos AG)
Im Auftrag des
Bundesamtes für Energie (BFE)
Abschlussdatum
November 2024

Das Unternehmen im Überblick

Prognos – wir geben Orientierung.

Sachliche Variante: Die Prognos AG ist eines der ältesten Wirtschaftsforschungsunternehmen Europas. An der Universität Basel gegründet, forschen Prognos-Expertinnen und -Experten seit 1959 für verschiedenste Auftraggeber aus dem öffentlichen und privaten Sektor – politisch unabhängig, wissenschaftlich fundiert. Die bewährten Modelle der Prognos AG liefern die Basis für belastbare Prognosen und Szenarien. Mit über 200 Expertinnen und Experten ist das Unternehmen an zehn Standorten vertreten: Basel, Berlin, Bremen, Brüssel, Düsseldorf, Freiburg, Hamburg, München, Stuttgart und Wien. In Wien sitzt die Prognos Europe GmbH, unsere Tochtergesellschaft in Österreich. Die Projektteams arbeiten interdisziplinär, verbinden Theorie und Praxis, Wissenschaft, Wirtschaft und Politik.

Geschäftsführer

Christian Böllhoff

Präsident des Verwaltungsrates

Dr. Jan Giller

Handelsregisternummer

CH-270.3.003.262-6

Mehrwertsteuernummer/UID

CH-107.308.511

Rechtsform

Aktiengesellschaft nach schweizerischem Recht; Sitz der Gesellschaft: Basel-Stadt
Handelsregisternummer
CH-270.3.003.262-6

Gründungsjahr

1959

Arbeitssprachen

Deutsch, Englisch, Französisch

Hauptsitz der Prognos AG
in der Schweiz

Prognos AG

St. Alban-Vorstadt 24
4052 Basel

Weitere Standorte der
Prognos AG in Deutschland

Prognos AG

Goethestr. 85
10623 Berlin

Prognos AG

Domshof 21
28195 Bremen

Prognos AG

Werdener Strasse 4
40227 Düsseldorf

Prognos AG

Heinrich-von-Stephan-Str. 17
79100 Freiburg

Prognos AG

Rödingsmarkt 9
(c/o Mindspace | 2. Etage)
20459 Hamburg

Prognos AG

Nymphenburger Str. 14
80335 München

Prognos AG

Eberhardstr. 12
70173 Stuttgart

Standort der Prognos AG
in Belgien

Prognos AG

Résidence Palace, Block C
Rue de la Loi 155
1040 Brüssel

Tochtergesellschaft
in Österreich

Prognos Europe GmbH

Walcherstrasse 11
1020 Wien

info@prognos.com | www.prognos.com | www.linkedin.com/company/prognos-ag

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	V
1 Einleitung	1
2 Überblick	1
3 Modell-Design	4
3.1 Konzeptionelle Gestaltungsprinzipien	4
3.2 Struktur und Funktionsweise der Teilmodelle	5
3.2.1 Wohngebäudemodell	5
3.2.2 Elektrogeräte-Modell	7
3.3 Zentrale Treiber und Einflussfaktoren	10
3.4 Faktorzerlegung	12
4 Inputs und Outputs	13
4.1 (Exogene) Inputs	13
4.2 Outputs	14
5 Weitere Punkte	15
5.1 Akteure	15
5.2 Abbildung bzw. Berücksichtigung von Politikinstrumenten	15
5.3 Unsicherheiten und Validierung	16
5.4 Kalibration	16
5.5 Vergleich mit weiteren Publikationen	17
5.6 Treibhausgas-Emissionen	17
5.7 Software und Programmiersprache	18
5.8 Open Source	18

Abkürzungsverzeichnis

BFE	Bundesamt für Energie
BFS	Bundesamt für Statistik
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
EZFH	Ein- und Zweifamilienhaus
GWR	Gebäude- und Wohnungsregister
GWS	Gebäude- und Wohnungsstatistik
MFH	Mehrfamilienhaus
MuKE	Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich
N ₂ O	Distickstoffmonoxid oder auch Lachgas
NWG	Nichtwohngebäude
ProgRESS	Prognos-RESidential-Sector-Model
SETW	Statistik der Energieträger von Wohngebäuden
SLG	Schweizerische Licht Gesellschaft
u. a.	unter anderem
THG	Treibhausgase

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 (INFRAS 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 Sektor Private Haushalte 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).¹

2 Überblick

Mit dem von der Prognos AG entwickelten Prognos-RESidential-Sector-Model (ProgRESS) können der Endenergieverbrauch und die Treibhausgas(THG)-Emissionen des Sektors Private Haushalte auf nationaler Ebene quantifiziert und nach Anwendungen und Energieträgern dargestellt werden. Es handelt sich um ein Bottom-up-Simulations-Modell, welches eine Vielzahl an Technologien und partiell auch ökonomische Entscheide abbilden kann.

Das Modell kann für die Analyse und Strukturierung des Energieverbrauchs im Ex-Post-Zeitraum genutzt werden (Ex-Post-Analysen). Es kann aber auch für Szenarien der zukünftigen Energieverbrauchsentwicklung genutzt werden, wie beispielsweise im Rahmen der Energieperspektiven 2050+.² Es eignet sich dabei sowohl für Trendfortschreibungen, Instrumenten-basierte

¹ Nägeli et al. (2022): Best practice reporting guideline for building stock energy models. Energy and building. Volume 260, 1 April 2022, 111904

² <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/politik/energieperspektiven-2050-plus.html>

Szenarien, als auch für Zielszenarien. Mögliche Forschungsfragen, die mit dem Modell untersucht werden können, sind:

- Berechnung und Fortschreibung von Bestandsentwicklungen, u. a. von Wohnflächen, Wohnungen, Anzahl Wärmeerzeuger nach Technologien, aber auch von Elektrogeräten.
- Abbildung von technologischen Trends und Abschätzung des Effekts auf den Energieverbrauch (und die THG-Emissionen).
- Wirkungsabschätzung von Politikinstrumenten, u. a. auf die Effizienzentwicklung bei Wohngebäuden und Elektrogeräten sowie die Struktur der Wärmeversorgung und damit auf den Energieverbrauch (und die THG-Emissionen).
- Berechnung und Vergleich verschiedener Optionen zur Erreichung von Energie- und/oder Klimaschutzzielen sowie nachgelagert
- die Berechnung des dazu notwendigen Investitionsbedarfs.

Zentrale Modellergebnisse sind Angaben zum jährlichen Energieverbrauch nach **Verwendungszwecken und Energieträgern**. Dabei werden u. a. folgenden Verwendungszwecke (Anwendungen) unterschieden:

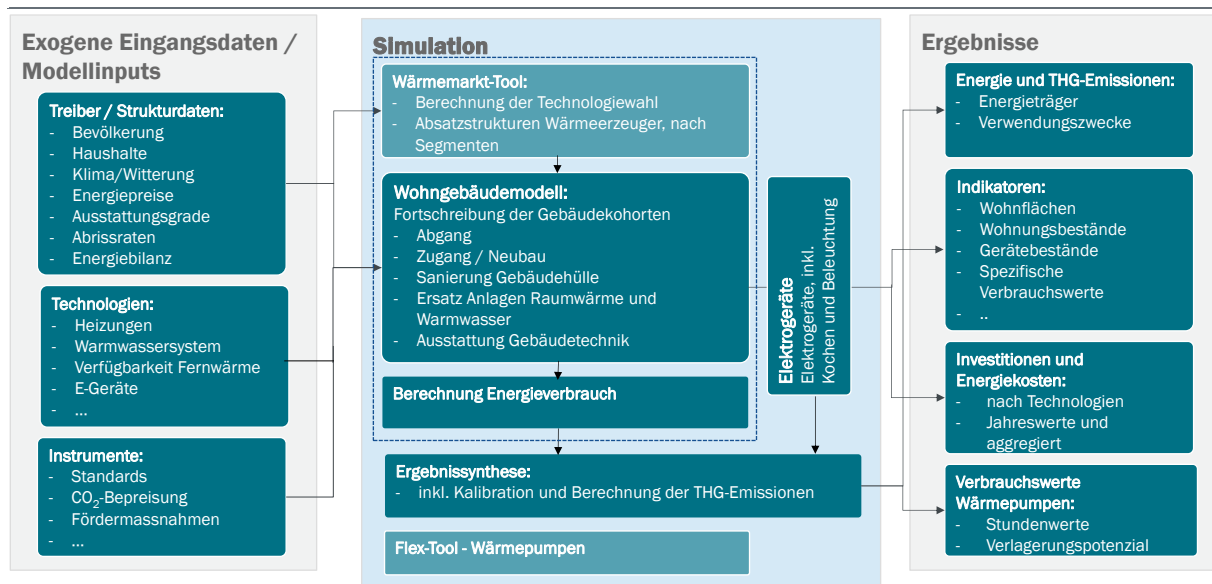
- Raumwärme
- Warmwasser
- Gebäudetechnik, darunter Hilfsenergie für der Betrieb von Heizungen, Verbrauch von Lüftungsanlagen und die Klimatisierung
- Kochen (Prozesswärme)
- Beleuchtung
- IKT- und Unterhaltungsgeräte
- Antriebe und Prozesse, darunter Haushaltsgrossgeräte wie Waschmaschinen und Kühlgeräte
- übrige (Kleingeräte).

