

TEXTE

42/2026

Teilbericht

Impulse für die Weiterentwicklung der Modellierung von Energieverbräuchen

Ex-Post Evaluation der Energieverbrauchsreduzierung
2022-2023

von:

Sibylle Braungardt, Katja Hünecke, Marc Stobbe
Öko-Institut, Freiburg/Darmstadt

Herausgeber:

Umweltbundesamt

TEXTE 42/2026

Projektnummer 188264

FB002037

Teilbericht

Impulse für die Weiterentwicklung der Modellierung von Energieverbräuchen

Ex-Post Evaluation der Energieverbrauchsminderung
2022-2023

von

Sibylle Braungardt, Katja Hünecke, Marc Stobbe

Öko-Institut, Freiburg/Darmstadt

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Durchführung der Studie:

Öko-Institut
Merzhauser Str. 173
79100 Freiburg

Abschlussdatum:

September 2025

Redaktion:

Fachgebiet V 1.4 Energieeffizienz
Ingmar Herda, Matthias Weyland

DOI:

<https://doi.org/10.60810/openumwelt-8296>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, März 2026

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen*Autoren.

Kurzbeschreibung: Impulse für die Weiterentwicklung der Modellierung von Energieverbräuchen

Die Energiekrise der Jahre 2022–2023 hat verdeutlicht, dass erhebliche Energieeinsparungen auch kurzfristig möglich sind, ausgelöst durch ein Zusammenspiel aus verschiedenen Faktoren. Diese Auswirkungen sind in Modell-basierten Projektionen häufig nicht ausreichend abgebildet. Ziel des vorliegenden Berichts ist eine ex-post Bewertung des Endenergieverbrauchs in diesen Jahren im Vergleich zu den vorherigen modellbasierten Projektionen. Die Analyse zeigt, dass die Modelle den Verbrauch teilweise abweichend ansetzten, da kurzfristige Dynamiken wie Witterungseinflüsse, Preissteigerungen, Verhaltensanpassungen oder die Folgen von besonderen Situationen wie der Corona-Pandemie nicht ausreichend berücksichtigt wurden. Besonders deutliche Abweichungen traten in den Sektoren Haushalte, Industrie und Verkehr auf, während auch im GHD-Sektor spürbare Unterschiede sichtbar wurden. Die Ergebnisse unterstreichen die Notwendigkeit, Modelle flexibler zu gestalten und aussagekräftige Evaluationen von Maßnahmen und Politikinstrumenten zu erstellen und einfließen zu lassen, um sowohl absehbare Entwicklungen wie Politikinstrumente oder gesellschaftliche Trends als auch rasch eintretende Veränderungen im Verbrauchsverhalten realistisch abbilden zu können.

Abstract: Impulses for the Further Development of Energy Demand Modelling

The energy crisis of 2022–2023 has demonstrated the potential for substantial energy savings to be achieved in the short term, a consequence of a combination of factors. It is evident that these effects are frequently not adequately reflected in model-based projections. The objective of this report is to undertake an ex-post assessment of final energy consumption in these years in comparison to previous model-based projections. The analysis demonstrates that the models occasionally estimated consumption differently due to the failure to sufficiently consider short-term dynamics, including weather influences, price increases, behavioural adjustments, and the consequences of special situations, such as the coronavirus pandemic. Significant deviations were observed in the household, industry and transport sectors, while noteworthy differences were evident in the GHD sector. The results of the study highlight the necessity to enhance the flexibility of models and to produce and incorporate meaningful evaluations of measures and policy instruments in order to accurately reflect both foreseeable developments, such as policy instruments or social trends, and rapid changes in consumption behaviour.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	7
Abkürzungsverzeichnis	8
Zusammenfassung.....	9
Summary	12
1 Hintergrund und Zielsetzung.....	15
2 Methodisches Vorgehen	16
3 Vergleich der Projektionsberichte – Ergebnisse.....	17
3.1 Sektorübergreifende Betrachtung	17
3.2 Verkehr.....	17
3.3 Haushalte	20
3.4 Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD).....	30
3.5 Industrie	34
3.6 Zusammenfassung der wichtigsten Abweichungen	36
4 Erkenntnisse für künftige Modellierungen.....	38
5 Quellenverzeichnis	40

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Projektionsberichte im Vergleich zu den realen Daten	10
Abbildung 2: Projektionsberichte im Vergleich zu den realen Daten	17
Abbildung 3: Sektor Verkehr: Überblick.....	18
Abbildung 4: Abweichungen im Verkehrssektor inkl. Untersektoren.....	19
Abbildung 5: Abweichungen im Straßen- und Schienenverkehr	20
Abbildung 6: Sektor Haushalte – Heizöl – Unterschiede historische Ausgangslage	21
Abbildung 7: Sektor Haushalte: Überblick	22
Abbildung 8: Sektor Haushalte: Abweichungen nach Jahr.....	23
Abbildung 9: Sektor Haushalte: Überblick nach Energieträger.....	24
Abbildung 10: Sektor Haushalte: Erdgas	25
Abbildung 11: Sektor Haushalte - Heizöl.....	26
Abbildung 12: Sektor Haushalte - Fernwärme	27
Abbildung 13: Sektor Haushalte - Biomasse	28
Abbildung 14: Sektor Haushalte – Strom	29
Abbildung 15: Haushalte - Abweichungen Endenergieverbrauch nach Energieträger, Beispiel 2021	30
Abbildung 16: Sektor GHD Aggregierter Überblick.....	31
Abbildung 17: Abweichungen im GHD-Sektor nach Sub-Sektoren	32
Abbildung 18: GHD - Abweichungen Endenergieverbrauch nach Energieträger, Beispiel 2021	33
Abbildung 19: Sektor GHD – Heizöl – Unterschiede historische Ausgangslage	34
Abbildung 20: Sektor Industrie - Übersicht.....	35
Abbildung 21: Abweichungen Industrie nach Subsektoren	36

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
CO ₂	Kohlendioxid
GHD	Gewerbe Handel Dienstleistung
PB	Projektionsbericht
TWh	Terrawattstunde
UBA	Umweltbundesamt, Dessau

Zusammenfassung

Hintergrund und Zielsetzung

Die Energiekrise der Jahre 2022–2023 hat gezeigt, dass kurzfristig erhebliche Energieeinsparungen möglich sind¹. Diese Effekte beruhten nicht auf einem einzelnen Faktor, sondern auf einem Zusammenspiel mehrerer Mechanismen: Verhaltensanpassungen in Haushalten, Effizienzmaßnahmen, Preisreaktionen sowie temporäre Einschränkungen in Industrie und Verkehr. Bisherige Modellierungen können solche kurzfristigen Dynamiken jedoch nicht immer vollumfänglich abbilden.

Das Ziel des Projekts ist daher eine ex-post Bewertung der beobachteten Reduktion des Endenergieverbrauchs von Strom und Erdgas in den Jahren 2022 und 2023 im Vergleich mit vorherigen Projektionen für diese Jahre. Untersucht wurde, inwieweit die in der Energiekrise sichtbaren Einsparungen durch bestehende Modellierungsansätze der Treibhausgas-Projektionen (Projektionsbericht) erfasst wurden und welche Verbesserungen vielversprechend sind, um die Modellierungsergebnisse von Energie- und Klimamodellen zu erhöhen.

Methodisches Vorgehen

Die Analyse erfolgte in fünf Schritten:

- ▶ Auswertung der Projektionsberichte 2017, 2019, 2021, 2023 und 2024, um deren Ergebnisse systematisch aufzubereiten und langfristige Trends sichtbar zu machen.
- ▶ Abgleich mit realen Energiebilanzen 2019–2023, um Abweichungen zwischen Projektionen und tatsächlichem Verbrauch zu identifizieren.
- ▶ Differenzierte Sektor- und Energieträgeranalyse, insbesondere in den Bereichen Haushalte, GHD, Industrie und Verkehr.
- ▶ Ursachenanalyse unter Einbezug der Erkenntnisse aus Arbeitspaket 1 (AP1).
- ▶ Diskussion mit Expert*innen in einem Fachgespräch, um Modelllücken zu identifizieren und Verbesserungsvorschläge zu erarbeiten.

