



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 Industrie

---

---

# Methodenbericht Industriesektor

---

Dokumentation des  
Prognos Industry Developer for Energy (prIDe)

**Von**  
Alexander Piégsa  
**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

### Arbeitsprachen

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](mailto:info@prognos.com) | [www.prognos.com](http://www.prognos.com) | [www.linkedin.com/company/prognos-ag](http://www.linkedin.com/company/prognos-ag)

---

# Inhaltsverzeichnis

---

Abkürzungsverzeichnis	V
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Überblick</b>	<b>2</b>
<b>3 Modell-Design</b>	<b>5</b>
3.1 Ansatz	5
3.2 Berechnungsverfahren	5
3.3 Dimensionalität	7
3.4 Zentrale Treiber	14
<b>4 Inputs und Outputs</b>	<b>19</b>
4.1 Inputs	19
4.2 Outputs	21
<b>5 Weitere Punkte</b>	<b>22</b>

---

## Abkürzungsverzeichnis

---

BFE	Bundesamt für Energie
BFS	Bundesamt für Statistik
BWS	Bruttowertschöpfung
CH <sub>4</sub>	Methan (ein Treibhausgas)
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid (ein Treibhausgas)
GEST	Gesamtenergiestatistik
HFC	teihalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW, engl.: HFC) (ein Treibhausgas)
N <sub>2</sub> O	Distickstoffmonoxid oder auch Lachgas (ein Treibhausgas)
NF <sub>3</sub>	Stickstofftrifluorid (ein Treibhausgas)
NOGA	Nomenclature Générale des Activités économiques (dt.: Allgemeine Systematik der Wirtschaftszweige)
PFC	perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW, engl.: PFC) (ein Treibhausgas)
prIDe	Prognos Industry Developer for Energy
SF <sub>6</sub>	Schwefelhexafluorid (ein Treibhausgas)
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 Industrie 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).<sup>1</sup>

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

---

## 2 Überblick

---

### Ziel und Geltungsbereich

Mit dem von der Prognos AG entwickelten Prognos Industry Developer for Energy (*prIDe*) werden der Endenergieverbrauch und die Treibhausgasemissionen des Industriesektors auf nationaler Ebene modelliert. Zentrale Anwendung des Modells ist die szenarische Projektion der beiden Grössen, entweder ex-post oder ex-ante bis ins Jahr 2060. Dabei unterscheiden die Modellrechnungen neben der Jahreszahl auch unterschiedliche Branchen, Verwendungszwecke und Energieträger und berücksichtigen eine Vielzahl an einzelnen Technologien.

Zielsetzung des Modells ist die Berechnung eines durchgehenden und nach bestimmten Kriterien differenzierten Endenergieverbrauchs (resp. die Berechnung der THG-Emissionen) des nationalen Industriesektors unter dem Einfluss verschiedenster Annahmen. Die verschiedenen, möglichen Entwicklungen bzw. deren Rahmenbedingungen werden jeweils als eigenständige und konsistente Szenarien definiert. Mit Hilfe dieses Bottom-up-Simulationsmodells können demnach quantitative Aussagen innerhalb definierter szenariospezifischer Annahmen getroffen werden. Mögliche Forschungsfragen sind

- der Einfluss von technologischen Trends auf den Energiebedarf und die THG-Emissionen,
- die Wirkungsabschätzung von Politikinstrumenten, u. a. auf die Effizienzentwicklung oder auf die Energieträgersubstitution,
- Berechnung und Vergleich verschiedener Optionen zur Erreichung von Energie- und/oder Klimaschutzzielen, sowie nachgelagert
- die Berechnung des dazu notwendigen Investitionsbedarfs.

Die für das Gesamtbild eines Szenarios notwendigen Annahmen betreffen Aspekte, die über das eigentliche Energiesystem hinausgehen. Dazu gehören geopolitische, gesellschaftliche und auch sozioökonomische Aspekte, die direkt oder indirekt Einfluss auf das Energiesystem bzw. dessen Entwicklung nehmen. Dieser Punkt ist jedoch für die Ex-Post-Analyse irrelevant, denn diese basiert gänzlich auf den statistischen Informationen zur Dynamik der Rahmendaten.

### Grundlegende Modellstruktur

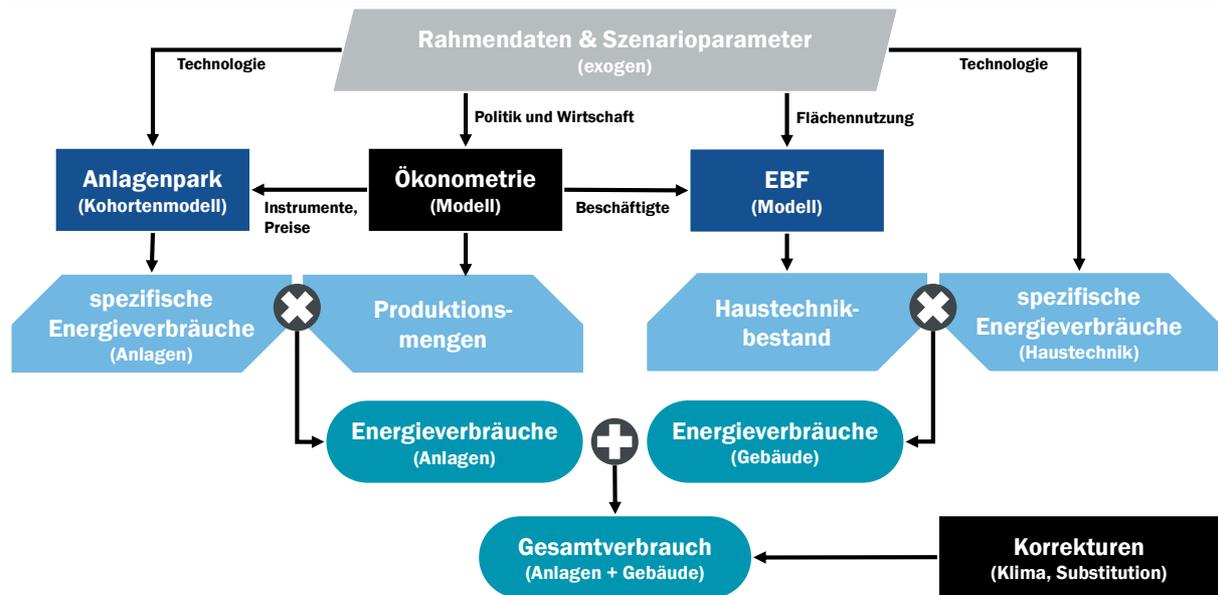
Das Modell setzt den Endenergieverbrauch möglichst kleinteilig aus den einzelnen Verbrauchergruppen, entweder Anlagen der Prozesstechnik oder der Haustechnik, zusammen (bottom-up). Die industrielle Produktion wird gemäss verfahrenstechnischer Systematik jeweils in einzelne Prozessschritte unterteilt, die separat betrachtet werden. Dabei wird nach vergleichsweise homogenen Produkten (Vor-, Zwischen- und Endprodukte) unterschieden. Wo dies nicht möglich oder nicht zielführend ist, wird stattdessen die Branche bzw. Unterbranche gesamthaft betrachtet (Abschnitt Branchen und Produkte). Jedem Prozessschritt wird mindestens eine Anlage zugewiesen, die die kleinste Verbrauchseinheit innerhalb des Modells darstellt. Der Energieträgereinsatz, den die Anlage für die Ausführung des Prozessschritts benötigt, hängt von den vorgegebenen Produktionsmengen und Annahmen über den technologischen Fortschritt ab.

Ablauf und Komponenten des Industriemodells sind im Flussdiagramm in Abbildung 1 abgebildet. Dort sind in dunkelblau der Kohortenalgorithmus sowie in hellblau die sich daraus ergebenden

spezifischen Verbräuche und der Bestand abgebildet (vergleiche Abschnitt Berechnungsverfahren). In türkis werden Produkt- und Summenbildung aufgeführt. Diese Komponenten stellen zusammen mit den Anbindungen an die Datenbanken sowie an Input- und Korrekturfaktoren den technischen Teil des Modells dar.

**Abbildung 1: Modellstruktur**

Flussdiagramm des Industriemodells



© Prognos AG

Die eigentliche Modellierarbeit hingegen besteht in der Prognose zukünftiger, branchenspezifischer Werte für die Produktionsmengen und den Haustechnikbestand sowie die spezifischen Energieverbräuche und Emissionen unter Berücksichtigung von technologischem Fortschritt, politischen Steuerungseingriffen und ökonomischem Kalkül. Im Flussdiagramm übernehmen das die schwarz und grau hinterlegten Module. Mit ihnen werden z. B. die Rolle der Bruttowertschöpfung oder Erwerbstätigenentwicklung auf den Energieverbrauch eruiert (Abschnitt Mengenindikator). Die bestehenden Rahmendaten werden dann anhand der gefundenen Korrelationen in die Zukunft extrapoliert und aus ihnen die für die weitere Berechnung obligatorischen Größen geschätzt.

Alle Berechnungen (Ökonometrie, Kohorte, Endenergieverbrauch) erfolgen strikt iterativ über die Zeit, weil sich die wenigsten Zusammenhänge aufgrund ihrer Interdependenzen der Form  $x(t_i) = f(x(t_{i-1}))$  und teils rückkoppelndem Einfluss mancher Rahmendaten isoliert beschreiben lassen.

### Geographische Abdeckung und räumliche Auflösung

*prIDE* kann grundsätzlich für verschiedene geografische Abgrenzungen genutzt werden. Die derzeit genutzten Eingabewerte beziehen sich auf die Schweiz und z. T. auch auf ihre Kantone. Das Modell verfügt jedoch über keinerlei räumliche Logik bei der Berechnungsmethode, sodass immer die Schweiz als Total in den Ergebnissen abgebildet wird. Über einen optionalen

nachgelagerten Berechnungsschritt können die nationalen Ergebnisse anhand von regionalen Strukturdaten auf untergeordnete geografische Einheiten (Kantone oder Gemeinden) regionalisiert werden.