Die abgebildeten Energieträger umfassen die in der Gesamtenergiestatistik für den Haushaltssektor ausgewiesenen Energieträger: Heizöl extra-leicht, (Erd-)Gas, Elektrizität, Kohle, Holz, Fernwärme sowie übrige erneuerbare Energien, letztere aufgeschlüsselt nach Solarthermie, Umweltwärme und Biogas.

Die grundlegende Modellstruktur ist in Abbildung 1 dargestellt. Zentrale Bausteine der Simulation sind das **Wohngebäudemodell** und das **Elektrogeräte-Modell**. Für die Ex-Post-Analysen des Energieverbrauchs werden diese beiden Teilmodule genutzt. Bei der Berechnung von Energieszenarien, wie beispielsweise im Rahmen der Energieperspektiven 2050+, werden zusätzlich das vorgelegte Wärmemarkt-Tool (zur Herleitung der Absatzstruktur von Wärmeerzeugern) und das nachgelagerte Flex-Tool eingesetzt, um den Stromverbrauch der elektrischen Wärmepumpen auf stündliche Werte umzulegen.

Abbildung 1: Schematischer Überblick – ProgRESS

Inputs, Simulation in Teilmodulen und zentrale Outputs (Ergebnisse)



Prognos AG

Systemgrenze: Das Modell bildet den Energieverbrauch von Wohngebäuden sowie von Wohnungen in Nichtwohngebäuden und den Stromverbrauch von Haushaltsgeräten und der Haushaltsbeleuchtung ab. Das Modell bildet dadurch den Energieverbrauch des Sektors Private Haushalte ab, in der Abgrenzung der nationalen Gesamtenergiestatistik (BFE, 2024).³ Im THG-Inventar entspricht dies der CRF-Kategorie 1A4b. Nicht im Haushaltsmodell abgebildet wird der Verbrauch für die Mobilität. Auch die Erzeugung von Energie in bzw. auf den Gebäuden, beispielsweise durch Auf-Dach-PV, wird nicht im Haushaltssektor ausgewiesen und entsprechend nicht im Haushaltsmodell berücksichtigt.⁴

Geographische Abdeckung und räumliche Auflösung: Das Modell kann grundsätzlich für verschiedene geografische Abgrenzungen eingesetzt werden, in Abhängigkeit der genutzten Inputwerte. Standardmässig wird es für die Modellierung in der Schweiz (und in Deutschland) eingesetzt. Das Modell verfügt über keine räumliche Auflösung, es bildet die Gesamt-Schweiz ab. Je nach Verwendung von Inputdaten kann das Modell für andere Regionen eingesetzt werden, z. B. für einzelne Kantone. Alternativ lassen sich mittels nachgelagerter Berechnungsschritte die nationalen Ergebnisse anhand von regionalen Strukturdaten passgenau auf Kantone oder Gemeinden regionalisieren.

Zeitliche Auflösung und Zeithorizont: Das Modell ProgRESS rechnet jahresscharf, respektive in Jahresschritten. Der Startzeitpunkt der Modellierung ist das Jahr 1990. Das Jahr 1990 bildet den Ausgangsbestand der Kohorten bzw. den Startpunkt der Fortschreibung. Bis an den aktuellen Rand sind die Bestände und Verbrauchswerte an die Statistiken geeicht, soweit solche vorliegen. Der Vergleich Modellwert zu Statistik ermöglicht eine Einschätzung der Modellgüte und gibt Hinweise auf notwendigen Anpassungsbedarf. Das Endjahr der Modellierung ist anpassbar.

³ Gesamtenergiestatistik, Bundesamt für Energie: <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-geodaten/energiestatistiken/gesamtenergiestatistik.html>

⁴ In den Energiebilanzen bzw. in der Energiestatistik wird die Eigenerzeugung von Strom im Umwandlungssektor ausgewiesen, zusammen mit der übrigen Stromerzeugung. Der Verbrauch für Mobilität wird dem Sektor Verkehr zugerechnet.

- Für die jährlichen Ex-Post-Analysen des Energieverbrauchs wird jeweils bis zum aktuellen Kalenderjahr gerechnet. Beispielsweise wurde für die Ex-Post-Analyse mit dem Berichtsjahr 2023 (ausgewiesene Jahreswerte bis 2023) bis zum Jahr 2024 gerechnet.
- Im Falle von Energieszenarien hängt das Endjahr von der Aufgabenstellung ab. Bei den Energieperspektiven 2050+ wurde beispielsweise bis zum Jahr 2060 gerechnet.

Je nach Fragestellung kann der Jahres-Stromverbrauch nachträglich anhand der Angaben zum Verwendungszweck in stündliche Lastkurven umgelegt werden. Für den Stromverbrauch der Wärmepumpen wird dies in Abhängigkeit der Aussentemperatur und dem Verlagerungspotenzial (Energiespeicher) mit dem Flex-Tool berechnet.

Modell Einordnung: Das Modell ProgRESS ist Teil der Prognos-Modelle-Landschaft.⁵ Je nach Fragestellung kann ProgRESS mit anderen Modellen der Landschaft verknüpft werden, um fachübergreifende Aspekte eines Themas zu analysieren.

3 Modell-Design

3.1 Konzeptionelle Gestaltungsprinzipien

Das Modell ProgRESS besteht aus verschiedenen Teilmodellen (Abbildung 1). Die beiden Hauptkomponenten sind das **Wohngebäudemodell** und das **Elektrogeräte-Modell** (für Elektrogeräte und Beleuchtung).

Mit dem Wohngebäudemodell wird der Bestand an Wohnungen und Wohnflächen rekursiv ausgehend vom Bestand des Vorjahres fortgeschrieben. Im Rahmen der Ex-Post-Analyse erfolgt die Fortschreibung anhand statistischer Werte, im Falle von Szenarien anhand exogener Rahmendaten und Szenariovorgaben. Das Wohngebäudemodell setzt sich zusammen aus dem vorgelagerten optionalen Wärmemarkt-Tool zur Berechnung der Absatzstruktur der Wärmeerzeuger, dem Gebäude-Bestandsmodul und dem daran anschliessenden Modul zur Berechnung des Energieverbrauchs der Gebäude. Die Teilmodelle des Wohngebäudemodells sind miteinander gekoppelt. Das optionale Wärmemarkt-Tool wird in der Regel nur im Rahmen von Energieszenarien, für die Bestimmung der Absatzstruktur im Ex-Ante-Zeitraum eingesetzt.

Im Elektrogerätemodell wird der Bestand und der Energieverbrauch der von privaten Haushalten genutzten Elektrogeräte berechnet (inkl. Beleuchtung und Kochen). Das Gerätemodell nutzt die identischen Annahmen zur Bevölkerung und Zahl der Haushalte wie das Wohngebäudemodell, ist ansonsten jedoch weitgehend unabhängig vom Wohngebäudemodell. Ausnahmen bilden die Klimatisierung und die Beleuchtung, wo eine Kopplung über die Flächen und das genutzte Heizsystem besteht (Kühlung mit Wärmepumpen).⁶

⁵ <https://www.prognos.com/de/modelle-tools/modelle>; <https://www.prognos.com/de/progress>

⁶ Bei diesen Anwendungen sind die Gebäudeflächen und die Beheizungsstruktur relevant und werden bei der Berechnung des Energieverbrauchs berücksichtigt.