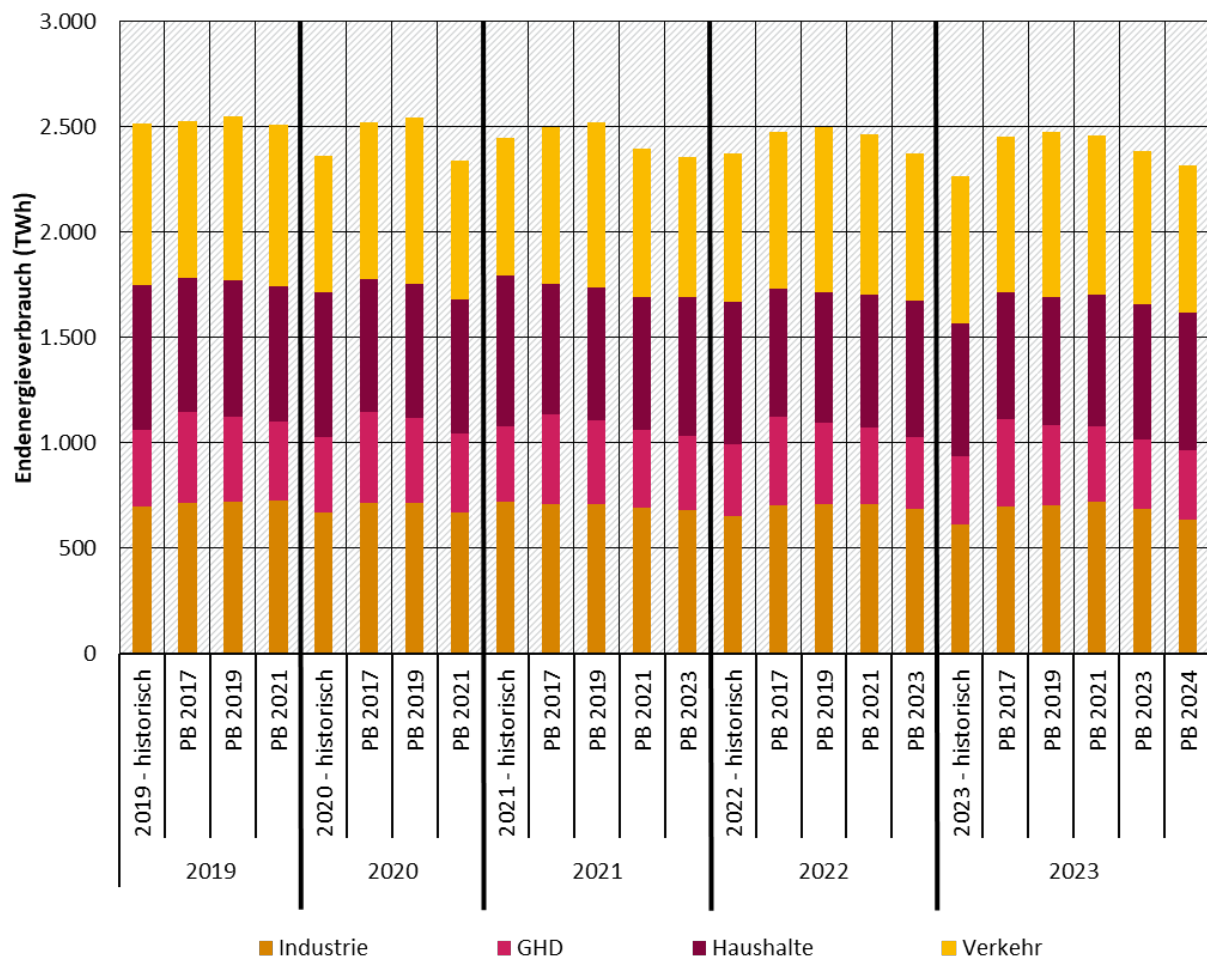
Ergebnisse der Analyse

Die Untersuchung zeigt Abweichungen zwischen den Modellergebnissen der Projektionsberichte und den tatsächlichen Entwicklungen des Energieverbrauchs. Modellierungen beruhen zwangsläufig auf Annahmen über zukünftige Entwicklungen, die naturgemäß mit Unsicherheiten verbunden sind. Vor diesem Hintergrund lassen sich die Abweichungen nach Sektoren differenzieren:

Über alle Sektoren hinweg wird für die betrachteten Jahre deutlich, dass die Projektionen in der Tendenz zu hohe Verbrauchswerte auswiesen. Die reale Entwicklung war stärker durch kurzfristige Einflüsse geprägt, die in den Modellierungen nicht oder nur unzureichend berücksichtigt waren (siehe Abbildung 1).

¹ In Braungardt et. al. (2025) werden die krisenbedingten Einsparungen an Erdgas bei Kleinverbrauchern auf knapp 10 % und bei industriellen Verbrauchern auf 15 % geschätzt.

Abbildung 1: Projektionsberichte im Vergleich zu den realen Daten



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis (BMUV, 2017; UBA, 2019; Repenning et al., 2021; Harthan et al., 2023; Harthan et al., 2024; Förster et al., 2025)

Im Haushaltssektor zeigen sich größere Differenzen zwischen den modellierten Verbräuchen und den Energiebilanzen. Besonders relevant waren hier:

- ▶ Witterungseffekte: Kalte Winter mit langen Heizperioden führten in einzelnen Jahren zu einem stark erhöhten Verbrauch, während mildere Winter die Nachfrage reduzierten.
- ▶ Energiekrise: Die stark gestiegenen Energiepreise ab 2022 führten zu einer spürbaren Reduktion des Erdgasverbrauchs, da Haushalte auf alternative Energieträger auswichen oder Heizverhalten anpassten (z. B. niedrigere Raumtemperaturen).
- ▶ Energieträgerunterschiede: Während beim Erdgas deutliche Einsparungen sichtbar wurden, blieb der Stromverbrauch stabiler. Heizöl und Biomasse zeigten zum Teil gegenläufige Entwicklungen.

Auch im GHD-Sektor traten Abweichungen auf, wenngleich weniger stark ausgeprägt als bei den Haushalten. Ursachen waren:

- ▶ Veränderte Nutzungsmuster (z. B. Homeoffice, verringerte Büroflächenbelegung während der Pandemie).

- **Preissensibilität:** Einige Unternehmen reagierten unmittelbar auf die gestiegenen Gas- und Strompreise, indem sie Verbräuche senkten oder Prozesse anpassten.

In der Industrie war der Energieverbrauchsrückgang zum Teil mit Produktionsdrosselungen verbunden. Vor allem energieintensive Branchen wie Chemie, Metall und Baustoffe reduzierten ihre Produktion zeitweise stark. Sowohl die Geschwindigkeit als auch das Ausmaß dieser Reaktionen blieben in den Projektionen hinter der tatsächlichen Entwicklung zurück, was nicht auf Schwächen der Modelle zurückzuführen ist, sondern darauf, dass unerwartete kurzfristige wirtschaftliche Einbrüche grundsätzlich schwer vorhersehbar und daher in Projektionen nur eingeschränkt abbildbar sind.

Im Verkehrssektor spielte die Corona-Pandemie eine entscheidende Rolle. Lockdowns und Reisebeschränkungen führten zu einem drastischen Rückgang im Personenverkehr, insbesondere im Flugverkehr. Der Güterverkehr war weniger stark betroffen, zeigte aber ebenfalls Schwankungen. Diese Effekte konnten in den Projektionsberichten naturgemäß nicht vorhergesehen werden.