### **Zeitliche Auflösung und Zeithorizont**

Das Modell *prIDE* rechnet in Kalenderjahresschritten vom frühesten Startzeitpunkt 1990 bis maximal 2060. Das Jahr 1995 ist das Basisjahr, d. h. dieses bildet den Ausgangspunkt für die Kohortenbildung sowie den Startpunkt der Fortschreibung (als auch der «Rückschreibung» bis zum Startzeitpunkt). Die Modellergebnisse bzw. die Bestände und Verbrauchswerte werden an die verfügbaren Statistiken kalibriert (Abschnitt Kalibration und Eichung). Abweichungen von Modellwert zu Statistik ermöglichen eine Einschätzung der Modellgüte und geben Hinweise auf notwendigen Anpassungsbedarf.

Weiter ist es möglich, die jahresscharfen Modellergebnisse nachträglich auf Quartale aufzuteilen. Dafür werden unterjährige Informationen zu den Produktionsindices sowie zur Witterung herangezogen.

### **Systemgrenze**

Das Modell bildet für die gesamte Schweizer Industrie (NOGA 2008 07–43, ohne 19; Abschnitt 3.3) den Energieverbrauch in der GEST-Abgrenzung sowie die THG-Emissionen in der IPCC-Abgrenzung (CRF-Kategorien 1A2 und 2) ab. Beide Abgrenzungen sind territoriale Quellenbilanzen, d. h. dass Energieverbrauch und THG-Emissionen räumlich und sektoral dort verbucht werden, wo sie tatsächlich entstehen. Damit bleiben z. B. Vorkettenemissionen von importierten Gütern oder der Verkehr des Fuhrparks hier unberücksichtigt.

Weiter erfasst das Industriemodell sowohl den Verbrauch an Endenergie als auch den Energieträgereinsatz zur Eigenstromerzeugung. Um mit der Systematik der GEST, welche seit der Ausgabe 2010 strikt Produktionsprozesse von (energetischen) Umwandlungsprozessen trennt (BFE 2011), konform zu sein, findet eine Umbilanzierung statt. Von der Eigenenergieerzeugung aus WKK-Anlagen werden daher nur die Energieträger zur Wärmeproduktion sowie der erzeugte (und im Betrieb verbrauchte) Strom, nicht jedoch die Energieträger, welche für die Stromproduktion eingesetzt wurden, als Verbrauch ausgewiesen. Die Stromerzeugung aus PV-Anlagen auf dem Werksgelände wird generell nicht berücksichtigt – diese wird per Definition im Umwandlungssektor verbucht.

### **Modell-Einordnung**

Das Industriemodell ist Teil der Prognos-Modellelandschaft<sup>2</sup> und eingebunden in die Energiesystems-synthese, welche die Ergebnisse aller Sektormodelle bündelt und eine zentrale Auswertung ermöglicht.

<sup>2</sup> <https://www.prognos.com/de/modelle-tools/modelle>

---

## 3 Modell-Design

---

Dieses Kapitel erläutert die Funktionsweise des Industriemodells, indem die zugrundeliegende Logik, die Umsetzung der einzelnen Berechnungsschritte und deren Abfolge sowie die Berücksichtigung zentraler Treiber und Einflüsse beschrieben werden, um schliesslich eine Schätzung des industriellen Endenergieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen der Schweiz zu ermöglichen.

### 3.1 Ansatz

Für die Modellierung des industriellen Energieverbrauchs wurde der sogenannte Bottom-up-Ansatz gewählt. Nach diesem werden die industriellen Verbräuche möglichst kleinteilig in ihre jeweiligen Prozessschritte aufgeteilt und diese dann separat modelliert. Schliesslich werden alle Einzelverbräuche aggregiert und bilden den totalen Energieverbrauch des Sektors. Dabei wird angenommen, dass der Verlauf des Endenergiebedarfs (resp. der THG-Emissionen) bei Kenntnis der jährlichen Produktionsmengen und der technischen Entwicklung des Anlagenparks gut abzuschätzen ist. Beim gewählten Ansatz entwickeln sich die einzelnen Verbraucher unter Einfluss der Rahmendaten weitgehend isoliert voneinander und verändern somit implizit die strukturelle Entwicklung des Industriesektors.

### 3.2 Berechnungsverfahren

#### Formalisierung

Die Berechnung und Fortschreibung des Endenergieverbrauchs der einzelnen Verbraucher (ergo der einzelnen Prozessschritte) erfolgt im Wesentlichen auf Grundlage von Mengenindikatoren einerseits und spezifischen Energieverbräuchen andererseits. Als Mengenindikatoren werden soweit möglich physische Produktionsmengen verwendet, beispielsweise Hektoliter Bier oder Tonnen Verpackungspapier. Dies gelingt bei vergleichsweise homogen produzierenden Branchen. Für die übrigen Branchen wird die Produktionsmenge hauptsächlich anhand des Produktionsindex und der Bruttowertschöpfung (BWS) beschrieben. Insbesondere die BWS als monetären Grössen bestimmt den Energieverbrauch zwar nicht unmittelbar, ist aber mit diesem korreliert. Der Mengenindikator der Haustechnikprozesse ist die Energiebezugsfläche, differenziert nach Branchen und Gebäudetyp, d. h. nach Produktionshalle und Verwaltungsgebäude. Die spezifischen Energieverbräuche der einzelnen Prozessschritte werden über einen Kohortenalgorithmus ermittelt. Die Geschwindigkeit, mit der sie sich verändern, hängt im Wesentlichen von Technologieentwicklungen und autonomen Entwicklungstrends der Branche ab. A priori sind die spezifischen Energieverbräuche der einzelnen Verbraucher unbekannt und müssen initial anhand der Statistik und Einzelanlageninformationen qualifiziert geschätzt werden (Abschnitt Technik und Politik). Die Prozessschritte haben in der Regel einen allgemeinen Charakter und weisen energieträgerbezogene spezifische Energieverbräuche sowie einen typischen Energieträgermix (aus Elektrizität und Brennstoffen) auf, welche für die einzelnen Prozessschritte auf den Branchendurchschnitt kalibriert werden. Der Energieträgermix ändert sich historisch kontinuierlich mit der Zeit, sodass insgesamt einerseits mehr Elektrizität, aber auch innerhalb der Brennstoffe weniger Mineralöle und mehr Erneuerbare zum Einsatz kommen (Abschnitt Energieträger-Substitution). Existieren für eine

Branche/Produkt/Produktgruppe mehrere Prozessketten, so sind eventuell jährliche Veränderungen ihrer Gewichtungen untereinander möglich. Weiter beeinflusst noch die Witterung den Energieverbrauch für Raumwärme.

Den gesamtschweizerischen industriellen Endenergieverbrauch erhält man schliesslich durch Aufaddieren aller Einzelverbräuche, die ausgehend vom Basisjahr 1995 iterativ jeweils aus den Vorjahresverbräuchen und den Änderungen der einzelnen Treiber berechnet werden:

$$E(t) = \sum_{p,et} E(t-1,p) \cdot [1 + \Delta M(t-1 \rightarrow t,p) + \Delta SE(t-1 \rightarrow t,p,et) + \Delta W(t-1 \rightarrow t,p)] \cdot G(t,p) \cdot A(t,p,et)$$

$E(t)$ :	gesamter Endenergieverbrauch im Zeitraum $t$
$E(t-1,p)$ :	Energieverbrauch eines Prozessschrittes $p$ im Vorjahreszeitraum $t-1$
$\Delta M(t-1 \rightarrow t,p)$ :	Änderung des Mengenindikators vom Vorjahreszeitraum $t-1$ auf Zeitraum $t$ für Prozessschritt $p$
$\Delta SE(t-1 \rightarrow t,p,et)$ :	Änderung des spezifischen Endenergieverbrauchs vom Vorjahreszeitraum $t-1$ auf Zeitraum $t$ für Prozessschritt $p$ und Energieträger $et$
$\Delta W(t-1 \rightarrow t,p)$ :	Änderung des Witterungseffektes vom Vorjahreszeitraum $t-1$ auf Zeitraum $t$ für Prozessschritt $p$
$G(t,p)$ :	Prozessketten-Gewichtungsfaktor im Zeitraum $t$ für Prozessschritt $p$ (derzeit überwiegend identisch 1, da nur eine Prozesskette je Produkt implementiert ist)
$A(t,p,et)$ :	Energieträger-Anteil im Zeitraum $t$ für Prozessschritt $p$ und Energieträger $et$
$t$ :	Zeitraum (Kalenderjahr oder Quartal)
$p$ :	Prozessschritt (= Verbraucher, resp. Anlage oder Gerät)
$et$ :	Energieträger (Elektrizität und Brennstoffe; Brennstoffe in $A$ weiter differenziert)

Insgesamt berechnet das Industriemodell über 800 Einzelverbräuche für jeden Zeitraum  $t$ . Die wichtigsten Treiber des Endenergieverbrauchs sind  $M$  und  $SE$ , diejenigen der THG-Emissionen  $M$  und  $A$ . Da alle Treiber linear in die Berechnung eingehen, sollten sie auch etwa in ähnlicher Genauigkeit vorliegen. Die Beschaffung und das Aufdatieren dieser Größen in der gewünschten Detailtiefe, d. h. unterteilt nach Jahren und Energieträger für jeden Prozessschritt stellt einen signifikanten Anteil des Arbeitsumfangs am Modell dar.

## Hierarchisierung

Die Berechnung des Endenergieverbrauchs nach obiger Formalisierung unterscheidet die Ebenen

- Jahr,
- Branche (bzw. Produktgruppe),
- Prozesskette,
- Prozess,
- Anlage (inkl. Verwendungszweck und Querschnittstechnologien) und
- Energieträger (Strom oder Brennstoff/Wärme),

wobei je Branche oft nur eine Prozesskette und je Prozess oft nur eine Anlage existiert. Einer einzelnen Anlage ist immer auch ein Verwendungszweck und eine oder mehrere Querschnittstechnologien zugeordnet. Ersterer hat keinen direkten Einfluss auf die Berechnung, ermöglicht jedoch

die Auswertung der Ergebnisse auf Basis des Einsatzzweckes einer Anlage (Abschnitt Verwendungszwecke). Letztere beeinflussen die möglichen zusätzlichen Effizienzeinsparungen bei höherer Durchdringung mit effizienteren Technologien. Die Aufteilung der eingesetzten Brennstoffe bzw. der eingesetzten Wärme auf die einzelnen Energieträger findet in einem separaten Berechnungsschritt statt.

Aus Gründen einer flexiblen späteren Auswertung werden in der Ergebnistabelle alle Ebenen (inkl. Verwendungszwecke, aber ohne Querschnittstechnologien) durchgehend ausgewiesen.