Im daran anschliessenden Synthesemodul werden die Ergebnisse des Wohngebäudemodells und des Elektrogerätemodells zusammengefasst, gegebenenfalls auf die Energiestatistik kalibriert und die energiebedingten THG-Emissionen berechnet.

Bei beiden Teilmodellen (Wohngebäude, Elektrogeräte) handelt es sich um Bottom-up-Modelle. Bei der Bottom-up-Modellierung wird der Gesamtenergieverbrauch in viele homogene Teilsegmente aufgeteilt. Für jedes Teilsegment wird der Energieverbrauch aus dem Produkt der Mengenkomponekte (z. B. Anzahl Geräte, Wohnfläche), dem spezifischen Energieverbrauch (z. B. Verbrauch je Flächeneinheit) und einer Nutzungskomponente berechnet. Der Gesamtverbrauch ergibt sich aus der Summierung der Energieverbräuche der Teilsegmente.

Die Ausgabe der Energieverbräuche erfolgt in ProgRESS auf Ebene des Endenergieverbrauchs. Die Berechnung des Verbrauchs für Raumwärme und Warmwasser erfolgt jedoch anhand des Wärmebedarfs (Nutzenergie) und der Anlagennutzungsgrade. Somit können mit dem Modell für diese Verwendungszwecke auch Aussagen zum Nutzenergieverbrauch getätigt werden. Bei den übrigen Anwendungen sind Aussagen zum Nutzenergieverbrauch nicht möglich. Die Primärenergie kann anhand des Endenergieverbrauchs nach Energieträgern und energieträgerspezifischen Primärenergiefaktoren näherungsweise berechnet werden.

Für eine Nutzung des Modells zur Berechnung von Szenarien verfügt ProgRESS ausserdem mit dem nachgelagerten Flex-Modul über eine Schnittstelle zur Strommarktmodellierung. Dabei wird der Stromverbrauch der Wärmepumpen in stündliche Werte aufgelöst, für verschiedene Wärmepumpen- und Nutzertypen. Dieses Modul nutzt neben Angaben zur Zahl der Anlagen und deren Stromverbrauch auch Angaben zur Geräteeffizienz, Informationen zur potenziellen Lastverschiebung (durch technische Speicher, Absenkung der Raumtemperatur) und zur jeweiligen Aussentemperatur. Die Datenübergabe erfolgt mittels Excel-Dateien.

3.2 Struktur und Funktionsweise der Teilmodelle

3.2.1 Wohngebäudemodell

Im Wohngebäudemodell werden folgende Teilsegmente differenziert:

- Gebäudetypen
 - Ein- und Zweifamilienhäuser (EZFH)
 - Mehrfamilienhäuser (MFH)
 - Nichtwohngebäude (NWG) mit Wohnungen (berücksichtigt wird nur Wohnfläche)
- Gebäudealtersklassen (Baualter)
 - bis 1918
 - 1919–1945
 - 1946–1960
 - 1961–1970
 - 1971–1975
 - 1976–1980
 - 1981–1985
 - 1986–1989
 - ab 1990 jährliche Kohorten für jedes Baujahr
- Beheizungsstrukturen nach Energieträgern
 - Zentralheizungen

- Holz
- Elektro
- Öl
- Gas
- Kohle
- Wärmepumpen, bei Bedarf differenziert nach Luft-Wasser, Sole-Wasser und Luft-Luft
- Fernwärme
- Nahwärme (nur in Szenarien, sonst zusammen mit Fernwärme)
- Einzelheizungen
 - Holz
 - Elektro
 - Öl
 - Gas
 - Kohle
- Ergänzungsheizungen (Solarthermie, Kaminholz)
- Warmwassersysteme (Technologien analog zur Raumwärme)
- Gebäudetechnik: Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung
- Belegung
 - dauernd bewohnte Erstwohnungen
 - teilweise bewohnte Zweit- und Ferienwohnungen
 - leerstehend

Die Fortschreibung der Wohnungen und Wohnflächen basiert auf einer historischen Fortschreibung des Bestandes ab dem Jahr 1990. Bei der rekursiven Bestandsfortschreibung beim Wohngebäudemodell werden vier Hauptschritte unterschieden:

- Abgang an alten Wohnungen (und Wohnflächen)
- Zubau an neuen Wohnungen (und Wohnflächen)
- Ersatz und Wechsel von Wärmeerzeugern
- Effizienzmassnahmen (energetische Sanierungen, Zubau Gebäudetechnik)

Bestandsfortschreibung durch Zubau und Abgang:

Im Ex-Post-Zeitraum wird der Zubau an Wohnungen und der Bestand an Wohnungen durch die Statistik vorgegeben (Quellen siehe Kapitel 4.1). Die Abgänge werden so gesetzt, dass der Bestand des Vorjahres, plus dem Zubau, den Bestandswerten des aktuellen Jahres entspricht. Die mittlere Grösse der neugebauten Wohnungen (in m²) wird aus den Angaben der Baustatistik abgeleitet. Der energetische Standard des Neubaus ergibt sich aus den geltenden gesetzlichen Vorgaben, den Förderkonditionen, in Abhängigkeit des Gebäudetyps.

Bei der Berechnung von Szenarien bildet die Zahl der Haushalte die zentrale Leitgrösse für die Bestandsfortschreibung im Ex-Ante-Zeitraum – für jeden Haushalt wird statistisch eine dauernd bewohnte Wohnung benötigt. Anhand der exogenen Vorgabe zur Anzahl an Haushalten und der unterstellten Entwicklung des Leerstands sowie der Zweit- und Ferienwohnungen (ebenfalls exogene Vorgabe) wird der Soll-Bestand an Wohnungen im Ex-Ante-Zeitraum berechnet. Die jährlichen Abgangsraten werden durch eine Trendfortschreibung festgelegt. Anhand des Sollbestands an Wohnungen, des Bestands im Vorjahr und den jährlichen Abgängen wird in den Szenarien vom Modell der zur Erreichung des neuen Sollbestands notwendige jährliche Zubau an Wohnungen berechnet.

Beheizungsstruktur: Ersatz und Wechsel von Wärmeerzeugern:

Die Beheizungsstruktur der neugebauten Wohnungen und im Wohnungsbestand im Ex-Post-

Zeitraum seit 1990 stützt sich auf statistische Angaben sowie auf Erhebungen von Wüest Partner und Gebäudeklima Schweiz.

Bei der Berechnung von Szenarien wird die Absatzstruktur der Wärmeerzeuger im Ex-Ante-Zeitraum mit dem vorgelagerten Wärmemarkt-Tool berechnet. Dabei handelt es sich um ein Discrete-Choice-Modell, das anhand der Investitionskosten für die Wärmeerzeuger, den Energiepreisen und Energieausgaben sowie der THG-Emissionen (als Indikator für die Umweltverträglichkeit), für verschiedene Segmente (Neubau/Bestand, EFH/MFH, Selbstnutzer/Vermieter) die Absatzstrukturen berechnet. Dabei werden Politikinstrumente wie Förderungen oder Mindestvorgaben für Anteile an erneuerbaren Energien mitberücksichtigt.

Energetische Sanierungen

Durch Sanierungsmassnahmen an den Gebäuden wird der Raumwärmeverbrauch im Gebäudebestand reduziert. Unterschieden wird die Häufigkeit von energetischen Sanierungen (Aktivität) und die Sanierungstiefe (wie stark wird der Verbrauch durch die Sanierungsmassnahme abgesenkt). Das Modell rechnet mit Vollsanierungsäquivalenten, d.h. im Modell werden Teilsanierungen zu Vollsanierungen zusammengefasst. Die Aggregation der sanierten Bauteile Aussenhülle, Dächer, Fenster und Böden folgt den Vorschlägen des Instituts für Wohnen und Umwelt (IWU, 2018).⁷

Im Ex-Post-Zeitraum stützen sich die Annahmen zur Sanierungsaktivität auf Studien von TEP Energy (siehe Kapitel 4.1). Im Rahmen von Energieszenarien wird die Sanierungsaktivität im Ex-Ante-Zeitraum massgeblich durch das geltende Ordnungsrecht und die Wirtschaftlichkeit der Sanierungsmassnahmen beeinflusst. Letztere hängt von den Kosten für die Sanierungen ab, aber auch von den eingesparten Energiekosten und ist abhängig von Gebäudetyp und Nutzertyp (Vermieter/Selbstnutzer).