Zusätzlich lassen sich einige Querschnittseffekte identifizieren:

- **Nachträgliche Anpassungen in der Energiebilanzmethodik:** Historische Daten wurden verändert, sodass frühere Modellannahmen auf einer nicht mehr gültigen Datenbasis beruhten.
- **Preis- und Markteffekte:** Die Energiepreiskrise 2022/23 zeigte, dass Preissignale sehr schnell und deutlich auf Verbrauchsentscheidungen wirken können – stärker als in den bisherigen Modellen angenommen.

Erkenntnisse für die Weiterentwicklung von Modellierungen

Aus den Beobachtungen ergeben sich mehrere zentrale Lehren für die künftige Modellierung von Energieverbräuchen. Zunächst zeigt sich, dass kurzfristige Einsparungen für die Genauigkeit von Projektionen von erheblicher Bedeutung sein können. Wenn beispielsweise bestimmte Ereignisse oder Entwicklungen bereits im Voraus erkennbar sind, dann ist es entscheidend, diese Faktoren in die Modelle zu integrieren. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass die Treiber solcher Einsparungen frühzeitig bekannt oder zumindest mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit antizipierbar sind.

Gleichzeitig wird deutlich, dass sich exogene Schocks wie Pandemien oder unerwartete Krisen zwar kaum vorhersagen lassen und die Modelle in ihrer Aussagekraft an Grenzen stoßen, es aber durchaus auch Entwicklungen gibt, die absehbar sind und in ihren Auswirkungen ähnlich stark sein können. Dazu zählen insbesondere Politikinstrumente, aber auch gesellschaftliche Trends, etwa ein zunehmendes Bewusstsein für Energiesparen oder veränderte Konsumgewohnheiten. Solche Faktoren sind in der Regel frühzeitig erkennbar und können deshalb in die Modellierung integriert werden. Entscheidend ist, dass erstens Modelle so ausgestaltet sind, dass sie diese absehbaren Veränderungen realistisch abbilden können, damit ihre Effekte auf den Energieverbrauch in den Projektionen sichtbar werden. Und zweitens, dass hinreichend belastbare Evaluationen bzw. Quantifizierungen für derartige Einsparmaßnahmen bestehen, um Effekte auch valide in Modellrechnungen einfließen lassen zu können.

Summary

Background and Objectives

The energy crisis of 2022–2023 demonstrated that substantial short-term energy savings are possible². These effects did not result from a single factor, but rather from a combination of several mechanisms: behavioral adjustments in households, efficiency measures, price reactions, as well as temporary restrictions in industry and transport. Previous modeling approaches, however, are not always able to fully capture such short-term dynamics.

The aim of the project is therefore to conduct an ex-post assessment of the observed reduction in final energy consumption of electricity and natural gas in 2022 and 2023, compared with previous projections for these years. The analysis examined the extent to which the savings observed during the energy crisis were captured by existing modeling approaches in the German government's projection reports, and which improvements appear promising in order to enhance the forecasting capability of energy and climate models.

Methodological Approach

The analysis followed five steps:

- ▶ Evaluation of the projection reports of 2017, 2019, 2021, 2023, and 2024, in order to systematically prepare their results and identify long-term trends.
- ▶ Comparison with actual energy balances for 2019–2023, to identify discrepancies between forecasts and actual consumption.
- ▶ Differentiated analysis by sector and energy carrier, with a focus on households, commerce/trade/services, industry, and transport.
- ▶ Examination of the causes of deviations, incorporating insights from Work Package 1.
- ▶ Discussion with experts in a dedicated workshop, in order to identify modeling gaps and develop proposals for improvements.

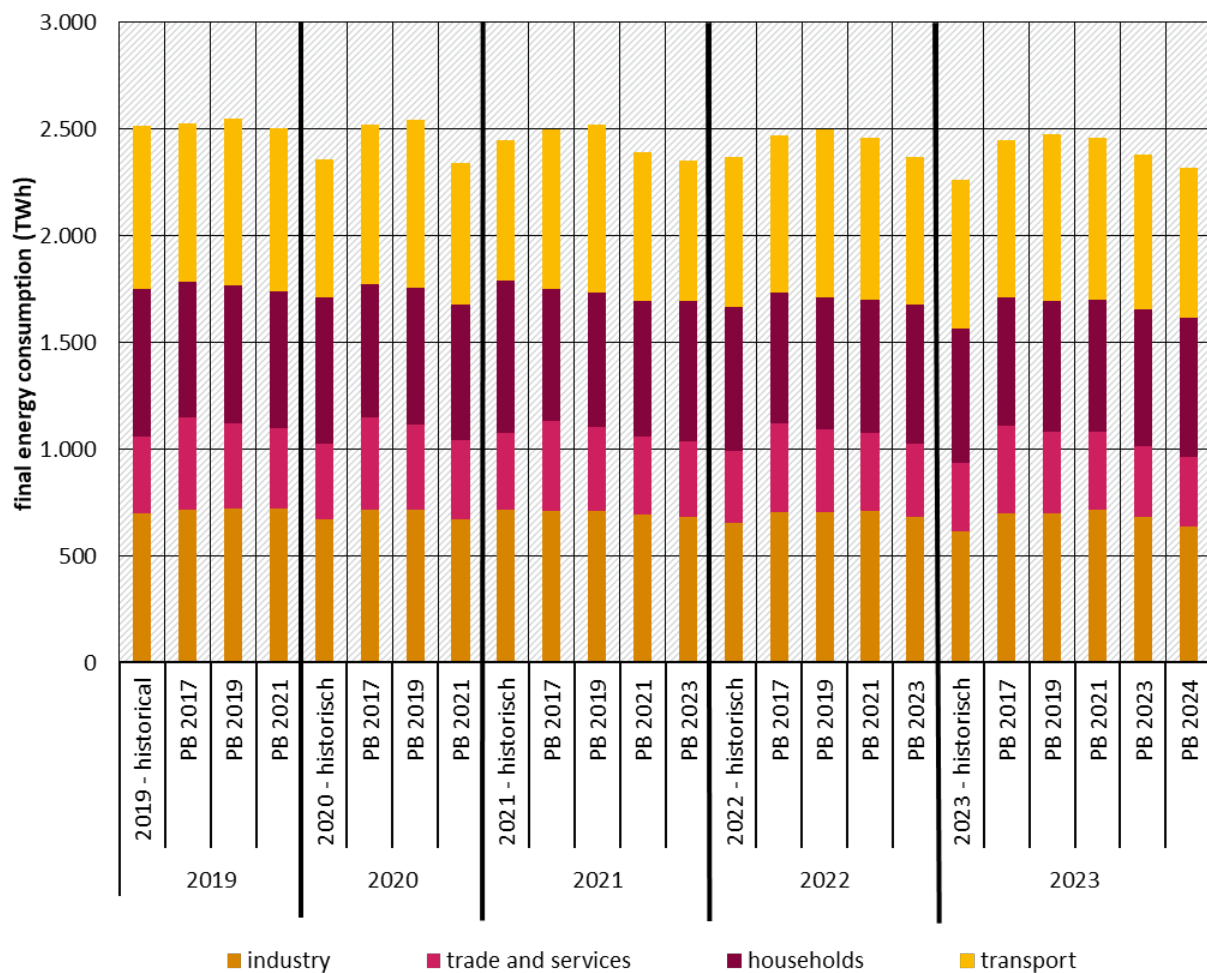
Results of the Analysis

The study reveals discrepancies between the projections in the government reports and the actual developments in energy consumption. Modelling inevitably relies on assumptions about future developments, which are inherently associated with uncertainties. On this background, the deviations can be broken down by sector.