### **(Prozessbedingte) THG-Emissionen**

Das zuvor beschriebene Berechnungsverfahren bezieht sich nur auf den Endenergiebedarf. Aus diesem werden die verbrennungsbedingten Emissionen mittels der individuellen Emissionsfaktoren separat für die Gase Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O) berechnet (Tabelle 3). Dieser Abschnitt ist nicht relevant für die Ex-post-Analysen, soll aber der Vollständigkeit halber genannt werden.

Weiter müssen in der Bilanzierung des Nationalen Treibhausgasinventars zudem auch die prozessbedingten Emissionen (CRF-Kategorie 2) modelliert werden. Für diese Emittenten wird eine vereinfachte Berechnung angesetzt:

$$T(t) = \sum_{p, thg} M(t, p) \cdot SE(t, p, thg)$$

<i>T(t)</i> :	gesamte prozessbedingte Treibhausgasemissionen im Zeitraum <i>t</i>
<i>M(t,p)</i> :	Mengenindikator im Zeitraum <i>t</i> für Prozess <i>p</i>
<i>SE(t,p)</i> :	spezifische Emissionen im Zeitraum <i>t</i> für Prozess <i>p</i> und Treibhausgas <i>thg</i>
<i>t</i> :	Zeitraum (Kalenderjahr oder Quartal)
<i>p</i> :	einzelner Prozess innerhalb von CRF 2
<i>thg</i> :	Treibhausgase (CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O und die F-Gase HFC, PFC, SF <sub>6</sub> , NF <sub>3</sub> )

Jedem Einzelprozess innerhalb der CRF-Kategorie 2 wird sowohl eine Menge *M* als auch auf die Menge bezogene spezifische Emissionen je Treibhausgas zugewiesen. Sofern diese Größen nicht bereits im Hauptmodell zur Verfügung stehen, werden sie anhand des THG-Inventars abgeleitet und anhand sich abzeichnender Trends sowie sich ändernder Randbedingungen (wie z. B. der europäischen F-Gas-Verordnung<sup>3</sup>, die indirekt Einfluss auf die Verfügbarkeit bestimmter Kühlmittel in der Schweiz hat) projiziert.

### **3.3 Dimensionalität**

Das Bottom-up-Prinzip erlaubt es, jeden einzelnen Verbraucher (resp. Produktions- oder Haus-technikprozess) in die vom Modell genutzten Dimensionen einzuordnen. Dies geschieht bereits in der Strukturierung der Daten. Diese Systematik benötigt zwar eine vorausgehende, einmalige Kalibration aller Verbrauchsdaten auf die Vergangenheit (Abschnitt Kalibration), bietet allerdings die Möglichkeit zur gezielten Betrachtung einzelner Verbraucher bzw. Produktionsstrukturen. Die

<sup>3</sup> [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L\\_202400573](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202400573)

Ergebnisse der Bottom-up-Systematik sind dabei intrinsisch konsistent unter der (szenarischen) Variation eines Verbrauchers, sodass keine nachträgliche Kalibration nötig wäre.

Insgesamt unterscheidet *prIDE* rund 180 Produktionsprozesse, darunter z. B. das Kochen und Blanchieren in der Nahrungsmittelproduktion, das Klinkerbrennen in der Zementindustrie und das Pressen von Profilen, Rohren, Stangen in der Metallindustrie, sowie rund 200 Haustechnikprozesse, die die energetischen Aufwendungen für Raumheizung, Beleuchtung etc. in den unterschiedenen Branchen beschreiben und sich branchenübergreifend nur in ihrem Niveau (in Anhängigkeit der Energiebezugsfläche) unterscheiden, nicht jedoch in ihrer Struktur, wegen identischer Annahmen zur Effizienzentwicklung. Diese Prozesse werden insbesondere den für die spätere Auswertung inhaltlich relevanten Dimensionen Branche, Verwendungszweck und Energieträger zugeordnet. Jede dieser Dimension setzt sich aus mehreren hierarchischen Einträgen zusammen, welche den Verbraucher eindeutig definieren.

Es werden 12 Branchen bzw. über 50 Unterbranchen und Produkte (Tabelle 1) unterschieden. Die gewählte Branchenabgrenzung orientiert sich in der obersten Aggregationsebene an den Veröffentlichungen des BFE, insbesondere der «Energieverbrauchsstatistik in der Industrie und im Dienstleistungssektor»<sup>4</sup>. Weiterhin werden intern 25 Verwendungszwecke differenziert (Tabelle 2), wobei die Auflösung bei den Prozesswärmeniveaus sowie der Aufteilung der Haustechnik auf Hallen und Büros zur Reduktion statistischer Unsicherheiten teilweise nur aggregiert ausgewiesen werden. Schließlich werden noch 18 BFE-kompatible Energieträger unterschieden (Tabelle 3). Innerhalb dieser Systematik ist es leicht möglich, zusätzliche Einträge hinzuzufügen, falls dies z. B. aufgrund einer bestimmten Szenariendefinition notwendig sein sollte. Inklusiv der zeitlichen Entwicklung entweder in Jahren oder in Quartalen weist das Modellergebnis damit mindestens die vier Dimensionen Zeit, Branche/Produktgruppe/Produkt, Verwendungszweck und Energieträger auf. Dies ermöglicht eine umfassende Auswertung der Ergebnisse nach den gegebenen Anforderungen und der gewünschten Auflösung. Speziell bei den prozessbedingten Emissionen ergibt sich eine etwas andere Dimensionalität, nämlich Zeit, Branche/Produktgruppe/Produkt und Treibhausgas (Abschnitte (Prozessbedingte) THG-Emissionen und CRF-Kategorien).

## Branchen und Produkte

Die Branchenaufgliederung nach Wirtschaftszweigen folgt der schweizerischen NOGA 2008-Klassifikation<sup>5</sup>. Dies gewährleistet eine ausreichende nationale und internationale Vergleichbarkeit mit inländischen Statistiken und Veröffentlichungen zwischen Staaten der EU und der UNO. Aufgrund der begrenzenden Datenlage oder der geringen Bedeutung bestimmter Branchen an der Gesamtenergiebilanz setzt sich die effektive Aggregation der modellierten Branchen meist aus einer Mischung aus 2- und 3-Stellern der NOGA 2008-Systematik zusammen. Um energetisch wichtige Branchen gebührend zu analysieren, wird die NOGA 2008-Klassifikation vereinzelt bis auf die 4-Steller-Ebene aufgelöst oder sogar eine zusätzliche fünfte Ebene eingeführt – z. B. bei der Modellierung der Papierherstellung, welche die verschiedenen Papiersorten separat berücksichtigt. Umgekehrt werden einige Branchen des Modells aus dem Zusammenschluss mehrerer NOGA 2008-Branchen gebildet: So setzt sich z. B. die übergeordnete Branche Elektrotechnik aus den Branchen der Nummern 26 und 27 zusammen. Prinzipiell lässt das Modelldesign jedoch eine beliebige andere Aufteilung zu, sofern diese aus der Feinaufteilung der NOGA 2008-Klassifikation gebildet werden kann. Insbesondere kann die Branchenstruktur, wie sie von der «Energieverbrauchsstatistik in der Industrie und im Dienstleistungssektor» genutzt wird und grosse,

<sup>4</sup> <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-geodaten/energiestatistiken/teilstatistiken.html>

<sup>5</sup> <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/industrie-dienstleistungen/nomenklaturen/noga.html>

homogen produzierende Verbraucher möglichst in einer Branche zusammenfasst, identisch nachgebildet werden.

Die Systemgrenze zum Handels- und Dienstleistungssektor ist durch die NOGA 2008-Klassifikation selbst gegeben: Der Industriesektor deckt die NOGA 2008-Klassen 07 bis 43 ab<sup>6</sup> und der Dienstleistungssektor die NOGA 2008-Klassen 01 bis 03 sowie 45 bis 99 ab. Das Industriemodell unterscheidet insgesamt 54 Branchen/Produktgruppen/Produkte (Tabelle 1).

**Tabelle 1: Branchen und Produkte**

Die im Industriemodell genutzte Branchenaufgliederung in NOGA 2008-Klassifikation und deren Anteil am industriellen Endenergieverbrauch

<b>NOGA 2008</b>	<b>Branche</b>	<b>NOGA 2008-Beschreibung</b>	<b>Produkte und/oder Unterbranchen*</b>	<b>Produktionsprozesse</b>	<b>Haustechnikprozesse#</b>	<b>EEV-Anteil 2019-2023</b>
10-11	Nahrung, Getränke		4	10	4	16 %
10	Nahrung	Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln	3	8	-	15 %
11	Getränke	Getränkeherstellung	1	2	-	1 %
13-15	Textilien, Bekleidung, Leder		2	5	16	1 %
13	Textilien	Herstellung von Textilien	1	3	8	1 %
14-15	Bekleidung, Leder	Herstellung von Bekleidung; Herstellung von Leder, Lederwaren und Schuhen	1	2	8	0 %
17	Papier	Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus	13	54+2	8	6 %
17.11	Holzstoff, Zellstoff	Herstellung von Holz- und Zellstoff	2	35	-	1 %
17.12/2	Papier, Pappe, Papierwaren	Herstellung von Papier, Karton und Pappe; Herstellung von Waren aus Papier, Karton und Pappe	11	19	-	5 %
20-21	Chemie, Pharmazie		4	15	32	22 %
20.1	Grundstoffe	Herstellung von chemischen Grundstoffen, Düngemitteln und Stickstoffverbindungen, Kunststoffen in Primärformen und synthetischem Kautschuk in Primärformen	1	3	8	2 %
20.2-5	Restchemie	Herstellung von Schädlingsbekämpfungsmitteln, Pflanzenschutz- und Desinfektionsmitteln; Herstellung von Anstrichmitteln, Druckfarben und Kittungen; Herstellung von Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Körperpflegemitteln sowie von Duftstoffen; Herstellung von sonstigen chemischen Erzeugnissen	1	5	8	13 %
20.6	Chemiefasern	Herstellung von Chemiefasern	1	3	8	0 %
21	Pharmazie	Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen	1	4	8	6 %

<sup>6</sup> exklusive der NOGA 2008-Klassen 19 und 35, welche beide dem Umwandlungssektor zugeschrieben werden