Haustechnik: Ergänzend zu den Wärmeerzeugern können die Gebäude mit zusätzlichen Gebäudetechnikanlagen ausgestattet sein. In ProgRESS berücksichtigt werden solarthermische Anlagen, Kaminöfen oder Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung. Der Verbrauch dieser Anlagen wird im Modell abgebildet. Diese Anlagen beeinflussen ausserdem den Energieverbrauch der Hauptsysteme: Kaminöfen oder solarthermische Öfen verringern den Energieverbrauch des Hauptsystems zur Erzeugung der Raumwärme, Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung können die Lüftungsverluste verringern und so den Wärmeverbrauch senken.

Im Anschluss an die Bestandsfortschreibung erfolgt die **Berechnung des Energieverbrauchs** der einzelnen Teilsegmente für alle Jahre des Betrachtungszeitraums, in Abhängigkeit der Angaben zu Gebäudetyp, Baualtersklasse, Sanierungszustand, Heizsystem, Alter des Heizsystems, Belegung sowie Angaben zu allfälligen Ergänzungssystemen (Solarthermie, Kaminholz, Lüftungsanlagen). Aus der Summierung der Teilsegmente wird der Gesamtenergieverbrauch bestimmt.

3.2.2 Elektrogeräte-Modell

Im Elektrogerätemodell werden die in Bezug auf den Energieverbrauch relevanten Geräte in Kohortenmodellen abgebildet. Dabei wird anhand des jährlichen Absatzes, des mittleren spezifischen Verbrauchs der Neugeräte (in kWh/Jahr) und Annahmen zur mittleren Lebensdauer der Geräte der Bestand an Geräten und dessen Stromverbrauch im Zeitverlauf fortgeschrieben. In die

⁷ IWU (2018): Datenerhebung zu den energetischen Merkmalen und Modernisierungsraten im deutschen und hessischen Wohngebäudebestand. Institut für Wohnen und Umwelt, Darmstadt.

Berechnung des Energieverbrauchs fliessen auch Annahmen zur Nutzung der Elektrogeräte ein (z. B. die Nutzungsdauer bei TV-Geräten oder die Anzahl Waschgänge bei Waschmaschinen. Folgende Elektrogeräte werden detailliert mittels Kohortenmodellen abgebildet:

- Waschmaschinen
- Wäschetrockner/Tumbler
- Waschtrockner (Kombi-Geräte zum Waschen und Trocknen)
- Kühlschränke
- Kühl-Gefrier-Kombi
- Gefrierschränke
- Gefriertruhen
- Geschirrspüler
- Kochherde
- Kaffeemaschinen
- Dunstabzugshauben
- Staubsauger
- PC-Desktop
- PC-Laptop
- Tablets
- Monitore
- Drucker
- TV-Geräte
- Settop-Boxen
- DVD-Geräte
- Beamer

Eine Gruppe von weiteren Elektrogeräten wird einzeln, jedoch nur vereinfacht abgebildet. Die Abbildung erfolgt hier anhand von Annahmen zum Gesamtbestand an Geräten und zum mittleren Energieverbrauch. Zu dieser Gruppe von Elektrogeräten gehören Radio/Phono-Geräte, Toaster, Haartrockner, Waffeleisen, Fritteusen, Bügeleisen und Luftbefeuchter. Ausserdem wird ein Sammler mitgeführt, welcher alle übrigen Geräte umfasst.

Wo möglich sind die Bestandsmengen mit Statistiken zur Ausstattung der Haushalte abgeglichen. Zurzeit liegen in der Schweiz dazu nur Angaben einzelnen IKT-Geräten vor (BFS-Statistik zu IKT-Geräten).

Zentrale Inputgrössen in die Kohortenmodelle sind Angaben zu den jährlich neu inverkehrgebrachten Geräte und der mittlere spezifische Verbrauch dieser Geräte. Grundlage für diese Inputs sind detaillierte Absatzzahlen, die Angaben zu den jährlich verkauften Elektrogeräten enthalten, unterschieden nach Gerätekategorien und gegebenenfalls Unterkategorien. Bei den Kühl- und Gefriergeräten und den Geschirrspülern erfolgt beispielsweise eine Unterscheidung der Unterkategorien nach Grössenklassen und nach Einbaugeräten und freistehenden Geräten. Waschmaschinen und Tumbler werden nach Grössenklassen sowie der Art der Nutzung unterschieden (private Nutzung oder halbgewerbliche Nutzung). Bei TV-Geräten und bei Monitoren wiederum werden verschiedene Grössenklassen unterschieden.

Bei den Haushaltsgrossgeräten (u. a. Waschmaschinen, Kühl- und Gefriergeräte, Geschirrspüler) sind die Absatzzahlen nach den Effizienzklassen der Energieetikette aufgeschlüsselt. Anhand der Angabe der Effizienzklasse, der Grösse und den Berechnungsvorschriften der Ökodesign-Verordnung wird der Jahresenergieverbrauch der Geräte berechnet. Der effektive Verbrauch eines Gerätes kann vom so berechneten Standardverbrauch abweichen, wenn das Nutzerverhalten

nicht den Annahmen der Messmethoden (bzw. dem Berechnungsansatz) der Energieetikette entspricht. Teilweise werden eigene Annahmen zur Gerätenutzung (Nutzungshäufigkeit) verwendet, in Anlehnung an die Einschätzung von Fachexperten.

Bei der Berechnung der spezifischen Verbräuche der elektronischen Geräte (u. a. TV, Computer, Settop-Boxen) werden verschiedene Betriebsmodi unterschieden. Für die meisten Geräte sind dies die Modi

- Off oder Standby,
- Sleep sowie
- Run (bzw. Idle).

Für die Betriebsmodi werden unterschiedliche Nutzungszeiten (in Stunden) und unterschiedliche Leistungsbezüge (in Watt) unterschieden. Aus der Multiplikation der Nutzungszeiten mit den jeweiligen Leistungsbezügen und der Summierung über die Modi wird für jede Gerätekategorie der mittlere spezifische Jahresverbrauch in kWh bestimmt. Für die Annahmen zu den Nutzungszeiten werden unterschiedliche Quellen berücksichtigt: teilweise sind es Annahmen aus Normen, teilweise liegen statistische Werte vor, teilweise sind es aber auch eigene Schätzungen.

Die Bestandfortschreibung wird mittels Kohortenmodellen auf Ebene der unterschiedenen Geräte-Unterkategorien durchgeführt. Im Ex-Post-Zeitraum bilden dazu die oben beschriebenen Absatzzahlen und Annahmen zur Lebensdauer der Geräte die zentrale Eingangsgrößen. Die Lebensdauer fließt in Form von gerätespezifischen Überlebensfunktionen in die Berechnungen ein. Für die meisten Geräte werden Weibull-Verteilungen angenommen. Die Überlebensfunktionen gehen von einer mittleren Lebensdauer aus, gleichzeitig wird berücksichtigt, dass ein Teil der Geräte zu einem früheren und ein anderer Teil der Geräte zu einem späteren Zeitpunkt aus dem Bestand ausscheidet. Eine Veränderung des Nutzerverhaltens über die Lebensdauer der Geräte wird in der Regel nicht angenommen.

Im Ex-Ante-Zeitraum sind die Absatzzahlen der Elektrogeräte nicht bekannt. Im Rahmen der Erstellung von Energieszenarien werden die jährlichen Absatzzahlen anhand von Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung und Annahmen zur Ausstattung der Bevölkerung mit Elektrogeräten abgeschätzt. Der spezifische Verbrauch der zukünftigen Neugeräte orientiert sich an heutigen «Best-Geräten», Trends bei der Entwicklung der Grösse sowie an regulatorischen Vorgaben (z. B. Verbrauchsvorschriften).