Across all sectors, it becomes clear that the projections tended to overestimate consumption levels. The actual developments were more strongly shaped by short-term influences that were either not included or only insufficiently represented in the modeling (see Figure 1).

² In Braungardt et al. (2025), the crisis-related reductions in natural gas consumption are estimated at just under 10% for small-scale consumers and 15% for industrial consumers.

Figure 1: Projection reports compared with actual data



Source: Own presentation based on (BMUV, 2017; UBA, 2019; Repenning et al., 2021; Harthan et al., 2023; Harthan et al., 2024; Förster et al., 2025)

In the household sector, the deviations between the modelled projections and the energy balances are particularly pronounced. Key drivers include:

- ▶ Weather effects: Cold winters with long heating periods led to significantly increased consumption in some years, while milder winters reduced demand.
- ▶ Energy crisis: The sharp increase in energy prices starting in 2022 led to a noticeable reduction in natural gas consumption, as households switched to alternative fuels or adjusted heating behavior (e.g., lowering indoor temperatures).
- ▶ Differences between energy carriers: Significant savings were observed in natural gas consumption, whereas electricity use remained more stable. Heating oil and biomass showed partly opposing developments.
- ▶ In the commerce, trade, and services sector, deviations also occurred, though less pronounced than in households. The main reasons were:
- ▶ Changed usage patterns, such as working from home and reduced office occupancy during the pandemic.

- Price sensitivity, as some companies reacted directly to higher gas and electricity prices by cutting consumption or adapting processes.

In industry, the decline in energy consumption was partly linked to reductions in production. Energy-intensive industries such as chemicals, metals, and building materials temporarily scaled back production significantly. Both the speed and the magnitude of these reactions lagged behind the actual developments in the projections, which is not due to weaknesses of the models but rather to the fact that unexpected short-term economic downturns are fundamentally difficult to predict and can therefore only be represented to a limited extent in projections.

In the transport sector, the COVID-19 pandemic played an important role. Lockdowns and travel restrictions caused a dramatic decline in passenger transport, particularly in aviation. Freight transport was less affected but still showed fluctuations. These effects could, by nature, not have been foreseen in the projection reports.

Additionally, some cross-cutting factors can be identified:

- Subsequent adjustments in energy balance methodology: Historical data were revised, meaning earlier modeling assumptions rested on a data basis that was later changed.
- Price and market effects: The 2022/23 energy crisis revealed that price signals can have a very fast and pronounced impact on consumption decisions – stronger than assumed in previous models.

Lessons for the Further Development of Modeling

Several key lessons can be drawn for the future modeling of energy consumption. First, it becomes evident that short-term savings can be highly relevant for the accuracy of projections. If certain events or developments are foreseeable, it is essential to integrate these factors into the models. The prerequisite is that the drivers of such savings are known in advance or can at least be anticipated with some probability.

At the same time, it is clear that exogenous shocks such as pandemics or unexpected crises are hardly predictable and push models to their limits. However, there are also developments that are foreseeable and can have similarly significant effects. These include political instruments as well as societal trends, such as a growing awareness of energy saving or changing consumption patterns. Such factors are generally identifiable at an early stage and can therefore be integrated into modeling. What is crucial is, first, that models are designed in such a way that they can realistically capture these foreseeable changes, so that their effects on energy consumption become visible in the projections. And second, that sufficiently robust evaluations or quantifications of such saving measures exist, in order to allow their effects to be validly incorporated into modelling calculations.

1 Hintergrund und Zielsetzung

Die sogenannte Energiekrise in den Jahren 2022-2023 hat eindrücklich gezeigt, dass kurzfristig erhebliche Energieeinsparungen möglich sind. Diese Einsparungen beruhten jedoch nicht auf einem einzelnen Mechanismus, sondern auf einer Vielzahl von Effekten: von veränderten Verbrauchsgewohnheiten über Effizienzmaßnahmen bis hin zu temporären Veränderungen in der Produktion. Diese komplexen Wirkungszusammenhänge wurden in Braungardt et al. (2025) detailliert untersucht und dokumentiert.

In Modellierungsarbeiten zur Energie- und Klimapolitik werden solche Effekte bislang jedoch nur unzureichend berücksichtigt. Modelle tendieren dazu, strukturelle Veränderungen, Preissignale und Verhaltensanpassungen stark vereinfacht oder gar nicht abzubilden. Dies führt dazu, dass die Projektionen der Modelle teilweise erheblich von den tatsächlich eingetretenen Entwicklungen in der Energiekrise abweichen. Damit stellt sich die zentrale Frage, wie die Erfahrungen aus dieser Krisensituation genutzt werden können, um Modellierungsansätze zu verbessern und so belastbarere Aussagen für künftige Energie- und Klimapfade zu ermöglichen.

Der vorliegende Bericht greift genau dieses Anliegen auf. Er analysiert, inwieweit die in der Energiekrise beobachteten Einspar- und Anpassungseffekte in bestehenden Modellierungen adäquat erfasst wurden. Dazu werden vergangene Modellierungsergebnisse aus den Projektionsberichten der Bundesregierung mit den realen Verbrauchsdaten aus der Krisenzeit systematisch verglichen. Auf dieser Grundlage wird untersucht, wo Abweichungen bestehen, welche Ursachen diese haben und welche Schlüsse sich daraus für die Weiterentwicklung von Modellierungsansätzen ziehen lassen.

Abschließend werden die Befunde in einem Fachgespräch mit Expertinnen und Experten diskutiert. Ziel ist es, praxisnahe Vorschläge zu erarbeiten, wie Modelle künftig erweitert oder angepasst werden können, um die in der Krise sichtbar gewordenen Effekte besser abzubilden. Damit wird ein Beitrag zu einer realitätsnäheren und robusteren Modellierung geleistet, die für Politikberatung und strategische Energieplanung von großer Bedeutung ist.

In Kapitel 2 wird das methodische Vorgehen zur Validierung der Projektionsberichte anhand historischer Verbrauchswerte beschrieben. Zudem wird die darauf basierende analytische Auswertung erörtert.

In Kapitel 3 werden die Ergebnisse der letzten Projektionsberichte (PB) (2017, 2019, 2021, 2023, 2024) aufbereitet, um den Verlauf der Endenergieverbräuche jahresscharf nach Sektoren, Anwendungsbereichen und Energieträgern sowie instrumentenspezifischen Minderungsbeiträgen darzustellen. Anschließend werden diese Szenarienergebnisse mit den tatsächlichen Verbrauchsdaten abgeglichen und Abweichungen identifiziert. Darauf aufbauend werden die Gründe für diese Abweichungen detailliert untersucht und verschiedene mögliche Einflussfaktoren diskutiert.

Schließlich werden die Ergebnisse in Kapitel 4 zusammengeführt, um Modellierungslücken zu identifizieren und den Weiterentwicklungsbedarf bei der Modellierung von Energieverbräuchen darzustellen.

2 Methodisches Vorgehen

Das methodische Vorgehen gliedert sich in fünf Arbeitsschritte: Im ersten Arbeitsschritt werden die Projektionsberichte der vergangenen Jahre analysiert und die Projektionen werden mit den Daten aus der Energiebilanz der vergangenen Jahre verglichen. Auf Basis der beobachteten Abweichungen werden im zweiten Schritt Gründe für die Abweichungen untersucht und es werden Verbesserungsmöglichkeiten in der Modellierung untersucht. Im dritten Schritt werden die Erkenntnisse im Rahmen eines Fachgesprächs mit Expertinnen und Experten aus dem Bereich der Modellierung diskutiert.