23	Mineralien	Herstellung von Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	11	32	40	13 %
23.1	Glas	Herstellung von Glas und Glaswaren	1	2	8	2 %
23.2-4	Keramik, Ziegel	Herstellung von feuerfesten keramischen Werkstoffen und Waren; Herstellung von keramischen Baumaterialien; Herstellung von sonstigen Porzellan- und keramischen Erzeugnissen	2	4	16	0 %
23.5	Zement, Kalk, Gips	Herstellung von Zement, Kalk und gebranntem Gips	7	24	8	10 %
23.6-9	Übrige Mineralien	Herstellung von Erzeugnissen aus Beton, Zement und Gips; Be- und Verarbeitung von Naturwerksteinen und Natursteinen a. n. g.; Herstellung von Schleifkörpern und Schleifmitteln auf Unterlage sowie sonstigen Erzeugnissen aus nichtmetallischen Mineralien a. n. g.	1	2	8	1 %
24	Metalle	Metallerzeugung und -bearbeitung	7	21	32	8 %
24.1	Eisen, Stahl	Erzeugung von Roheisen, Stahl und Ferrolegierungen	1	3	8	2 %
24.2/3/5	Metallbearbeitung	Herstellung von Stahlrohren, Rohrform-, Rohrverschluss- und Rohrverbindungsstücken aus Stahl; Sonstige erste Bearbeitung von Eisen und Stahl; Gießereien	1	5	8	3 %
24.4	NE-Metalle	Erzeugung und erste Bearbeitung von NE-Metallen	5	12	16	2 %
25	Metallerzeugnisse	Herstellung von Metallerzeugnissen	4	15	8	6 %
26-27	Elektrotechnik	Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen; Herstellung von elektrischen Ausrüstungen	1	5	8	6 %
28-30	Maschinen, Fahrzeuge	Maschinenbau; Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen; Sonstiger Fahrzeugbau	1	9	8	4 %
36-39	Wasser	Wasserversorgung; Abwasserversorgung; Sammlung, Behandlung und Beseitigung von Abfällen; Rückgewinnung; Beseitigung von Umweltverschmutzungen und sonstige Entsorgung	1	2	8	1 %
41-43	Bau		2	6	16	3 %
41-42	Hoch- und Tiefbau	Hochbau; Tiefbau	1	4	8	1 %
43	Vorbereitende Arbeiten	Vorbereitende Baustellenarbeiten, Bauinstallation und sonstiges Ausbaugewerbe	1	2	8	2 %
07-09, 16, 18, 22, 31-33	Übrige		4	8	24	14 %
18	Druck	Herstellung von Druckerzeugnissen; Vervielfältigung von bespielten Ton-, Bild- und Datenträgern	2	4	8	1 %
22	Gummi, Kunststoff	Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	1	2	8	3 %

07-09, 12, 16, 31-33	Übrige	Erzbergbau; Gewinnung von Steinen und Erden, sonstiger Bergbau; Erbringung von Dienstleistungen für den Bergbau und für die Gewinnung von Steinen und Erden; Tabakverarbeitung; Herstellung von Holz-, Flecht-, Korb- und Korkwaren (ohne Möbel); Herstellung von Möbeln; Herstellung von sonstigen Waren; Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstungen	1	2	8	10 %
<b>07-18, 20-33, 36-43</b>	<b>Industrie</b>		<b>54</b>	<b>184</b>	<b>204</b>	<b>100 %</b>

\*) Unterbranchen bzw. Vor-, Zwischen- und Endprodukte

\*) viele der Haustechnikprozesse unterscheiden sich branchenübergreifend nur in ihrem Niveau (in Anhängigkeit der Energiebezugsfläche), nicht jedoch in ihrer Struktur (identische Annahmen zur Effizienzentwicklung)

© Prognos AG

Bei dieser Branchenaufteilung ist zu beachten, dass diese teils nur sehr eingeschränkt mit denjenigen der entsprechenden Branchenverbände übereinstimmt. Die Energiestatistiken der Verbände für ihre Mitglieder decken u. U. nicht die gesamte Branche oder stellen einen Zusammenschluss von Unternehmen verschiedener Branchen dar. Die Energiemodellierung wurde dennoch auf die oben genannte Klassifikation ausgerichtet, um die Kompatibilität mit den amtlichen Statistiken und deren umfangreichen Zusatzinformationen möglich zu machen. Weiter gilt für Haustechnikprozesse eine etwas gröbere Branchenaufteilung, da die Energiebezugsflächen (als wesentlicher Mengentreiber der Endenergieverbrauchs von Haustechnikprozessen) nicht in der vorgestellten Auflösung vorliegen.

Des Weiteren sind bei der Datenrecherche zwei Dinge zu berücksichtigen: Erstens dünnt der offizielle Datenbestand in der Vergangenheit aus, insbesondere vor 1995, wo zudem mit einer unterschiedlichen Branchenklassifikation umgegangen werden muss<sup>7</sup>. Zweitens muss eine genaue Abgrenzung des Industriesektors vorgenommen werden. Dieser setzt sich zusammen aus allen Betrieben mit einem oder mehr Beschäftigten, welche mehrheitlich in diesem Sektor tätig sind. Zum Teil werden jedoch Unternehmen statt Betriebe in den Statistiken geführt. Erstere können aufgrund ihrer vielfältigen Tätigkeiten durchaus mehreren NOGA-Klassen angehören, werden allerdings final ihrer hauptsächlichen Tätigkeit entsprechend eingeteilt. Zuordnungsunschärfen gibt es auch dann, wenn verschiedene Produkte und/oder Dienstleistungen unter einem Dach hergestellt bzw. angeboten werden. In solchen Fällen klassifizieren die offiziellen Statistiken das Unternehmen oder die Arbeitsstätte anhand der Mehrheit der Mitarbeiter, die in ebendieser Branche tätig sind<sup>8</sup>.

Von den offiziellen Statistiken des BFS (und auch aus Gründen der Sektorabgrenzung vorteilhaft) werden gewisse Branchen der Energiebereitstellung und -umwandlung, die damit inhaltlich dem Umwandlungssektor zuzurechnen sind, weder im Industrie- noch im Dienstleistungssektor ausgewiesen. Dies sind konkret

<sup>7</sup> Insgesamt gibt es die NOGA-Klassifikationen NOGA 95, NOGA 2002 und NOGA 2008 (und ab 2026 auch NOGA 2025). Für alle Klassifikationen existieren Umrechnungstabellen, sodass die Jahre des Zeitraums ab 1995 prinzipiell miteinander vergleichbar sind. Die Jahre vor 1995 verwenden zur NOGA-Systematik inkompatible Klassifikationen und können nur nach aufwändiger Umrechnung verwendet werden.

<sup>8</sup> NOGA 2008 - Allgemeine Systematik der Wirtschaftszweige – Einführung, <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/industrie-dienstleistungen/nomenklaturen/noga.assetdetail.344513.html>

- Kohlenbergbau (NOGA 2008 05, irrelevant für die Schweiz),
- Gewinnung von Erdöl und Erdgas (NOGA 2008 06, irrelevant für die Schweiz),
- Torfgewinnung (NOGA 2008 0892, irrelevant für die Schweiz),
- Erbringung von Dienstleistungen für die Gewinnung von Erdöl und Erdgas (NOGA 2008 091, irrelevant für die Schweiz),
- Kokerei und Mineralölverarbeitung (NOGA 2008 19) und
- Energieversorgung (NOGA 2008 35).

Diese Branchen sind nicht Teil des Industriesektors und werden von *prIDE* nicht modelliert.

## Verwendungszwecke

Der Verwendungszweck ist inhaltlich einer der wichtigsten Parameter für die Analyse des Energieverbrauchs. Darum wird jeder Energieverbrauch – eingeschränkt auch derjenige der Wirtschaftszweige ohne detaillierte Prozessketten und Anlagen – mindestens einem Verwendungszweck zugeordnet, ungeachtet der modellierten Detailstufe. Es wird unterschieden zwischen Verwendungszwecken der Prozesstechnik, also den Techniken mit direktem Bezug zur Produktion (z. B. Mechanische Arbeit, Prozesswärme) und solche der Haustechnik, welche sich auf die Nutzbarmachung der Gebäude beziehen (z. B. Heizung, Beleuchtung, Klimatisierung) (Tabelle 2).

**Tabelle 2: Verwendungszwecke**

Die im Industriemodell unterschiedenen Verwendungszwecke und deren Anteil am industriellen Endenergieverbrauch

Verwendungszweck	Unterteilungen	Bemerkung	EEV-Anteil 2019–2023
<b>Prozesstechnik</b>	<b>15</b>		80 %
Prozesswärme	8	Temperaturniveaus <200 °C, 200–400 °C, 400–600 °C, 600–800 °C, 800–1000 °C, 1000–1200 °C, 1200–1400 °C und >1400 °C	55 %
Mechanische Arbeit	3	Antriebe, Walzen und Pressen sowie weitere Prozesse	22 %
Elektrochemische Arbeit	1	z. B. Elektrolyse	1 %
Umweltschutz	1	z. B. Filteranlagen	2 %
Energieerzeugung	1	negativ bilanziert; inkl. WKK	(3 %)
Nicht-energetische Nutzung	1	stoffliche Verwertung eines Energieträgers	(-)
<b>Haustechnik</b>	<b>10</b>		20 %
Raumwärme und Warmwasser	2	je für Büro und Werkshalle, anschließend separieren von Raumwärme (8 %) und Warmwasser (2 %)	10 %
Beleuchtung	2	je für Büro und Werkshalle	6 %
Klimatisierung und Lüftung	2	je für Büro und Werkshalle, anschließend separieren von Klimatisierung (1 %) und Lüftung (2 %)	3 %
Informations- und Kommunikationstechnologie	2	je für Büro und Werkshalle	1 %
<b>Insgesamt</b>	<b>25</b>		<b>100 %</b>

## Energieträger

Nach der absoluten Höhe des Energieverbrauchs ist dessen Aufteilung auf die verschiedenen Energieträger eine der Kernaussagen des Modells. Für den Treibhausgas-Inventarbericht beispielsweise, der jährlich von Seiten des Bundesamts für Umwelt an den Weltklimarat geliefert wird<sup>9</sup>, muss diese Aufteilung wegen der unterschiedlichen Emissionsfaktoren der Energieträger für Kohlendioxid, Stickoxide und Äquivalente zwingend bekannt sein. Auch für die Versorgungssicherheit ist die Energieträgerstruktur von grosser Bedeutung, denn für jeden Energieträger gelten andere Bedingungen hinsichtlich Erzeugung, Einkauf und Lagerung sowie Einsatzmöglichkeit, Klimaschädlichkeit und Akzeptanz. Das Industriemodell führt die wichtigsten Energieträger der offiziellen Statistiken (Tabelle 3) und ist damit detailliert genug, um obige Themenfelder umfassend bearbeiten sowie Trends einzelner Energieträger gezielt verfolgen zu können.