Das Elektrogerätemodell wird auch für die jährlichen Analysen der Energieeffizienz bei Elektrogeräten zuhause von *energieschweiz* eingesetzt. Eine weitergehende Beschreibung des Elektrogeräte-Modells findet sich in den jährlichen Berichten zur Reihe „Verkaufszahlenbasierte Energieeffizienzanalyse von Elektrogeräten“.⁸

Beleuchtung: Der Verbrauch für die Beleuchtung wird im Rahmen der jährlichen Ex-Post-Analysen nicht mehr eigenständig berechnet. Übernommen werden die Verbrauchswerte des Beleuchtungsmonitorings, welches jährlich von der SLG durchgeführt wird und zu welchem die Prognosen AG und TEP Energy Angaben zur Flächenentwicklung beisteuern.⁹

⁸ z. B. in der Ausgabe im Jahr 2023: <https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/11618>

⁹ <https://www.energylight.ch/projekte/energie-monitoring.html>

Im Rahmen von Energieszenarien wird die Entwicklung des Stromverbrauchs für die Beleuchtung im Ex-Ante-Zeitraum anhand der Wohnfläche, der Ausstattung der Wohnfläche mit Leuchtpunkten und Annahmen zur Technologieentwicklung fortgeschrieben.

3.3 Zentrale Treiber und Einflussfaktoren

Mengentreiber: Die von ProgRESS genutzten zentralen Mengentreiber sind die Bevölkerung, die Zahl der Haushalte sowie die Wohnfläche. Die Bevölkerung und die Zahl der Haushalte sind der beste Mengenindikator zur Bestimmung des Endenergieverbrauchs der Elektrogeräte sowie des Warmwasserverbrauchs. Die benutzten Angaben zur Bevölkerung und zu den Haushalten stammen vom BFS. Aus der Verknüpfung der Anzahl der Haushalte und deren Ausstattung mit Elektrogeräten werden die Bestände an Elektrogeräten berechnet. Dabei wird bei einigen Geräten auch die Haushaltsgrösse berücksichtigt, da mit der Anzahl der Haushaltsmitglieder im Allgemeinen die Ausstattung mit Elektrogeräten ansteigt. In die Berechnung der Elektrogerätebestände im Ex-Post-Zeitraum fliessen auch die Absatzzahlen der Erhebungen der Verbände FEA und Swico ein (siehe Kapitel 4.1).

In Bezug auf den Energieverbrauch ist die Raumwärme der wichtigste Verwendungszweck im Sektor Haushalte. Für die Berechnung des Verbrauchs für Raumwärme ist die beheizte Wohnfläche der zentrale Mengentreiber. Als Indikator wird die Energiebezugsfläche (EBF) verwendet. Unterschieden wird nach dauernd bewohnter EBF (in Erstwohnungen), zeitweise bewohnter EBF (in Zweit- und Ferienwohnungen) sowie unbewohnter EBF (Leerstand). Datengrundlage für die EBF bildet die Gebäudezählung der Jahre 1990 und 2000 sowie eine eigene Fortschreibung anhand Statistikwerten zum Neubau und statistischen Angaben zum Wohnungsbestand.

Technik und Politik: Dieser Treiber subsummiert autonome (preisgetriebene) technologische Verbesserungen sowie die Wirkung politischer Instrumente auf die Technologieentwicklung. Der Treiber führt im Allgemeinen zu einer Steigerung der Energieeffizienz: Bei Gebäuden verringert sich der Energiebedarf zur Deckung der nachgefragten Raumwärme und die Nutzungsgrade der Wärmeerzeuger steigen an (bei Raumwärme und Warmwasser). Bei Elektrogeräten und bei der Gebäudetechnik (Hilfsenergie zum Betrieb der Wärmeerzeuger, Lüftungsanlagen, Kühlgeräte) nimmt der spezifische Geräteverbrauch ab.

Grundsätzlich wird bei der Modellierung davon ausgegangen, dass sich die Effizienz der Anlagen und Geräte während ihrer Nutzungsdauer nicht verändert. Durch den Ersatz alter (wenig effizienter) Anlagen/Geräte durch neue Anlagen/Geräte mit höherer Effizienz steigt die Effizienz im Anlagen- bzw.- Gerätebestand im Zeitverlauf an. Aufgrund des angewandten Kohortenansatzes verändert sich der spezifische Verbrauch im Bestand nur langsam, denn jährlich wird nur ein Teil der Anlagen/Geräte durch neue und effizientere Anlagen/Geräte ersetzt.

Im Bereich Gebäude führen nebst den Neubauten auch energetische Sanierungen zu einer Steigerung der Effizienz und so zu einer Reduktion des spezifischen Verbrauchs je EBF. Da jährlich lediglich rund 1-2 % des Bestands energetisch saniert werden, verändert sich jedoch auch hier der mittlere spezifische Verbrauch im Gebäudebestand nur langsam.

Energieträger-Substitution: Die Energieträgersubstitution beschreibt den Ersatz von einem Energieträger durch einen anderen bei ein und derselben Anwendung. Im Gebäudebereich ist dieser Vorgang relevant bei der Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser, in geringem Ausmasse auch beim Kochen (z. B. Ersatz eines Gasherds durch einen elektrisch betriebenen Herd). Da das Warmwasser häufig mit der gleichen Anlage wie die Raumwärme erzeugt wird, besteht eine

starke Kopplung: Ändert der Erzeuger der Raumwärme, ändert oft auch derjenige für das Warmwasser.

Ein Wärmerzeuger (Heizung) hat eine durchschnittliche Lebensdauer von rund 25 Jahren, bei Wärmepumpen ist die Lebensdauer in der Regel etwas kürzer. Am Ende der Lebensdauer wird die Heizung ersetzt, entweder durch eine neue Anlage des gleichen Typs oder durch einen Typ mit anderem Energieträger. Durch den Wechsel des Typs verändert sich die Beheizungsstruktur. Oftmals wirkt sich der Wechsel des Typs auch auf den Anlagennutzungsgrad aus (Effizienz).

Zur Beheizungsstruktur neuer Gebäude gibt es jährliche Erhebungen (u. a. von Wüest Partner) und teilweise auch Statistiken des BFS. Über die Substitution im Anlagenbestand (Ersatz) liegen ebenfalls regelmässige Erhebungen von Wüest Partner vor. Ausserdem orientiert sich bei der Modellierung die Substitution auch an der Absatzstatistik der Heizungen (GebäudeKlima Schweiz). Da diese jedoch nicht nach Neubau und Bestand und nicht zwischen den Sektoren unterscheidet, bestehen hier gewisse Unsicherheiten bei der Zuteilung der Absätze. Ergänzend zu den jährlichen Erhebungen von Wüest Partner und der Absatzstatistik werden deshalb auch punktuell vorliegende Studien zur Beheizungsstruktur (z. B. SETW des BFS) und zum Erneuerungsverhalten genutzt (z. B. TEP 2024¹⁰). Das Gebäuderegister wird bis anhin nicht benutzt, da hier nach wie vor viele nicht aktuelle Datenpunkte vorliegen.

Struktureffekte: Struktureffekte haben im Sektor Private Haushalte im Vergleich zu den Sektoren Industrie und Dienstleistungen nur eine geringe Bedeutung. Den Struktureffekten wird u. a. die Verschiebung zwischen nicht bewohnten, teilweise bewohnten und bewohnten Gebäuden zugerechnet. Bei den Elektrogeräten resultieren strukturelle Verbrauchseffekte aus einer Verschiebung der mengenmässigen Zusammensetzung von Elektrogeräten innerhalb einer Gerätegruppe, beispielsweise durch eine Verschiebung zwischen Kühlgeräten, Kühl-Gefriergeräten und Gefriergeräten.