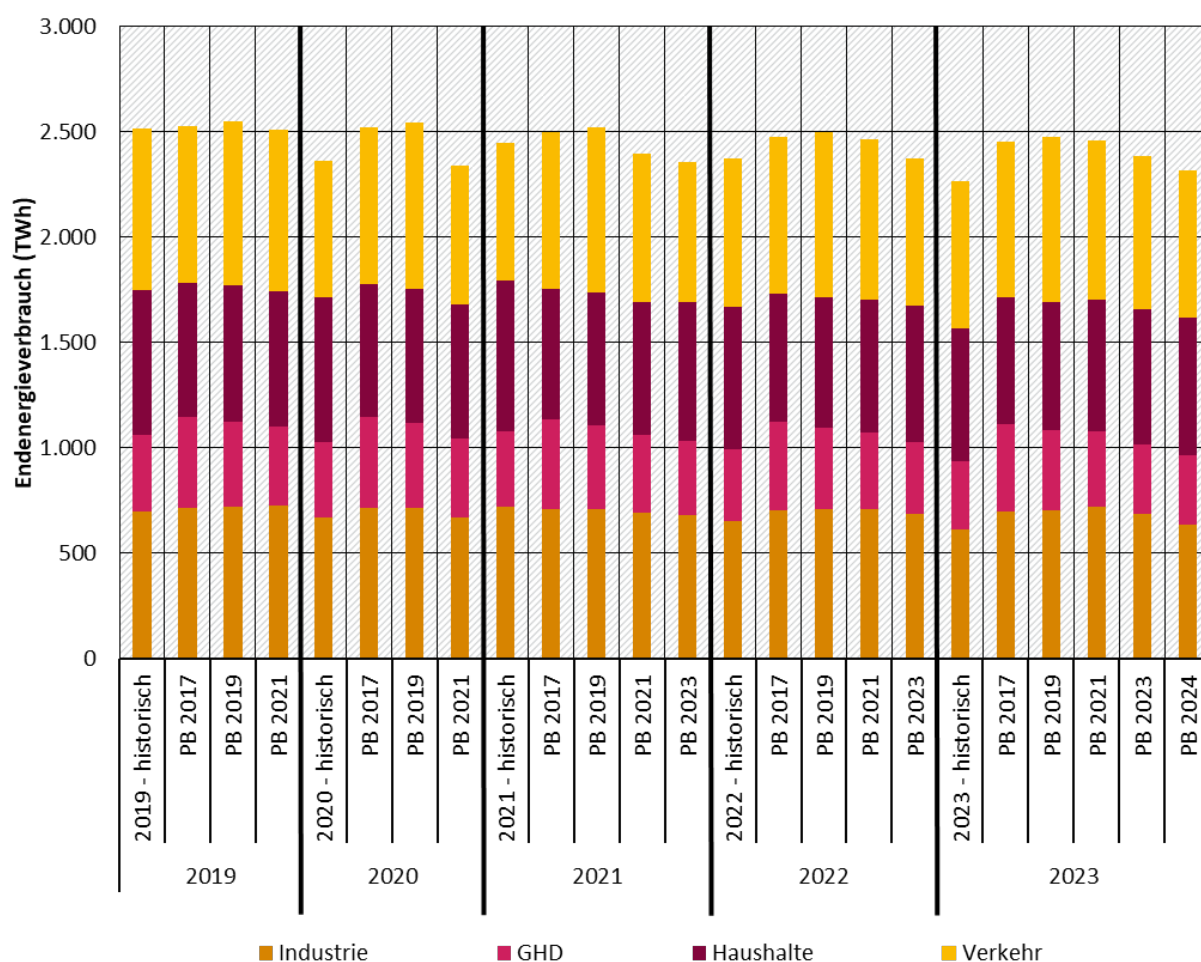
1. **Aufbereitung der Ergebnisse der Projektionsberichte:** Zunächst erfolgt im ersten Schritt eine inhaltliche Strukturierung der Ergebnisse der letzten fünf Projektionsberichte (2017, 2019, 2021, 2023 und 2024). Das Ziel besteht darin, ein umfassendes Bild der historischen Projektionsergebnisse zu erhalten und dadurch Trends oder Abweichungen über einen längeren Zeitraum hinweg erkennbar zu machen. Dies ermöglicht eine Überprüfung der Konsistenz und Kohärenz der Modellannahmen über die Jahre hinweg.
2. **Vergleich der historischen Energieverbrauchsdaten 2019–2023 mit Projektionswerten:** In der Folge werden die tatsächlichen Energieverbrauchswerte der Jahre 2019 bis 2023 mit den jeweils vorhergesagten Werten aus den Projektionsberichten korreliert. Der vorliegende Soll-Ist-Abgleich dient der Bewertung der Projektionsqualität sowie der Identifizierung potenzieller systematischer Abweichungen.
3. **Differenzierte Analyse nach Sektoren und Energieträgern:** Zur detaillierten Analyse der Ursachen erfolgt eine umfassende Auswertung nach Sektoren (Industrie und Verkehr). Für die Teilsektoren GHD (Gewerbe, Handel, Dienstleistungen) sowie Haushalte wird zusätzlich eine Differenzierung nach eingesetzten Energieträgern (z. B. Erdgas, Strom, Heizöl, Fernwärme, erneuerbare Energien) vorgenommen. Diese Differenzierung unterstützt die Identifikation von sektorspezifischen Besonderheiten oder Fehlerquellen in der Modellierung.
4. **Ursachenanalyse von Abweichungen:** Im Anschluss erfolgt eine Analyse der potenziellen Ursachen für Abweichungen zwischen den modellierten und den tatsächlichen Verbräuchen. Dabei werden auch die Analysen aus Braungardt et al. (2025) zusammengeführt.
5. **Zusammenführung der Ergebnisse und Fachgespräch zur Identifikation von Modellierungslücken:** Die Identifizierung etwaiger verbleibender Lücken oder systematischer Schwächen in den Modellierungsansätzen bildet die Grundlage für die Ableitung gezielter Empfehlungen für deren Weiterentwicklung. Diese werden in einem Online-Fachgespräch mit Expertinnen und Experten diskutiert.

3 Vergleich der Projektionsberichte – Ergebnisse

3.1 Sektorübergreifende Betrachtung

Die in Abbildung 2 präsentierte Gegenüberstellung der realen historischen Verbrauchsdaten für die Jahre 2019, 2020, 2021, 2022 und 2023 und der Projektionsberichte (PB) für die genannten Jahre erlaubt eine übergreifende Analyse. Die Analyse ergibt eine insgesamt als vergleichsweise gut zu bezeichnende Übereinstimmung. Dennoch sind in bestimmten Bereichen Abweichungen festzustellen, die im Hinblick auf die verschiedenen Sektoren und Energieträger differenziert betrachtet werden müssen. In den folgenden Kapiteln werden diese Abweichungen detaillierter untersucht, um aufzuzeigen, an welchen Stellen Diskrepanzen auftreten und welche möglichen Erklärungen dafür in Betracht gezogen werden können.