**Tabelle 3: Energieträger**

Die vom Industriemodell geführten Energieträger nach Typ, Art und deren Anteil am industriellen Endenergieverbrauch

Energieträger	Typ: Primär- oder Sekundärenergieträger?	Art: fossil oder regenerativ?	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor [kg/GJ]	EEV-Anteil 2019-2023
Kohle und Koks	P/S	F	92,7	2 %
Erdölprodukte	S	F	~75	8 %
Heizöl, extra-leicht	S	F	73,7	6 %
Heizöl, mittel und schwer	S	F	77	0.02 %
Petrolkoks	S	F	91,4	0.4 %
Flüssiggas	S	F	65,5	1 %
Erdgas	P	F	56,4	25 %
Industrieabfall	S	F/R	39,0	8 %
Erneuerbare Energien	P/S	R	(0)	10 %
Holz und Holzkohle	P/S	R	(0)	9 %
Übrige Biomasse (u. a. Biogas)	P/S	R	(0)	1 %
Solarthermie	P	R	0	0.1 %
Umweltwärme	P	R	0	1 %
Elektrizität	S	F/R	(0)	41 %
Wärme	S	F/R	(0)	5 %
Fernwärme	S	F/R	(0)	5 %
WKK-Wärme	S	F/R	(0)	(-3 %)
Abwärme	S	F/R	(0)	-
Synthetische Energieträger	S	R	(0)	-

<sup>9</sup> Latest greenhouse gas inventory of Switzerland, <https://www.bafu.admin.ch/bafu/en/home/topics/climate/state/data/climate-reporting/ghg-inventories/latest.html>

PtG	S	R	(0)	-
PtHEL	S	R	(0)	-
PtH2	S	R	0	-

Hinweise: Ein CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor von «(0)» meint, dass der entsprechende Energieträger nur bilanziell kein CO<sub>2</sub> bei der Verbrennung (bzw. der Erzeugung) emittiert. Der negative EEV-Anteil bei der WKK-Wärme ist nur informativ geführt, denn die erzeugte Wärme ist bereits im entsprechenden Einsatz der anderen Energieträger abgebildet.

© Prognos AG

## CRF-Kategorien

Die Treibhausgas-Inventarberichte nutzen international ein eigenes Klassifizierungssystem für die Emittentengruppen, das sog. «Common Reporting Format» (CRF). Alle Emissionen des Industriesektors, entweder durch die Verbrennung von Energieträgern (CRF 1.A.2 Manufacturing industries and construction) oder prozessbedingt (CRF 2 Industrial processes), sind dort erfasst. Auch *prIDE* weist allen Emittenten ihre jeweilige CRF-Gruppe zu. Somit lassen sich die Ergebnisse des Industriemodells auch in einer NIR-kompatiblen Form aufbereiten.

## 3.4 Zentrale Treiber

### Mengenindikator

Die von *prIDE* genutzten Mengenindikatoren sind die Produktionsmenge sowie die Energiebezugsflächen. Beide sind a priori für jede Branche verschieden, jedoch verwenden alle Prozesse einer Unterbranche (vgl. Tabelle 1) dieselben Mengenindikatoren. Dies impliziert, dass in jeder Unterbranche nur ein einziges Produkt, wenn auch ein generisches, behandelt wird. Je nach Datenlage hat der Mengenindikator entweder eine physikalische, eine monetäre oder eine indexbasierte Einheit.

Im Allgemeinen sind die tatsächlichen, physischen Produktionsmengen, beispielsweise Hektoliter Bier oder Tonnen Verpackungspapier, der beste Mengenindikator zur Bestimmung des Endenergieverbrauchs. Diese werden so weit wie möglich verwendet, insbesondere bei Grundstoffen und homogenen Produktgruppen (z. B. Glas). Bei komplexen, zusammengesetzten Produktgruppen (z. B. Elektronik) eignet sich die physikalische Menge aufgrund der Diversität innerhalb derselben Produktgruppe nicht. Vielmehr werden hier meist entweder die Bruttowertschöpfung oder der Produktionsindex des Bundesamts für Statistik (BFS) als Mass des Endenergieverbrauchs herangezogen. Weitere mögliche Korrelationsparameter sind die Produktivität (Wertschöpfung pro Beschäftigten), die Anzahl Erwerbstätiger, die Exportquote und die Energiekosten. Die langfristige Entwicklung der Korrelationsparameter wird mittels linearer Regression aus den Daten der Vergangenheit geschätzt. Im Regelfall wurde versucht, einfache Abhängigkeiten mit exogenen Daten zu finden, welche für den gesamten Zeitraum der Perspektiven (bis 2060) zur Verfügung stehen. Bei genügend kleinen Unsicherheiten können diese Abhängigkeiten in vielen Fällen als lineare Regression übernommen werden. Oft ergaben sich deutlich höhere Korrelationskoeffizienten als bei einer nur an die Branchenwertschöpfung festgemachten Regression. Ein Beispiel stellt die Zementproduktion dar, welche sich parallel zur Baubranche entwickelt. In einigen wenigen Fällen ergab sich die beste Korrelation sogar schlicht mit dem Kalenderjahr (autonome Entwicklung).

Bei den Energiebezugsflächen unterscheidet das Industriemodell Produktionsflächen (Werkshallen/Werkstätten) und Büroflächen. Erstere müssen aufgrund der großen Spannbreite der energetischen Nutzung nach Branchen differenziert werden. Büroflächen hingegen werden für die gesamte Industrie einheitlich behandelt, denn der dort zum Einsatz kommende Gerätebestand darf als annähernd uniform angenommen werden (typische Büro(gebäude)ausstattung). Die Entwicklung der Produktionsflächen wird über die beiden Elastizitäten zur Ausweitung und zur Reduktion der Produktion an den Mengenindikator gekoppelt. Dabei gilt die Annahme, dass zumindest eine kurzfristige Produktionsdrosselung einen prozentual kleineren Rückgang bei den Energiebezugsflächen bewirken würde als eine prozentual gleich grosse Produktionssteigerung. Allerdings gilt dies nur für kurzfristige Veränderungen; absehbare langfristige Produktionsrückgänge haben auch einen entsprechenden Abbau von Flächenkapazitäten zur Folge. Die Entwicklung der Büroflächen wird an die branchenspezifische Entwicklung der Erwerbstätigen gekoppelt. Eine Kalibrierung auf die Top-down-Werte von Wüest Partner wird über den (branchenspezifischen) Parameter «Wachstum der Pro-Kopf-Fläche» geregelt. Die dort zusätzlich ausgewiesenen Leerflächen werden im Modell als teilgenutzte Produktionsflächen interpretiert.

### **Technik und Politik**

Dieser Treiber subsummiert technologische Verbesserungen sowie Neuerungen im Hinblick auf den Energie- und Ressourcenverbrauch und die Wirkung politischer Instrumente, ergo Effizienz und Politik.

Effizienz im hier verwendeten Kontext meint die Reduktion des spezifischen Energie- resp. Treibhausgaseinsatzes, wobei als Referenzmaß entweder die Produktionsmenge, der Produktionsindex oder die Bruttowertschöpfung dient. Die Effizienzen resp. die Veränderung der spezifischen Energieverbräuche der einzelnen Verbraucher sind a priori – und als einziger Treiber auch für die Vergangenheit – unbekannt und müssen anhand der Statistik und Einzelanlageninformationen qualifiziert geschätzt werden.

Über den Kohortenansatz beeinflussen die hergestellten Mengen indirekt die Entwicklung der spezifischen Energieverbräuche: Je mehr produziert wird, desto stärker erhöht sich zunächst die Auslastung der bestehenden Anlagen. Dadurch verringert sich in der Regel der auf die Produktion bezogene spezifische Verbrauch. Kann die Auslastung nicht weiter gesteigert werden, wird der Anlagenpark durch neue (modernere und dadurch energetisch bessere) Einheiten erweitert. Bei Erreichen ihrer individuellen wirtschaftlichen Nutzungsdauer (und nicht früher) werden Altanlagen stillgelegt. Aufgrund dieser Zusammenhänge verändert sich der spezifische Energieverbrauch des Anlagenparks nur allmählich.

Mögliche Effizienzgewinne durch eine Energieträger-Substitution (insbes. durch Elektrifizierung) werden nicht dort, sondern hier, im Treiber «Technik und Politik», berücksichtigt.

Weiter finden Massnahmen, die durch Förderprogramme oder andere politische Instrumente angestoßen werden, hier (oder aber im Treiber Energieträger-Substitution) ihre Entsprechung. Da diese Instrumente je nach Ausgestaltung zu einem reduzierten spezifischen Verbrauch oder einer (strukturellen) Änderung der Produktionsmengen (oder eben dem Einsatz anderer, THG-ärmerer/-freier Energieträger) führen, werden sie entsprechend dieser Logik bei den zentralen Treibern subsummiert.

## Energieträger-Substitution

Die Energieträgersubstitution beschreibt den Ersatz von einem Energieträger durch einen anderen bei ein und demselben Prozess. Da eine produzierende Anlage meist an den Einsatz eines bestimmten Energieträgers gebunden ist, geht eine Energieträgersubstitution frühestens einher mit einem Ersatz einer Anlage am Ende ihrer Lebensdauer durch eine neue Anlage, welche (möglicherweise) mit einem anderen Energieträger betrieben wird.

Im Industriemodell sind für viele Anlagen keine derart detaillierten Betriebsdaten vorhanden, um eine Energieträgersubstitution auf Anlagenbasis modellieren zu können. Darum wird eine Substitution implementiert, die isoliert jeweils auf die möglichen Kombinationen von Branche/Produkt und Verwendungszweck wirkt. Bedingt durch die Verallgemeinerung auf generische (mittlere, typische) Anlagen ist es bei dieser Form der Substitution nicht möglich, die verschiedenen Anlagenwirkungsgrade bei der Energieträgerverbrennung zu berücksichtigen. Sie ist deshalb immer neutral hinsichtlich des Energieeinsatzes, d. h. der Energieeinsatz des ersetzten und des ersetzenden Energieträgers sind identisch. Mögliche Effizienzgewinne, wie sie insbesondere bei einer Elektrifizierung meist vorliegen, werden an anderer Stelle berücksichtigt (Abschnitt Technik und Politik). In wenigen Fällen kommen Mehrstoffanlagen zum Einsatz, welche mehrere Energieträger verbrennen können. Hier gibt es zusätzlich eine kurzfristige Substitution motiviert durch Preisunterschiede der einsetzbaren Energieträger.