Witterung und Klima: Der Energieverbrauch des Sektors Private Haushalte wird stark von der Witterung beeinflusst: In einem kalten Winter steigt der Energieverbrauch für Raumwärme, in einem warmen Winter sinkt der Verbrauch. Folgt auf ein sehr kaltes ein sehr warmes Jahr, können sich zwischen den zwei Jahren deutliche Verbrauchsunterschiede ergeben. Beispielsweise verringerte sich im Jahr 2011 im Vergleich zum Jahr 2010 der Raumwärmeverbrauch witterungsbedingt um über 20 %. Der Einfluss der Witterung wird oftmals mittels Heizgradtagen abgebildet. Im Rahmen der jährlichen Ex-Post-Analysen für das BFE wird im Modell ProgRESS hingegen ein Verfahren auf Basis von Gradtagen und Solarstrahlung verwendet.¹¹ Die Witterung in den Sommermonaten beeinflusst zudem den Bedarf nach Klimakälte (Kühlbedarf). Dieser Effekt wird im Rahmen der Modellierung über Kühlgradtage berücksichtigt.

Die Wetterdaten, welche zur Berechnung der Gradtage, Strahlungsmengen und Kühlgradtage genutzt werden, werden von der MeteoSchweiz erhoben. Prognos berechnet anschliessend auf Grundlage der Daten von 53 Wetterstationen einen anhand der Bevölkerung gewichteten Mittelwert für die Schweiz.

¹⁰ TEP Energy, 2024: Energetische Erneuerungsraten im Gebäudebereich in der Periode von 2010 bis 2020. Synthesebericht zu Gebäudehülle und Heizungsanlagen für Wohngebäude und Nicht-Wohngebäude. Im Auftrag des BFE.

¹¹ Prognos (2003): Einfluss von Temperatur- und Globalstrahlungsschwankungen auf den Energieverbrauch der Gebäude. Prognos AG Basel, im Auftrag des Bundesamtes für Energie (BFE), Bern.

Prognos (2008): Temperatur- und Strahlungsabhängigkeit des Energieverbrauchs im Wärmemarkt. Empirische Analysen von Einspeisemengen leitungsgebundener Energieträger. Prognos AG Basel, im Auftrag des Bundesamtes für Energie (BFE), Bern.

Die zukünftige Witterung ist nicht bekannt. Aufgrund der Klimaerwärmung verringert sich im Mittel der Jahre der Raumwärmebedarf, während der Kühlbedarf ansteigt. Diese Trends werden bei der Modellierung von Szenarien über eine abnehmende Anzahl an Heizgradtagen und eine ansteigende Anzahl Kühlgradtage abgebildet. Datengrundlage hierzu bilden zurzeit die Klimaszenarien für die Schweiz aus dem Jahr 2018.¹²

3.4 Faktorzerlegung

Eine der zentralen Aufgaben der jährlichen Ex-Post-Analyse des Energieverbrauchs im Auftrag des BFE besteht in einer Faktorzerlegung: Auf Basis der Energiesystemmodelle soll die Veränderung des Energieverbrauchs nach Energieträgern und Verbrauchssektoren mit der Entwicklung seiner wichtigsten Treiber (Bestimmungsfaktoren) korreliert und dadurch erklärt werden. Als Bestimmungsfaktoren werden Mengeneffekte, Technik und Politik, Substitution, Struktureffekte, Witterung und übrige Effekte (Joint-Effekte) unterschieden.¹³

Die Effekte der einzelnen Bestimmungsfaktoren werden durch eine lineare Näherung berechnet: Ein Einflussfaktor wird zwischen den Jahren t_n und t_{n+1} verändert, während alle anderen Parameter konstant gehalten werden. Die sich daraus ergebende Verbrauchsänderung $E_{n+1} - E_n$ quantifiziert den Effekt. Grundsätzlich wird für jeden Bestimmungsfaktor der Einfluss in jedem Jahr bestimmt. Methodisch erfolgt die Faktorzurechnung auf der Ebene der Verwendungszwecke Raumwärme, Warmwasser, Kochen und übrige Elektrogeräte. Innerhalb der Verwendungszwecke Raumwärme und Warmwasser wiederum erfolgt die Zurechnung getrennt nach Energieträgern (und Heizsystemen). Die Elektrogeräte werden unterteilt nach Kühlen und Gefrieren, Waschen und Trocknen, Unterhaltung, Information und Kommunikation, Beleuchtung sowie übrige Elektrogeräte.

Die Faktorzerlegung der Verbrauchsentwicklung im Sektor Private Haushalte wird mit dem Modell ProgRESS durchgeführt. Die Faktorzerlegung erfolgt in einem eigenständigen Prozessschritt, nach der Berechnung der physischen Bestandsentwicklungen von Wohnungen, Wohnflächen und Elektrogeräten sowie der daran anschliessenden Berechnung des Energieverbrauchs. Diese Outputs zu den Beständen und spezifischen Verbräuchen bilden den Input für die Faktorzerlegung. In der Faktorzerlegung werden unkalibrierte Modellergebnisse verwendet. Die Ergebnisse zeigen auf, welche Energieverbrauchsänderungen durch das Modell bzw. mit den im Modell abgebildeten Faktoren erklärt werden können.

¹² CH2018 (2018): CH2018 – Climate Scenarios for Switzerland. National Centre for Climate Services, Zürich.

¹³ <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-geodaten/energiestatistiken/energieverbrauch-nach-bestimmungsfaktoren.html>

4 Inputs und Outputs

4.1 (Exogene) Inputs

Wo verfügbar werden empirische Daten direkt oder indirekt als Inputgrössen genutzt. Die Basis für die Modellrechnungen bilden unterschiedliche Datenquellen, die wichtigsten sind nachfolgend aufgelistet:

- Bevölkerungsstatistik des BFS
- Haushaltsstatistik des BFS (Anzahl, Struktur)
- Gebäude- und Wohnungszählungen des BFS der Jahre 1990 und 2000
- Gebäude- und Wohnungsregister des BFS (u. a. für die Bestandsentwicklung und die Neubauflächen und Zahl der neugebauten Wohnungen)
- Neubaustatistiken (Wohnungen nach Gebäudetyp, Beheizungsstruktur)
- Mikrozensus zur Beheizungsstruktur 2017 (SETW des BFS)¹⁴
- Erhebungen von Wüest Partner zur Beheizungsstruktur (Neubau, Ersatz)
- Absatzzahlen von Wärmeerzeugern nach GebäudeKlima Schweiz
- Wärmepumpenstatistik des BFE
- SIA-Normen, u. a. 380/1 und 384/3
- Studien zur Sanierungsaktivität und zur Sanierungstätigkeit (u. a. von TEP Energy¹⁵)
- Statistik Minergie (u. a. als Anhaltspunkt für die Ausstattung mit Lüftungsanlagen)
- Wetter- und Klimadaten der MeteoSchweiz
- Absatzzahlen nach Energie-Effizienzklassen der Haushaltsgrossgeräte (FEA-Statistiken)
- Absatzzahlen und Angaben zum Energieverbrauch von IKT-Geräten (Swico-Marktstatistiken)
- BFS-Statistiken zur Ausstattung mit IKT-Geräten
- Gesamtenergiestatistik des BFE
- Statistik der erneuerbaren Energien des BFE
- stat. Angaben zur Energiepreisentwicklung

Die statistischen Angaben zu Bevölkerung und Haushalten fliessen unverändert ins Modell ein. Relevant ist dabei der Teil der Bevölkerung, welcher in privaten Haushalten wohnt. Nicht berücksichtigt wird die Bevölkerung in Kollektivhaushalten und Heimen (diese sind relevant für den Dienstleistungssektor).

Die Gebäude- und Wohnungsstatistiken werden genutzt, um den Ausgangsbestand 1990 festzulegen und die Fortschreibung im Modell bis an den aktuellen Rand zu eichen. Die Zahl der neu gebauten Wohnungen wird der Neubaustatistik entnommen; ergänzt wird eine Aufteilung auf dauernd bewohnte Wohnungen und Zweit-/Ferienwohnungen. Die Fläche der neuen Wohnungen wird berechnet aus Angaben des GWR und der GWS. Verknüpft werden dazu Angaben zu neugebauten Wohnungen nach Gebäudetypen und Anzahl Zimmer mit Angaben zur durchschnittlichen Fläche der Wohnungen nach Gebäudetyp, Baualtersklasse und Zahl der Zimmer. Die energetische

¹⁴ BFS, 2017e: Statistik der Energieträger von Wohngebäuden (SETW). Bundesamt für Statistik, Neuchâtel.

¹⁵ TEP Energy, 2014: Energetische Erneuerungsraten im Gebäudebereich - Synthesebericht zu Gebäudehülle und Heizanlagen. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Energie, Bern.