Abbildung 2: Projektionsberichte im Vergleich zu den realen Daten



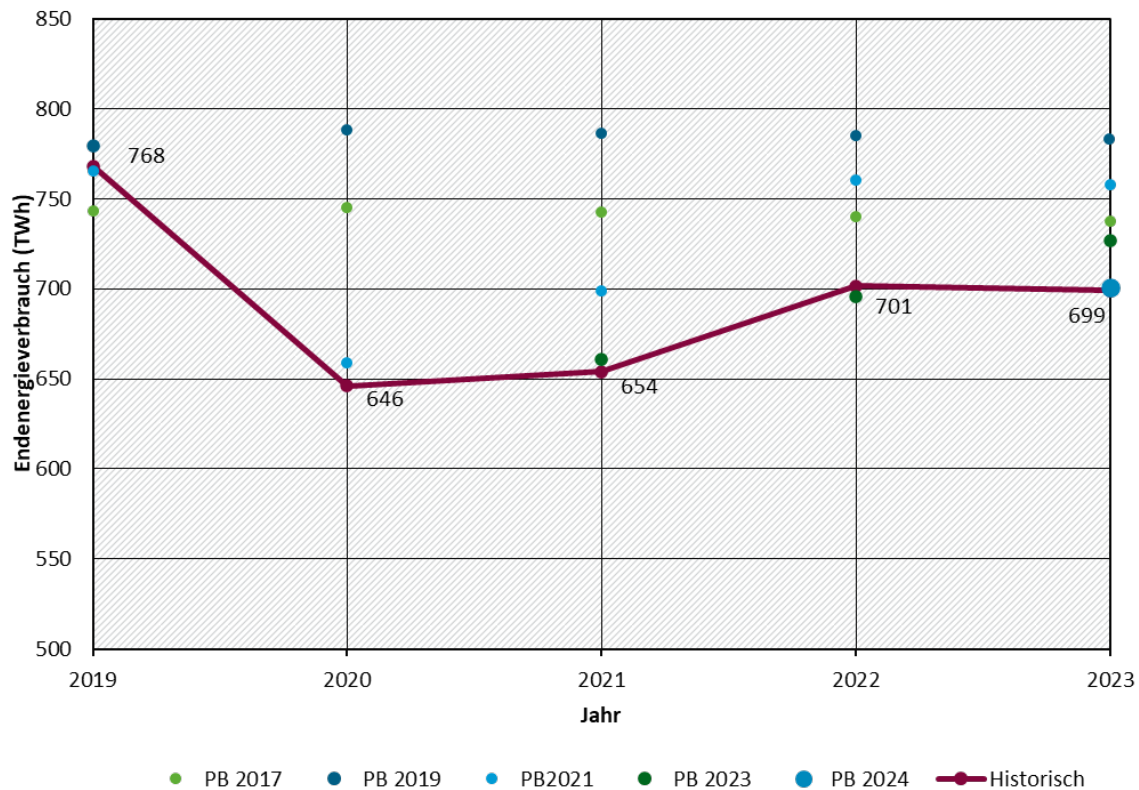
Quelle: Eigene Darstellung auf Basis (BMUV, 2017; UBA, 2019; Repenning et al., 2021; Harthan et al., 2023; Harthan et al., 2024; Förster et al., 2025)

3.2 Verkehr

In Abbildung 3 wird der Vergleich der historischen Verbrauchsdaten im Verkehrssektor mit den entsprechenden Projektionen für den Zeitraum von 2019 bis 2023 dargestellt. Es wird deutlich, dass die in den Projektionsberichten modellierten Verbrauchswerte ab dem Jahr 2020 höher lagen als die tatsächlichen historischen Daten.

Die Projektionsberichte der Jahre 2017 und 2019 zeigen dabei die signifikantesten Abweichungen für die Jahre ab 2020. Die Auswirkungen der COVID-Pandemie führten ab dem Jahr 2020 zu einer Reduktion des Verkehrsaufkommens. In den Berichten der Jahre 2017 und 2019 konnte diese nicht berücksichtigt werden, da sie zum damaligen Zeitpunkt noch nicht absehbar war. Demgegenüber zeigen die Projektionsberichte von 2021, 2023 und 2024 eine angepasste Einschätzung, die teilweise die reduzierten Verkehrszahlen aufgrund der Pandemie und ihrer langfristigen Auswirkungen berücksichtigt. Dennoch liegen auch hier die tatsächlichen Verbrauchsdaten immer noch unter den modellierten Werten.

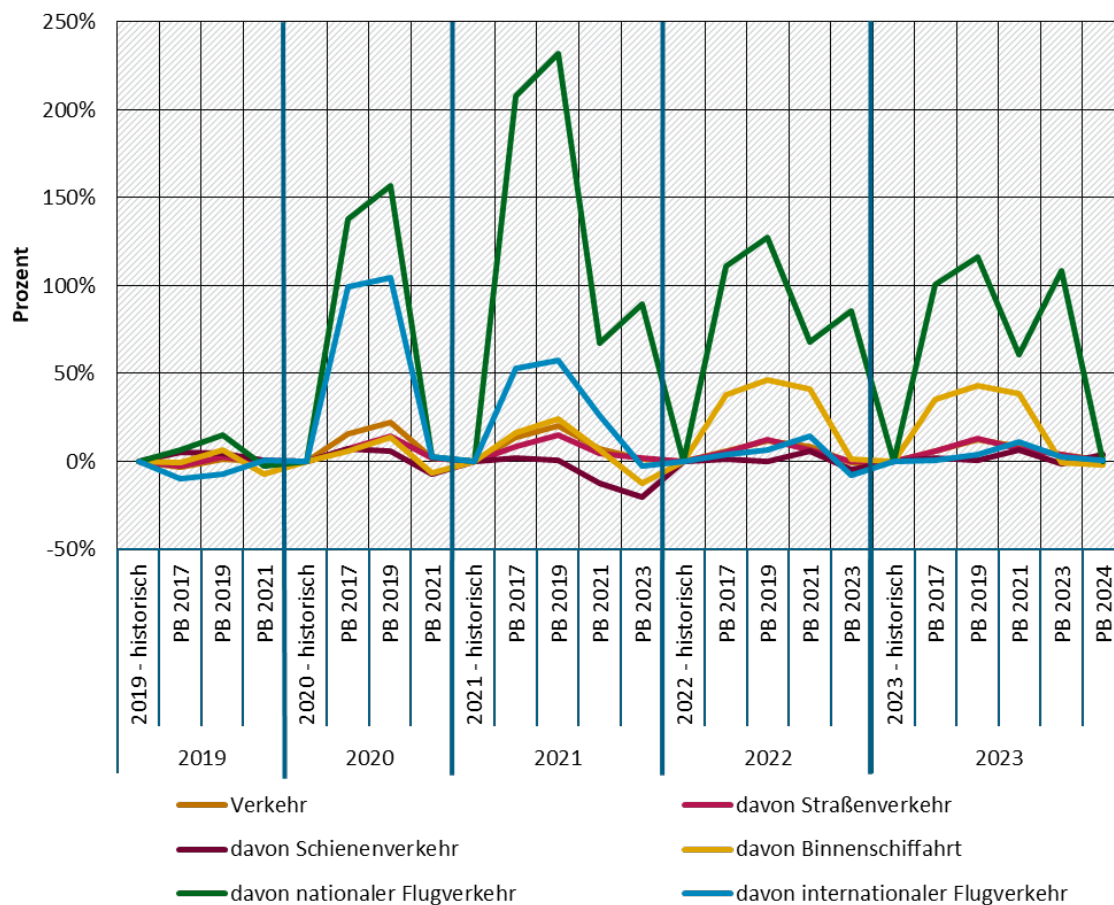
Abbildung 3: Sektor Verkehr: Überblick



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis (BMUV, 2017; UBA, 2019; Repenning et al., 2021; Harthan et al., 2023; Harthan et al., 2024; Förster et al., 2025)

Eine detaillierte Analyse der einzelnen Sektoren des Verkehrs offenbart Unterschiede. Die in Abbildung 4 dargestellte Gegenüberstellung der historischen Verbrauchsdaten im Verkehr mit den entsprechenden Projektionswerten für den Zeitraum 2019 bis 2023 für die Untersektoren gibt weitere Einblicke. Insbesondere im Flugverkehr sind die Abweichungen ab dem Jahr 2020 signifikant. Diese Diskrepanz ist auf die Reduktion der Aktivitäten im Flugverkehr während der COVID-Pandemie zurückzuführen. Auch für das Jahr 2023 bleiben die tatsächlichen Verbrauchswerte hinter den modellierten Zahlen zurück. Des Weiteren unterschreiten die Verbrauchswerte für die Binnenschifffahrt ab dem Jahr 2022 die projizierten Werte in den PB von 2017 bis 2021. Im Straßen- und Schienenverkehr sind die Abweichungen deutlich niedriger.