Der Energieträgermix ändert sich historisch kontinuierlich mit der Zeit, sodass insgesamt einerseits mehr Elektrizität, aber auch innerhalb der Brennstoffe weniger Mineralöle und mehr Erneuerbare zum Einsatz kommen. Seit Jahren lassen sich bei der Energieträgersubstitution folgende globale Trends erkennen:

- Der Rückgang des Einsatzes von Kohle und Heizöl bei gleichzeitiger Zunahme des Gaseinsatzes bei allen Verbrauchern.
- Ein konstant wachsender Anteil Erneuerbarer Energien über den gesamten Sektor.
- Die zunehmende Elektrifizierung von Produktionsabläufen in allen Branchen ausser den energieintensiven.

Diese Trends werden vom Modell aus einem Fit an die Statistik bestimmt und fortgeführt sowie schließlich in einer Substitutionsmatrix erfasst und dem prognostizierten Energieverbrauch überlagert. Nicht bei allen Energieträgern findet eine (Netto-)Substitution statt, insbesondere wird Elektrizität niemals durch einen oder mehrere Brennstoffe ersetzt – sowohl modellseitig und auch historisch nicht beobachtbar. Diese Methode ist einerseits stabil hinsichtlich der aus der Vergangenheit erwartbaren Substitutionstrends. Andererseits können kurzfristige Schocks, wie bspw. die Energiepreiskrise 2022/2023, nur manuell berücksichtigt werden, sofern diese Effekte nicht bereits in den verwendeten Statistiken abgebildet sind.

## Klima und Witterung

Der Energieverbrauch der Industrie wird auch von der (kurzfristigen) Witterung beeinflusst: In einem kalten Jahr kann der gesamte industrielle Energieverbrauch um mehr als 5 % grösser sein als in einem warmen Jahr. Die Witterung beeinflusst dabei nur den Anteil der Raumwärme (bzw. -kälte) am Endenergieverbrauch. Zu beachten ist, dass der Anteil für die Produktionshallen in den verschiedenen Industriebranchen sehr stark variiert, von praktisch Null bis weit über 50 %.

Bürogebäude werden in allen Branchen als energetisch gleichwertig angesehen. Auch wenn ein theoretischer, in der Praxis jedoch sehr geringer Einfluss der Aussentemperatur auf Prozesse

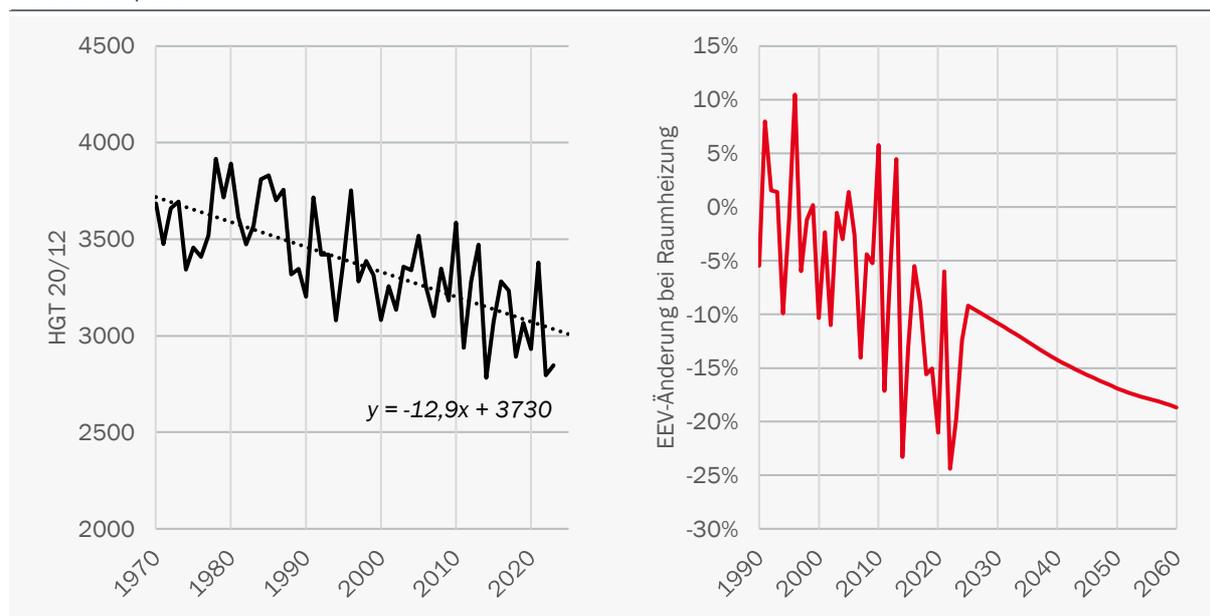
niedrigen Temperaturniveaus angenommen werden darf, wird der Anteil des Endenergieverbrauchs, der für die Produktionsprozesse aufgewendet wird, nicht witterungsbereinigt.

Im Rahmen der jährlichen Ex-Post-Analysen für das BFE wird der Einfluss der Witterung auf den Energieverbrauch für Raumwärme mit einem Korrekturverfahren auf Basis von Gradtagen und Solarstrahlung abgebildet.<sup>10,11</sup> Grundlage für die Korrekturfaktoren bilden Wetterdaten von Meteo-Schweiz.

Die zukünftige Witterung ist nicht bekannt. Aufgrund der Klimaerwärmung verringert sich im Mittel der Jahre der Raumwärmebedarf. Der Weltklimarat geht von einem medianen Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur von 2,8 [2,1–3,4] Grad Celsius zum Ende des Jahrhunderts in einem mittleren Szenario (RCP 4.5) aus.<sup>12</sup> Bereits jetzt kann diese Entwicklung in den für die Schweiz gemessenen Heizgradtagen beobachtet werden, welche seit den 70er Jahren einen klar abnehmenden Trend von rund 13 Heizgradtagen pro Jahr aufweist (Abbildung 2).

### Abbildung 2: Heizgradtage und Witterungskorrektur

Die Heizgradtage der Schweiz (HGT 20/12) inkl. linearem Trend und die daraus resultierende Korrektur des Endenergieverbrauchs bei der Raumheizung bis 2060 bei einem Klimaszenario, das einen Temperaturanstieg um 4.5 °C bis 2050 antizipiert.



© Prognos AG

Dies bedeutet nicht nur eine klimabedingte Abnahme des Raumwärmebedarfs, sondern auch eine Zunahme des Kühlbedarfs im Sommer. Während *prIDE* die Abnahme des Heizbedarfs anhand der Klimaszenarien für die Schweiz aus dem Jahr 2018<sup>13</sup> via abnehmende Anzahl an

<sup>10</sup> Prognos (2003): Einfluss von Temperatur- und Globalstrahlungsschwankungen auf den Energieverbrauch der Gebäude. Prognos AG Basel, im Auftrag des Bundesamtes für Energie (BFE), Bern

<sup>11</sup> 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

<sup>12</sup> IPCC, AR6 Synthesis Report, Summary for Policymakers, 2023, [https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_SYR\\_SPM.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf)

<sup>13</sup> CH2018 (2018): CH2018 – Climate Scenarios for Switzerland. National Centre for Climate Services, Zürich

Heizgradtagen berücksichtigt – bis 2060 gegenüber heute im Mittel um fast 20 % –, ist derzeit ein klimabedingter Mehrbedarf an Kühlleistung nicht berücksichtigt.

Eine Witterungsbereinigung ist insbesondere für die Faktorzerlegung wichtig, um ihren Einfluss auf den Endenergieverbrauch von demjenigen technologischer oder ökonomischer Trends separieren zu können (Abschnitt Faktorzerlegung).

### **Faktorzerlegung**

Eine der zentralen Aufgaben der jährlichen Ex-Post-Analyse zum Energieverbrauch im Auftrag des BFE besteht in einer Faktorzerlegung: Dafür trennt das Industriemodell die einzelnen, o. g. Treiber (resp. Bestimmungsfaktoren) beim Berechnungsverfahren. Auf diese Weise kann die Veränderung des Energieverbrauchs nach Energieträgern und Verbrauchssektoren über eine Änderung der jeweiligen Treiber «erklärt» werden.

Die Effekte der einzelnen Treiber werden durch eine lineare Näherung berechnet: Ein Einflussfaktor wird zwischen den Jahren  $t$  und  $t+1$  verändert, während alle anderen Parameter konstant gehalten werden (*ceteris paribus*). Die sich daraus ergebende Verbrauchsänderung  $E(t) - E(t+1)$  quantifiziert den Effekt. Grundsätzlich wird für jeden Bestimmungsfaktor der Einfluss in jedem Jahr bestimmt. Aufgrund dieser Linearisierung ergibt sich ein Differenzterm, der sog. Joint-Effekt, der die Wechselwirkungen der Treiber untereinander abbildet und als Differenz aus der gesamten Verbrauchsänderung und der Summe der jeweiligen treiberspezifischen Verbrauchsänderungen definiert ist. Üblicherweise ist der Joint-Effekt klein ggü. den anderen Treibern.

Die Faktorzerlegung der Verbrauchsentwicklung im Industriesektor wird von *prIDE* in einem eigenständigen Prozessschritt nach der Berechnung des Energieverbrauchs und nach der Eichung der Ergebnisse auf die Statistik durchgeführt. Da für die Faktorzerlegung kalibrierte Modellergebnisse verwendet werden, nimmt entsprechend der Joint-Effekt die Abweichungen zwischen Modellergebnissen und Statistik auf.