TEP Energy, 2020a: Kantonale Energiekennzahlen und CO₂-Emissionen im Gebäudebereich. Zwischenbericht zuhanden BAFU, EnDK, KVV sowie kantonale Energie- und Umweltfachstellen, Bern.

TEP Energy, 2024: Energetische Erneuerungsraten im Gebäudebereich in der Periode von 2010 bis 2020. Synthesebericht zu Gebäudehülle und Heizungsanlagen für Wohngebäude und Nicht-Wohngebäude. Im Auftrag des BFE.

Qualität der Neubauten orientiert sich an den geltenden Normen (u. a. SIA, MuKE). Aus den SIA-Normen werden ausserdem weitere Kennzahlen zur Berechnung des Energieverbrauchs genutzt, u. a. zum spezifischen Verbrauch von Lüftungsanlagen, zu Verteilverlusten und zum Warmwasserverbrauch.

Die Beheizungsstruktur der im Ex-post-Zeitraum neu gebauten Wohnungen wird den Marktanalysen von Wüst Partner entnommen. Die Entwicklung im Bestand erfolgt anhand der Erhebungen von Wüst und Partner sowie der Absatzzahlen von GebäudeKlima Schweiz. Dabei wird vom Gesamtabatz an Heizungen der Anteil der Wohngebäude abgeschätzt und als Vorgabe verwendet. Die resultierende Beheizungsstruktur wird zudem mit punktuell vorliegenden Statistiken abgeglichen, u. a. mit dem Mikrozensus 2017 (SETW des BFS). Die Wärmepumpenstatistik des BFE wird ebenfalls mitberücksichtigt, es erfolgt jedoch kein exakter Abgleich.

Die Beheizungsstruktur im Ex-Ante- bzw. Szenarienzeitraum kann mit dem vorgelagerten Wärmemarkt-Tool berechnet werden. In dieses fliessen beobachtete und erwartete Energiepreise ein, aber auch Annahmen zu den Technologiekosten und zur Anlageneffizienz.¹⁶

Zur Sanierungsaktivität gibt es bis anhin keine offiziellen Statistiken. Verwendet werden punktuelle Erhebungen, u. a. aus den Erhebungen von TEP Energy.

Die Wetterdaten von MeteoSchweiz von über 50 Messstationen werden genutzt, um den Einfluss der Jahreswitterung auf den Raumwärmebedarf und den Bedarf an Klimakälte zu berechnen. Die Witterungskorrektur für Raumwärme basiert auf dem Verfahren nach Gradtagen und Solarstrahlung.¹⁷

Die Berechnung des Stromverbrauchs von Haushalts- und Elektro-Geräten basiert auf einer Auswertung von FEA- und Swico-Marktstatistiken mit aktuellen Verkaufsdaten.¹⁸ Die verwendeten Marktdaten ermöglichen teilweise eine Aufteilung der Absatzmengen nach Energieeffizienzklassen. Statistiken des BFS zur Ausstattung und Nutzung von IKT-Geräten werden genutzt, um die Bestandsentwicklung zu kalibrieren.

Die Energiestatistiken des BFE werden genutzt, um die mit dem Modell berechnete Verbrauchsentwicklung nach Energieträgern zu eichen.

4.2 Outputs

Zentrales Ergebnis und Output des Modells ist der Endenergieverbrauch des Sektors Private Haushalte nach:

- Energieträgern (Elektrizität, Heizöl, Erdgas, Kohle, Holz, Fernwärme, Solarthermie, Umweltwärme und Biogas) und
- Verwendungszwecken (u. a. Raumwärme, Warmwasser, Klima/Lüftung/Haustechnik, Kochen, Beleuchtung, Waschen und Trocknen, Kühlen und Gefrieren, IKT und Unterhaltung sowie übriger Verbrauch durch Elektrogeräte.

¹⁶ z. B. aus TEP Energy, 2020: Kostenerhebungen, durchgeführt im Rahmen des BFE-Forschungsprojekts „Low Invest Cost Solutions (LICS)“.

¹⁷ <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-geodaten/energiestatistiken/witterungsbereinigung.html>

¹⁸ FEA: Fachverband Elektroapparate für Haushalt und Gewerbe Schweiz

Swico: Schweizerischer Wirtschaftsverband der Anbieter von Informations-, Kommunikations- und Organisationstechnik

Im Rahmen der Faktorzerlegung werden ausserdem die Jahr-zu-Jahr-Veränderungen des Energieverbrauchs nach den wichtigsten Bestimmungsfaktoren ermittelt. Weitere Ergebnisse sind:

- CO₂- bzw. Treibhausgasemissionen des Energieverbrauchs (nach Energieträgern und Anwendungen)
- Angaben zu Beständen, u. a. an Wohnungen und Wohnflächen nach Gebäudetyp und Baualtersklassen, sowie an Elektrogeräten nach Gerätekategorie
- aus dem Energieverbrauch und den Beständen abgeleitete spezifische Verbrauchswerte, u. a. für Raumwärme nach Gebäudetypen und Elektrogeräte nach Gerätekategorien
- Beheizungsstruktur der Wohnungen und Wohnflächen
- Bestand an Wärmeerzeugern
- mittlere Nutzungsgrade der Wärmeerzeuger (Bestandsmittelwerte)
- energetisch sanierte Flächen bzw. die Sanierungsrate (als jährlich energetisch sanierte Fläche in Bezug auf die Gebäudefläche)

Im Rahmen von Szenarien werden ausserdem folgenden Grössen bestimmt:

- Absatzstruktur der Wärmeerzeuger (mit Wärmemarkt-Tool)
- Abriss- und Neubaumengen
- Stromlastkurven, anhand des Stromverbrauchs nach Anwendungen und Angaben zu den Wärmepumpen

Nachgelagert können die Kosten des Energieverbrauchs aber auch Investitionen für die energetischen Sanierungen und die neu in Verkehr gebrachten Anlagen und Geräte bestimmt werden.

5 Weitere Punkte

5.1 Akteure

Akteure werden in ProgRESS nur punktuell explizit abgebildet. Eine Berücksichtigung erfolgt im Wärmemarkt-Tool zur Berechnung der Absatzstruktur der Wärmeerzeuger. Unterschieden werden hier Selbstnutzer und Vermieter, differenziert nach EZFH und MFH sowie Neubauten und Bestandsgebäuden.

In Szenarien wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass sich die Akteure in der Zukunft gleich verhalten wie in der Vergangenheit. Dabei werden Trends, bzw. Präferenzen für gewisse Technologien (z. B. grösser werdende TV-Geräte) fortgeschrieben.

5.2 Abbildung bzw. Berücksichtigung von Politikinstrumenten

Mit dem Modell lassen sich alle relevanten politischen Instrumente und Massnahmen im Haushalts- bzw. Gebäudesektor abbilden, dazu zählen u. a. die Gebäudeförderung, die CO₂-Bepreisung im Rahmen des CO₂-Gesetzes, Anforderungen an Neubauten und sanierte Gebäude. Im Elektrogerätemodell lassen sich ordnungsrechtliche Vorgaben gut abbilden, z. B. das Verbot bestimmter

Effizienzklassen oder Anforderungen an den Stand-by-Verbrauch. Nicht, bzw. schlecht abbildbar sind im Gerätemodell Fördermassnahmen oder Informationsmassnahmen.

5.3 Unsicherheiten und Validierung

Unsicherheiten werden in ProgRESS nicht explizit abgebildet, Vertrauensintervalle werden nicht standardmässig erzeugt. In der Regel werden Unsicherheiten im Rahmen von Sensitivitäten aufgezeigt.

Es gibt keine wissenschaftlichen Artikel, in denen das Modell kritisch geprüft bzw. validiert wurde. Das Modell wurde für die Auftragsforschung und Dienstleistungsaufträge entwickelt. Im Kontext der jeweiligen Projektarbeit werden das Modell regelmässig überprüft und die Ergebnisse kritisch diskutiert.