Abbildung 4: Abweichungen im Verkehrssektor inkl. Untersektoren

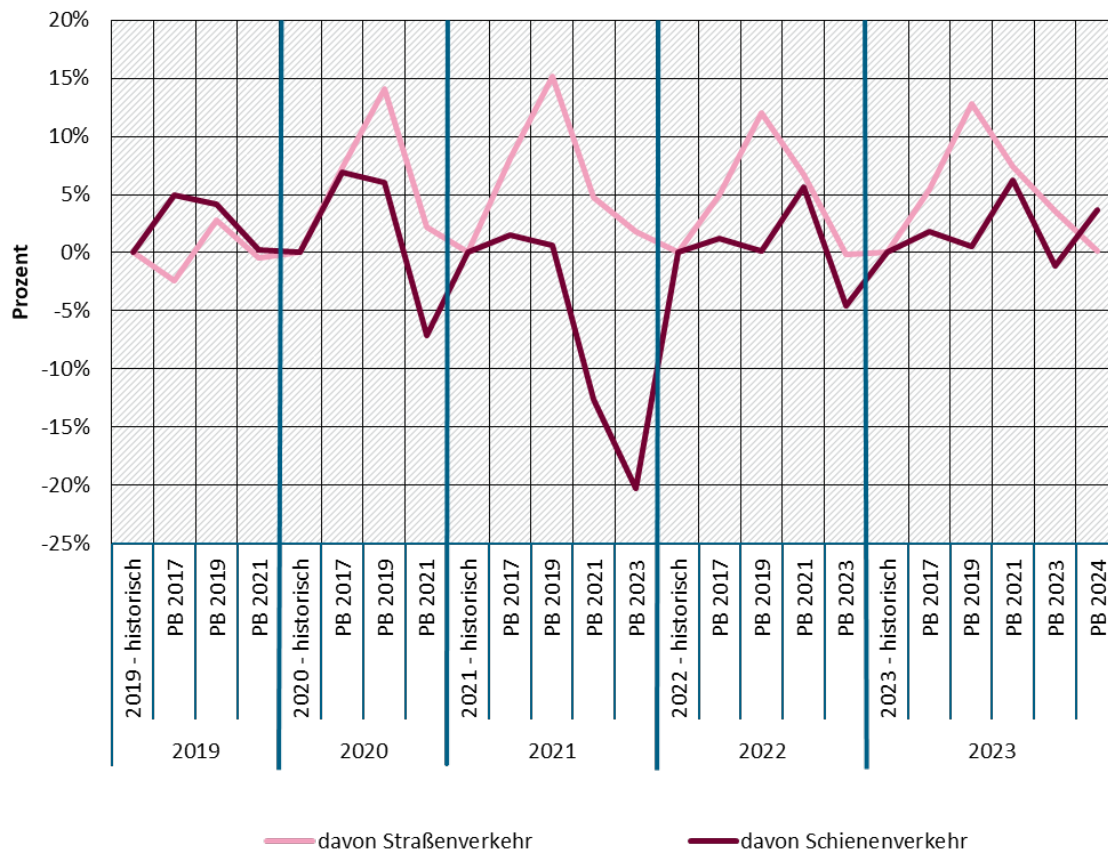


Quelle: Eigene Darstellung auf Basis (BMUV, 2017; UBA, 2019; Repenning et al., 2021; Harthan et al., 2023; Harthan et al., 2024; Förster et al., 2025)

Die Gegenüberstellung der Verbrauchsdaten mit den entsprechenden Projektionswerten wird in Abbildung 5 für den Straßen- und Schienenverkehr vorgenommen. Im Rahmen der Analyse des Straßenverkehrs wurden die Projektionsberichte der Jahre 2017 und insbesondere 2019 als signifikant identifiziert. Dies ist auf eine Diskrepanz zwischen den modellierten und den tatsächlichen Werten zurückzuführen, wobei die Projektionen einen höheren Verbrauch vorhersagten. Auch in diesem Fall ist die sogenannte COVID-Pandemie als mögliche Ursache für die beobachteten Verschiebungen zu nennen.

Im Schienenverkehr sind die Abweichungen insgesamt geringer. Eine signifikante Abweichung ist das Jahr 2021, in dem der Projektionsbericht 2023 eine deutlich geringere Verbrauchsmenge projiziert als letztlich realisiert wurde.

Abbildung 5: Abweichungen im Straßen- und Schienenverkehr

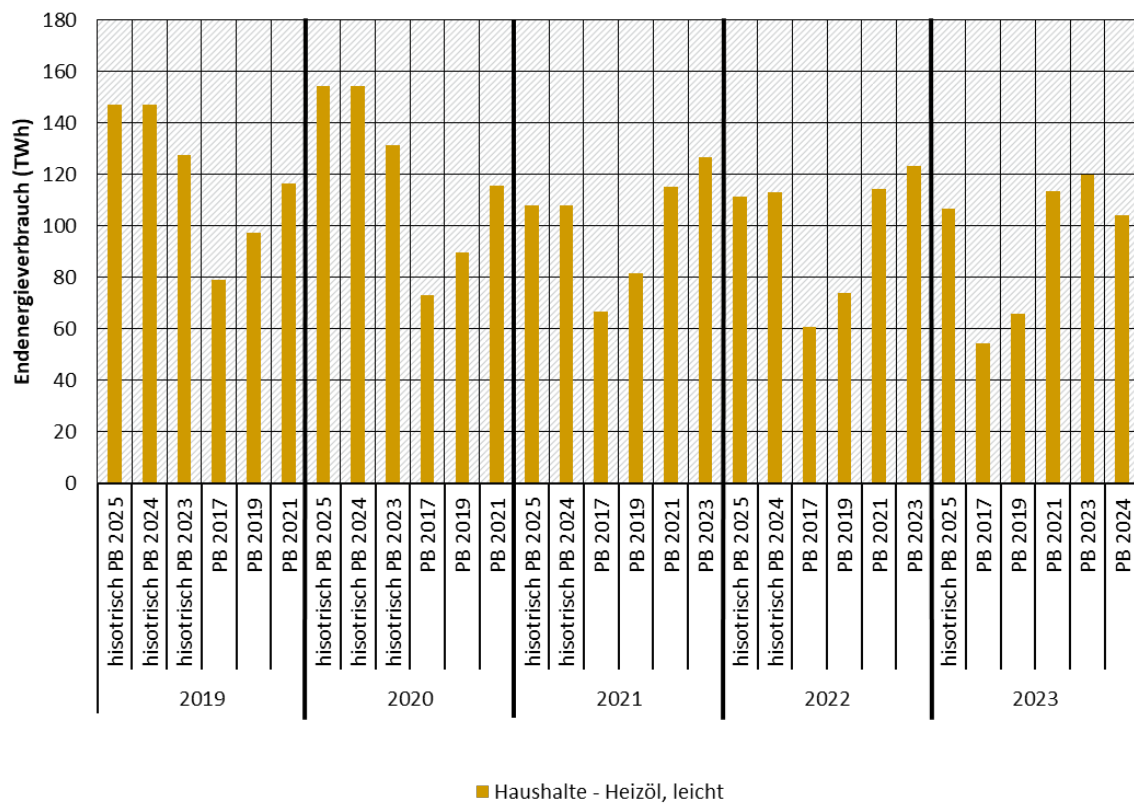


Quelle: Eigene Darstellung auf Basis (BMUV, 2017; UBA, 2019; Repenning et al., 2021; Harthan et al., 2023; Harthan et al., 2024; Förster et al., 2025)

3.3 Haushalte

Die Analyse der Energieverbrauchsdaten der Haushalte ergibt eine leichte Überschreitung der modellierten Werte. Ein wesentlicher Grund für diese Abweichungen sind Änderungen in der Energiebilanz für Haushalte und gewerbliche/öffentliche Dienstleistungsbereiche (GHD). Aufgrund einer Anpassung der Berechnungsmethode wurde eine Verschiebung des GHD-Verbrauchs zu den Haushalten beobachtet. Dies resultierte in einem Anstieg des Haushaltsverbrauchs im Vergleich zu den ursprünglichen Projektionen. Abbildung 6 zeigt bspw. die Veränderungen der historischen Ausgangslage für Heizöl in den Haushalten, da wird deutlich, dass z.B. für das Jahr 2020 die historischen Daten in den Projektionsberichten 2025 und 2024 deutlich höher sind als beim PB 2023.