---

## 4 Inputs und Outputs

---

### 4.1 Inputs

Inputs sind alle exogenen Daten (resp. Rahmendaten), die in die Modellierung eingehen. Wo verfügbar werden empirische Daten direkt oder indirekt als Inputgrößen genutzt. Die Rahmendaten beeinflussen mehr oder weniger stark den Energieverbrauch, auf welche dieser selbst aber keinen oder nur einen sehr geringen (rückkoppelnden) Einfluss hat. Sie sind exogen auf Jahresbasis vorgegeben. Das Modell unterscheidet drei Typen: globale (sozioökonomische und andere branchenübergreifende), branchenspezifische sowie anlagenspezifische Rahmendaten, die im Folgenden aufgeführt werden:

- Globale Rahmendaten
  - Bevölkerung und Bevölkerungsstruktur<sup>14</sup>
  - Wirtschaftswachstum (Bruttoinlandsprodukt)<sup>15</sup>
  - Energiepreise (Konsumentenpreise) für Energieträger<sup>16</sup>
  - Wetter- und Klimadaten (Heiz-, Kühlgradtage und Sonneneinstrahlung)<sup>17</sup>
  - Förderprogramme<sup>18,19</sup>
- Branchenspezifische Rahmendaten
  - Energieverbrauch (nach Branchen/Produkten und Energieträgern)
    - Gesamtenergiestatistik<sup>20</sup>
    - Teilstatistiken<sup>21</sup>
      - (1) Energieverbrauchsstatistik in der Industrie und im Dienstleistungssektor
      - (2) Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien
      - (3) Thermische Stromproduktion inkl. Wärme-Kraft-Kopplung (WKK) in der Schweiz
      - (4) Schweizerische Holzenergiestatistik
  - Produktionsmenge<sup>22</sup>
  - Produktionsindex<sup>23</sup>
  - Monetäre Grössen
    - Wertschöpfung<sup>24</sup>
    - Umsatz<sup>23</sup>
    - Personalkosten und Betriebsaufwand (Waren-, Materialaufwand u. a.)<sup>25</sup>
  - Erwerbstätige (in der Verwaltung und in der Produktion)<sup>26</sup>
  - Energiebezugsflächen (Verwaltung, Produktion, Lager, leerstehend)<sup>27</sup>

<sup>14</sup> Bilanz der ständigen Wohnbevölkerung, <https://www.bfs.admin.ch/asset/de/32229222>

<sup>15</sup> <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/volkswirtschaft/volkswirtschaftliche-gesamtrechnung/bruttoinlandsprodukt.html>

<sup>16</sup> BFE, GEST, Entwicklung der Energiepreise für Konsumenten, jährlich wiederkehrend

<sup>17</sup> MeteoSchweiz, Grad, Heizgrad-, Kühlgradtage, Sonneneinstrahlung sowie Temperatur, tägliche Werte für 53 Messtationen

<sup>18</sup> <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/foerderung.html>

<sup>19</sup> <https://www.energiefranken.ch>

<sup>20</sup> <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-geodaten/energiestatistiken/gesamtenergiestatistik.html>

<sup>21</sup> <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-geodaten/energiestatistiken/teilstatistiken.html>

<sup>22</sup> verschiedene Quellen je Branche/Produkt (überwiegend Verbandsinformationen, auch Inventarbericht)

<sup>23</sup> BFS, INDPAU: Produktions-, Auftrags- und Umsatzstatistik im sekundären Sektor - vierteljährliche Zeitreihen (px-x-0603010000\_102)

<sup>24</sup> BFS - Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung, Produktionskonto nach Branchen, jährlich wiederkehrend

<sup>25</sup> BFS, Produktions- und Wertschöpfungsstatistik, Struktur der Erfolgsrechnung der Unternehmen nach Wirtschaftsabteilungen

<sup>26</sup> BFS, Beschäftigungsstatistik (BESTA), Vollzeitäquivalente nach Wirtschaftsabteilungen, quartalsweise wiederkehrend

<sup>27</sup> Wüest Partner: Aktualisierung Energiebezugsflächen, im Auftrag des BFE, jährlich wiederkehrend

- Anlagenspezifische Rahmendaten
  - Technologiekennwerte (spezifischer Energieverbrauch, prozessbedingte Emissionen)
  - Best-Practice-Werte und Beste Verfügbare Technologien<sup>28</sup>
  - Alternative und konkurrierende Produktionsverfahren
  - Querschnittstechnologien (bspw. Elektromotoren, Druckluft, Wärmedämmung)
  - Investitionskosten (CAPEX)

Um Informationen zu anlagenspezifischen Rahmendaten zumindest für die energetisch und emissionsseitig relevantesten Branchen/Produkte zusammenzustellen, ist es erforderlich, viele verschiedene Veröffentlichungen heranzuziehen. Als Quellen dienen hierfür neben den offiziellen Veröffentlichungen der Bundesämter für Statistik und Energie, auch Veröffentlichungen von Verbänden, Fachveröffentlichungen, Papers, Benchmark-Analysen u. a. Für alle Rahmendaten ist zu berücksichtigen, dass sowohl vergangene Daten als auch zukünftige Entwicklungen erfasst werden müssen. Für die meisten Rahmendaten existieren jährliche Zeitreihen ab 1990 bis zum jeweils aktuellen statistischen Rand, wenn auch evtl. über verschiedene Statistiken und Abgrenzungen hinweg, die kontinuierlich aufdatiert, harmonisiert und in die Modelldatenbank übernommen werden. Für die zukünftige Entwicklung der Rahmendaten wird stets auf externe Projektionen zurückgegriffen.

## Szenarien und Politikvarianten

Die Modellläufe untersuchen in der Regel szenarische Fragestellungen. Ein «Szenario» ist keine Prognose, sondern es werden dort klare Wenn-Dann-Aussagen getroffen: Sie sollen beispielsweise eine Antwort auf die Frage geben, welcher Energieverbrauch aus einer bestimmten Wirtschaftsentwicklung gepaart mit einer bestimmten Energiepolitik resultiert. Dies bedeutet, dass innerhalb eines Szenarios sämtliche Rahmendaten (in ihrem Einfluss auf den Energieverbrauch und die THG-Emissionen) vorab quantifiziert oder bezogen sein müssen. Andere Rahmendaten implizieren ein anderes Szenario, wobei eine selektive Änderung nur weniger Rahmendaten ggü. einem Ausgangsszenario (z. B. ein höheres Wirtschaftswachstum oder tiefere Energiepreise) eine Sensitivität desselben darstellt.

Bspw. bildet das Szenario „Weiter wie bisher“ der Energieperspektiven 2050+<sup>29</sup> eine in sich konsistente Referenzentwicklung ab, welche die aus der Vergangenheit bekannten Rahmendaten und deren Zusammenhänge trendmässig fortschreibt. Dabei sollen keine «Ausreisser» oder unvorhergesehene Entwicklungsänderungen modelliert werden – vielmehr werden sie indirekt durch einen geglätteten Verlauf der Vergangenheit in der Zukunft des Referenzszenarios miteinbezogen. Auf ein solches Referenzszenario beziehen sich weiterführende Szenarien, wobei sich der Blick immer auf die Unterschiede zum Referenzszenario richtet und nicht unbedingt allein auf die absoluten Werte. Die Logik einer Wenn-Dann-Aussage lässt sich in sogenannten Zielszenarien auch umkehren: Indem der Energieverbrauch bzw. die THG-Emissionen vorgegeben sind, wird eine für die Zielerreichung notwendige Eingriffsstärke eruiert. Solche Differenzbetrachtungen sind einer der wichtigsten Anwendungsfälle der Szenarienarbeit.

Die Definition der oben gelisteten Rahmendaten bestimmen ein Szenario. Dennoch unterliegt jedem Szenario ein bestimmter «Charakter», der die Konsistenz der verschiedenen Rahmendaten untereinander sicherstellt. Dies könnte z. B. sein:

<sup>28</sup> <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/beste-verfuegbare-techniken/sevilla-prozess/bvt-merkblaetter-durchfuehrungsbeschluesse>

<sup>29</sup> <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/politik/energieperspektiven-2050-plus.html>

- Dynamischer technologischer Fortschritt sowie häufige Neuerungen hinsichtlich Effizienzanstrengungen und Ressourcenverbrauch
- Gedämpftes Wirtschaftswachstum mit einhergehendem Strukturwandel (also sektorale und intersektorale Anteilsverschiebungen der Wirtschaftszweige)

Die inhaltliche Modellierung befasst sich demzufolge zuerst mit der Definition des Szenarios und eventueller Sensitivitäten, anschließend mit der Bestimmung der Rahmendaten und zuletzt mit den Auswirkungen der einzelnen Treiber.

## 4.2 Outputs

Zentrales Ergebnis und Output von *prIDE* sind der Energieverbrauch sowie prozessbedingte Emissionen des Industriesektors. Diese folgen der oben bereits beschriebenen Dimensionalität (Abschnitt Dimensionalität) und einem einfach auszuwertendem Ausgabeformat (Abschnitt Ausgabeformat). Im Rahmen der Faktorzerlegung werden ausserdem die Jahr-zu-Jahr-Veränderungen des Energieverbrauchs nach den wichtigsten Treibern ermittelt. Die Ergebnisse eines Modelllaufs sind:

- Direkt in Modellausgabe vorliegend
  - Endenergieverbrauch pro Jahr nach Branche/Produkt, Verwendungszweck, Energieträger und Anlage
  - THG-Emissionen für jeden Endenergieverbrauch
  - Energieträgerkosten (OPEX) für jeden Endenergieverbrauch
  - Prozessbedingte Emissionen nach allen Treibhausgasen (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O und die F-Gase HFC, PFC, SF<sub>6</sub>, NF<sub>3</sub>)
- Indirekt aus Modelllauf abzuleiten (nicht abgeschlossen)
  - Aufteilung der verbrennungsbedingten THG-Emissionen nach CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O
  - Anlagenkohorte
    - Mittlerer spezifischer Endenergieverbrauch je Anlage
    - Produktionskapazität je Branche/Produkt
    - Investitionsbedarf (CAPEX) je Branche/Produkt
  - Einfluss einzelner Querschnittstechnologien auf den Endenergieverbrauch
  - Abwärmepotenziale je Branche/Produkt

---

## 5 Weitere Punkte

---

### Kalibration und Eichung

Zwischen den verwendeten Statistiken und Datenquellen zur Abbildung der Grundlagendaten (u. a. Mengengrößen und spezifische Verbräuche der Prozesse) sowie den verschiedenen Statistiken zu den Energieverbräuchen nach Energieträgern und Branchen lässt sich bei der Modellierung keine vollständige Konsistenz herstellen. Erschwerend kommt hinzu, dass die verschiedenen Statistiken und Datenquellen oft mit unterschiedlichen Abgrenzungen, Erhebungsmethoden und Hochrechnungen operieren. Ausserdem fließen neben den Statistiken des BFE und des BFS einige brancheninterne Energiestatistiken ein, die wichtige Detailinformationen liefern, jedoch zusätzliche statistische Unsicherheiten und Zuordnungsprobleme generieren. Schließlich bildet der im vom Modell berechnete Anlagenpark immer nur eine mittlere Entwicklung (wenn auch in hoher Granularität) ab – und soll genau dies aus der Modelllogik heraus auch leisten, um eine Entwicklung der Endenergieverbräuche über Jahrzehnte stabil fortschreiben zu können. Aus diesen Gründen kann die Energieverbrauchsstatistik modellseitig nicht in allen Details exakt reproduziert werden.