Unsicherheiten bestehenden bei der **sektoralen Abgrenzung**. Das Modell ProgRESS bildet grundsätzlich den Energieverbrauch des Sektors Private Haushalte ab, entsprechend dem national und international üblichen Wirtschaftssektor *Haushalte*. Zusammen mit dem Energieverbrauch der dauernd bewohnten Erstwohnungen wird mit dem Modell auch der Energieverbrauch in zeitweise bewohnten Zweit- und Ferienwohnungen mit berechnet. Die Zuordnung dieser Wohnungen in der Energiestatistik ist nicht vollständig zu klären. Methodisch sind die Zweitwohnungen den Privaten Haushalten, die gewerblich vermieteten Ferienwohnungen dem Dienstleistungssektor zuzurechnen. Die Aufteilung der Zweit- und Ferienwohnungsbestände – letztere überwiegen zahlenmässig wohl deutlich – ist nicht hinreichend genau bekannt. Deshalb werden in den Arbeiten für das BFE alle Zweitwohnungen als Ferienwohnungen betrachtet. Entsprechend werden die im Haushaltsmodell ermittelten Energieverbräuche der Zweit- und Ferienwohnungen vom modellmässig ermittelten Raumwärmeverbrauch aller Wohnungen abgezogen und im Sektor Dienstleistungen ausgewiesen. Ebenfalls dem Dienstleistungssektor zugerechnet wird der Stromverbrauch der gemeinschaftlich genutzten Gebäudeinfrastruktur in Mehrfamilienhäusern (u. a. Pumpen und Steuerung der Heizungs- und Warmwasseranlagen sowie teilweise der Stromverbrauch von gemeinschaftlich genutzten Haushaltsgeräten).

Ein weiteres Abgrenzungsproblem besteht durch das Einmieten von gewerblichen Unternehmen in Wohngebäude, beispielsweise durch die (vorübergehende) Verwendung von Wohnungen als Praxen, Büros oder Ateliers.¹⁹ Zudem gewinnt das «Home-Office» zunehmend an Bedeutung und verwischt die Grenze zwischen Wohn- und Arbeitsort. Hierzu liegen jedoch (noch) kaum belastbare Angaben vor. Dadurch wird die Qualität der verwendeten sektoralen Flächenbestandsdaten, aber auch die Zuordnung des Stromverbrauchs von Beleuchtung und Elektrogeräten beeinflusst,

5.4 Kalibration

Die energiestatistische Grundlage für die Kalibrierung des Modells bilden die aktuellen Daten der Gesamtenergiestatistik des BFE.²⁰ Die Modelleingangsdaten und -parameter werden an die Statistik angepasst («geeicht»), so dass das berechnete Verbrauchsniveau sowie die Entwicklungstrends und jährlichen Veränderungen im Mittel gut mit der Energiestatistik übereinstimmen, unter Beibehaltung der durch die Bau- und Absatzstatistik vorgegebenen Eckwerte. Im Rahmen der Ex-

¹⁹ Im GWR sind gewisse Angaben zu «zweckentfremdeten Wohnungen» enthalten.

²⁰ Gesamtenergiestatistik, Bundesamt für Energie: <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-geodaten/energiestatistiken/gesamtenergiestatistik.html>

Post-Analyse erfolgt jedoch keine Kalibration auf die einzelnen Jahreswerte der Energiestatistik. Die in der Regel geringen Differenzen werden stehen gelassen.

Bei Bedarf kann eine exakte Kalibration auf die Jahreswerte nach Energieträgern vorgenommen werden, dieser Ansatz erfolgte beispielsweise bei den Energieperspektiven 2050+. Für diese Kalibration wird aus der Differenz zwischen dem unkalibrierten Verbrauch und dem Soll-Wert der Energiestatistik für jedes Jahr und jeden Energieträger ein Korrekturfaktor berechnet. Mit diesen Korrekturfaktoren werden anschliessend die Modellwerte skaliert. Dies erfolgt auf Ebene der Energieträger, unabhängig vom Verwendungszweck.

5.5 Vergleich mit weiteren Publikationen

Angaben zum Energieverbrauch und zur Effizienzentwicklung der Elektrogeräte werden vom BFE auch im Rahmen der jährlichen verkaufszahlenbasierten Energieeffizienzanalyse von Elektrogeräten veröffentlicht (siehe z. B. eae et al. 2023²¹). Grundsätzlich basieren die in der Ex-Post-Analyse veröffentlichten Zahlen zu den Elektrogeräten und die in der Effizienzanalyse publizierten Ergebnisse auf identischen Datengrundlagen, Methoden und Modellen. Die Ergebnisse der beiden Publikationen weichen jedoch teilweise voneinander ab. Dies ist im Wesentlichen auf die unterschiedliche sektorale Abgrenzung (inkl./exkl. Office-Geräte) und die Aktualität der Inputdaten zurückzuführen. Die Berechnungen zur jährlichen verkaufszahlenbasierten Energieeffizienzanalyse von Elektrogeräten erfolgen zeitlich etwas verzögert, so dass in der Ex-Post-Analyse des Energieverbrauchs nach Verwendungszwecken die finalen Ergebnisse der Effizienzanalyse nicht berücksichtigt werden können. In der Regel sind die Differenzen zwischen den beiden Publikationen gering, wobei die Differenzen bei den Werten am aktuellen Rand (Vorjahr, aktuelles Jahr) in Ausnahmefällen auch etwas grösser ausfallen können. Mit der Einarbeitung der Änderungen im nachfolgenden Jahr gleichen sich die Schätzwerte zwischen den beiden Studien aber jeweils wieder an.

Das Modell ProgRESS wurde auch für die Berechnung des Sektors Private Haushalte in den Energieperspektiven 2050+ eingesetzt.²² Grundsätzlich stimmen die mit dem Modell erzeugten Verbrauchswerte für die Ex-Post-Analyse gut mit den Werten der Energieperspektiven 2050+ überein. In den Energieperspektiven 2050+ sind die Ergebnisse bis zum Jahr 2018 exakt auf die Energiestatistik kalibriert, die Jahre ab 2019 sind Szenarienergebnisse. In der Ex-Post-Analyse werden die Modellergebnisse hingegen nicht exakt auf die Energiestatistik kalibriert. Zudem basieren in der Ex-Post-Analyse die Inputwerte auf effektiven Statistikwerten; es fliessen keine Szenario-Annahmen in die Berechnungen ein. Ausserdem wird das Modell kontinuierlich leicht weiterentwickelt und punktuell ergaben sich rückwirkende Aktualisierung von Inputdaten. Dadurch erklären sich gewisse Differenzen zwischen der Ex-Post-Analyse und den Energieperspektiven. Für die Werte der Jahre bis 2018 sind die Differenzen in der Regel jedoch gering.

5.6 Treibhausgas-Emissionen

Das Modell bildet den Energieverbrauch nach Energieträgern ab. Anhand von Emissionsfaktoren der Energieträger können im Anschluss an die Berechnung des Energieverbrauchs alle relevanten Treibhausgase bestimmt werden. Für den Haushaltssektor sind dies CO₂, CH₄ und N₂O.

²¹ eae, Eurofins, Prognos, FEA und Swico (2023). Verkaufszahlenbasierte Energieeffizienzanalyse von Elektrogeräten 2023. Studie im Auftrag von energieschweiz/BFE. <https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/11618>

²² Prognos, TEP Energy, Infrac (2021): <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/politik/energieperspektiven-2050-plus.html>

5.7 Software und Programmiersprache

Das Modell verwendet für die Simulation der Wohngebäude und des mit den Wohngebäuden verbundenen Energieverbrauchs sowie für die Faktorzerlegung die Software Mathematica des Unternehmens Wolfram mit der Programmiersprache Mathematica. Input und Outputs basieren auf Excel. Auch die Kohortenmodelle der Elektrogeräte basieren auf Excel. Git-Hub wird für die Versionskontrolle bei der Weiterentwicklung genutzt.

5.8 Open Source

Beim Modell ProgRESS handelt sich um ein Modell der Prognos AG. Das Modell ist nicht Open Source. Die Prognos AG finanziert sich zu 100 % über Projekte (keine Fremdfinanzierung). Das Modell wurde in Eigenleistung erstellt und ist Firmeneigentum. Geteilt werden im Rahmen von Projekten Annahmen, Inputs und Ergebnisse, jedoch nicht die Modelle bzw. nicht der Modellcode.