Darum erfolgt vor jeder Szenariendarstellung und mit jedem neuen Statistikjahr eine Kalibration der Modellergebnisse (Zeitreihe ab 2000) auf die offiziellen Endenergieverbräuche. Ein Minimierungsalgorithmus kalibriert die Anlagenparameter auf den Energieverbrauch der Vergangenheit separat je Jahr, Branche/Prozess und Energieträger unter Einhaltung der GEST-Verbräuche sowie denen aus der «Energieverbrauchsstatistik in der Industrie und im Dienstleistungssektor». Eine nachträgliche manuelle Plausibilitätsüberprüfung anhand von technologischen und ökonomischen Konsistenzanforderungen sichert die Kalibration ab. Für Kurzfristprognosen, darunter die Ex-post-Analyse und andere die zeitnahe Konjunktur berücksichtigende Analysen, ist es weiter erforderlich, das Modellergebnis durch eine begründete, gezielte und vom erwarteten Mittel abweichende jährliche Modulation nachzuführen. Hierfür eignen sich die Anpassung der Substitutionsmatrix (Abschnitt Energieträger-Substitution) oder der Anlagenauslastung. Insgesamt gewährleisten diese Vorgehensweisen, dass *prIDE* das Niveau sowie den Trend der einzelnen Energieverbräuche möglichst adäquat reproduziert, und damit eine statistisch fundierte Fortschreibung ebendieser Energieverbräuche anhand der vorliegenden Rahmendaten gewährleistet.

Eine Eichung der Modellergebnisse, d. h. eine exakte Reproduktion der Werte offizieller Statistiken, findet erst nach den Modellrechnungen (aber vor der Faktorzerlegung, Abschnitt Faktorzerlegung) statt.

### Unsicherheiten und Validierung

Unsicherheiten bei den Modellergebnissen sowie den Eingangsgrößen werden nicht explizit abgebildet, weshalb Vertrauensintervalle standardmässig nicht erzeugt und abgebildet werden. Bereits die Anwendung der Gaußsche Fortpflanzung an die Unsicherheiten aller Eingangsgrößen würde bei einem derzeitigen Projektionshorizont bis 2060 derart große Unsicherheitsbänder erzeugen, dass eine Interpretation der Ergebnisse eher erschwert als erleichtert würde. In der Regel werden szenarische Unsicherheiten im Rahmen von Sensitivitäten aufgezeigt, d. h. eine Was-wäre-wenn-Aussage bei exakt definierten Eingangsgrößen. Insbesondere bei der Ex-post-Analyse (und generell für alle Kurzfristprognosen) ließe sich jedoch eine Unsicherheit der Modellwerte für

das zu schätzende Jahr (die zu schätzenden Jahre) auf Basis der statistischen und stochastischen Unsicherheiten angeben. Bislang jedoch sind solche Unsicherheiten nicht gefordert.

Es gibt keine wissenschaftlichen Artikel, in denen *prIDe* kritisch geprüft bzw. validiert wurde. Das Modell wurde für die Auftragsforschung entwickelt. Im Kontext der jeweiligen Projektarbeit wird das Modell regelmässig überprüft.

## **Bilanzierung**

Grundsätzlich erfolgt die Bilanzierung in *prIDe* so, wie es für die Betrachtung erforderlich ist. Üblich für eine nationale Betrachtung (so auch für die Ex-post-Analyse oder das Nationale THG-Inventar) ist die territoriale Quellenbilanz. Bei dieser werden die Energieverbräuche und THG-Emissionen dort verbucht, wo sie (physisch) auf Schweizer Hoheitsgebiet anfallen. Das Konzept der Verursacherbilanz, bei welcher die graue Energie und die grauen Emissionen dem Verursacher (ergo letztlich Nutzer eines Produktes oder einer Dienstleistung) zugerechnet werden, findet seltener Anwendung, kann aber vom Industriemodell abgebildet werden.

Weiter unterscheidet das Industriemodell die Prozess- sowie die Nachfragebilanzierung. Erstere, die insbesondere bei der GEST Anwendung findet, zählt jegliche Energie, die für den Betrieb vor Ort (Anlagen, Geräte) benötigt wird. Letztere zählt jegliche Energie, die von aussen (meist von den öffentlichen Energieversorgern) bezogen wird. Zwischen beiden Bilanzen liegt eine eventuelle Eigenerzeugung der Unternehmen. Im Falle der Stromeigenproduktion (ausschließlich Strom oder via WKK) verrechnet die Prozessbilanzierung den Strom, denn dieser ist für den Betrieb der Produktionsanlagen entscheidend. Die Nachfragebilanzierung verrechnet hingegen die Energieträger, die für die Stromeigenproduktion genutzt (und bezogen) wurden. Falls eine reine Wärmeeigenproduktion (z. B. in einem Heizkessel) vorliegt, so bilanzieren beide Konzepte identisch, nämlich die Energieträger, die für die Wärmeproduktion genutzt wurden. Bei der Energieeigenproduktion muss berücksichtigt werden, dass diese nicht unbedingt zu 100 % selbst verbraucht werden muss, sondern zum Teil auch ins öffentliche Strom- resp. Wärmenetz eingespiessen werden kann.

## **Software und Programmiersprache**

*prIDe* ist in der Programmiersprache Wolfram Mathematica geschrieben. Input, Output und manche Zusatz- und Nebenrechnungen nutzen Microsoft Excel oder das csv-Format. GitLab wird für die Versionskontrolle genutzt. Damit finden die (wesentlichen) Berechnungen – die Prozessierung des Industriemodells zur Bestimmung aller relevanter Kenngrössen und schliesslich zur Berechnung der zukünftigen und Eichung auf bisherige Energieverbräuche – in Mathematica statt und Excel/CSV dienen (weitgehend) als Ein- und Ausgabe-Schnittstelle sowie zur Ergebnisdarstellung.

Diese Trennung bietet Vorteile hinsichtlich Berechnungsgeschwindigkeit, Stabilität, erleichterte Wartung sowie einfacherer Dokumentation. Der/die AnwenderIn interagiert zur Modellprozessierung (im einfachsten Fall) nur mit dem hierfür vorgesehenen Mathematica-Notebook und benötigt prinzipiell kein Wissen über die Datenbank bzw. deren Struktur. Dabei werden Modellstruktur und -bedienung sowie Modellparameter direkt im Mathematica-Notebook zusammengefasst.

Wichtige Gründe für die Nutzung von Excel für die Datenbank sind zum einen, dass der Datenumfang überschaubar ist (was gegen ein etabliertes Datenbanksystem wie bspw. MySQL spricht). Zum andern stellt der Umgang mit Excel einen Quasi-Standard dar und kann von jeder und jedem vorausgesetzt werden. Dies und die hohe Verfügbarkeit von Excel vereinfachen deutlich den Datenaustausch mit Lieferanten und Weiterverarbeitern sowie insbesondere die Wartung der Datenbank.

## Open Source

Bei *prIDE* handelt sich um ein Modell der Prognos AG. Die Prognos AG finanziert sich zu 100 % über Projekte (keine Fremdfinanzierung). Das Modell wurde in Eigenleistung erstellt und ist Firmeneigentum. Geteilt werden (szenarische) Annahmen, Inputs und Ergebnisse, jedoch nicht die Modelle bzw. der Modellcode (kein Open Source).

## Ausgabeformat

Für die endogenen (vom Modell selbst generierten) Daten wurde auf ein flexibles Ausgabeformat geachtet. Die Mehrzahl der Auswertungstabellen und -grafiken ähnelt sich oft aufgrund der Relevanz der dargestellten Informationen. Das Ausgabeformat der Modellergebnisse berücksichtigt dafür die oben bereits beschriebene Dimensionalität inklusive der jeweiligen Ebenen innerhalb einer Dimension (Abschnitt Dimensionalität). Die weiteren Parameter Kalenderjahr, Endenergieverbrauch und THG-Emissionen sowie zusätzlich noch Energieträgerkosten vervollständigen das Ausgabeformat. Speziell bei den Ergebnissen der Faktorzerlegung wird zusätzlich noch der Treiber aufgeführt. Die Modellausgabe besitzt demnach im höchsten Detaillierungsgrad zehn Dimensionen (Abbildung 3) und wird im csv-flat-Tabellenformat abgespeichert. Durch Filter- und Vereinfachungsfunktionen können die Ausgabedaten anschließend leicht auf die gewünschten Informationen aggregiert werden (Pivot-Tabellen). Selektive Informationen, wie z. B. das prozessbedingte Temperaturniveau nach Branchen, können bei Bedarf direkt aus einem Modelllauf extrahiert werden.

**Abbildung 3: Informationsfelder der Modellausgabe**

die Ausgabe umfasst insgesamt zehn Informationsfelder, die z. T. nochmals eine Hierarchieinformation tragen

 <b>Auflösung</b>	 <b>Raster</b>	 <b>Zusatz</b>	 <b>Zielgrößen</b>
<b>Geo</b> {Bund, Kantone}	<b>Branche/Produkt</b> {eine/s von 54}	<b>Anlage</b> {eine von 388}	<b>Endenergieverbrauch</b> {in TJ}
<b>Zeit</b> {Jahr oder Quartal, 1990–2100}	<b>Energieträger</b> {einer von 18}	<b>Effekt</b> {optional, einer von 5}	<b>Treibhausgasemissionen</b> {in kt CO <sub>2</sub> e}
	<b>Verwendungszweck</b> {einer von 25}		<b>Energieträgerkosten</b> {in CHF}

© Prognos AG

Neben den Resultaten werden zusätzlich die im Modelllauf genutzten szenariospezifischen Rahmendaten in einer separaten csv-Datei abgelegt. Zusammen mit den Modellierungsergebnissen liegen somit sämtliche Informationen zur Auswertung der Modellresultate vor und die Ergebnisse bleiben transparent.