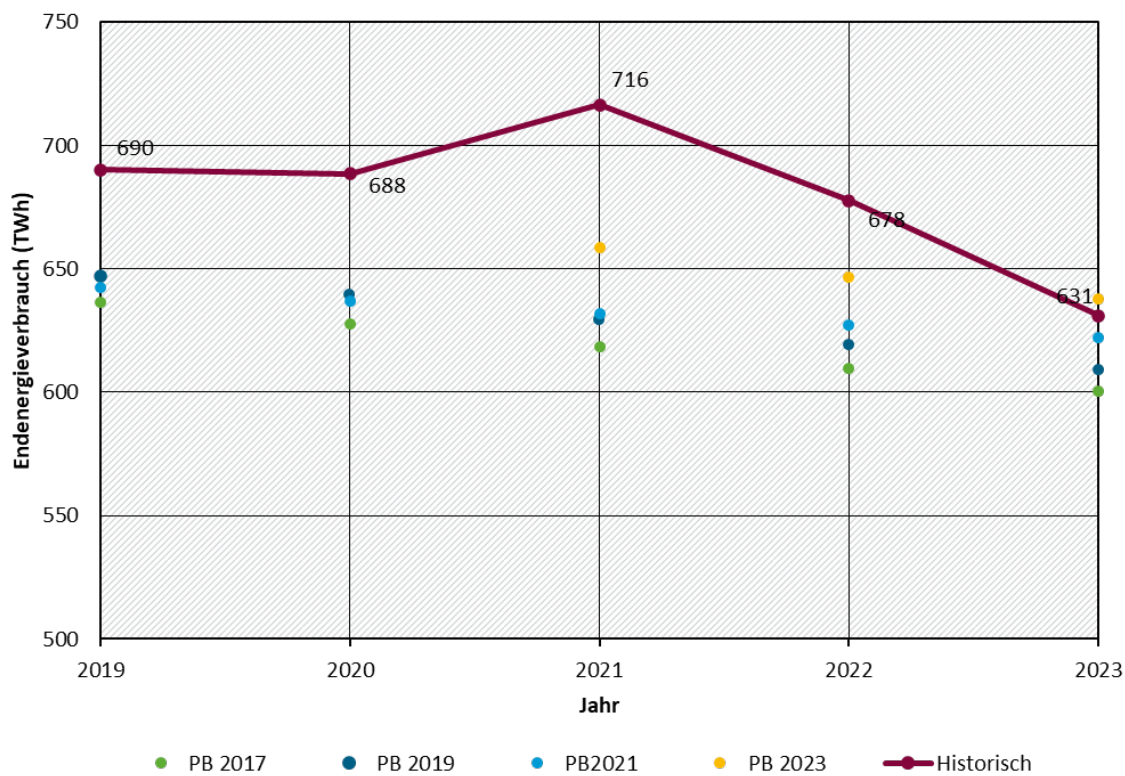
Abbildung 6: Sektor Haushalte – Heizöl – Unterschiede historische Ausgangslage



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis (BMUV, 2017; UBA, 2019; Repenning et al., 2021; Harthan et al., 2023; Harthan et al., 2024; Förster et al., 2025)

Die Vergleichsanalyse der historischen Verbrauchsdaten für Haushalte mit den entsprechenden Projektionswerten sind in Abbildung 6 dargestellt.

Abbildung 7: Sektor Haushalte: Überblick

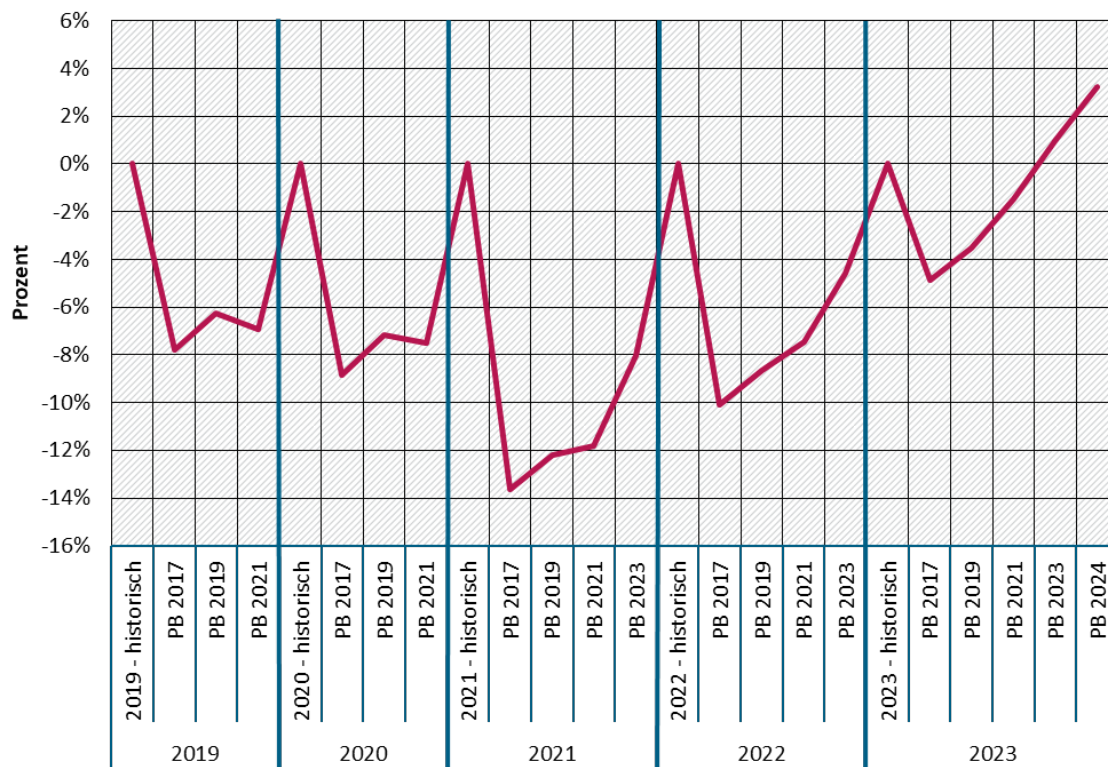


Quelle: Eigene Darstellung auf Basis (BMUV, 2017; UBA, 2019; Repenning et al., 2021; Harthan et al., 2023; Harthan et al., 2024; Förster et al., 2025)

Die relative Abweichung der Verbrauchsdaten des Haushaltssektors wird in Abbildung 8 für jedes Jahr und jeden Projektionsbericht dargestellt. Die nachträgliche Änderung in der Energiebilanz durch methodische Anpassungen ist systematisch für die Abweichungen nach unten verantwortlich. Diese Anpassungen resultierten in einer Korrektur des Verbrauchs, was in den meisten Jahren zu einer geringeren Verbrauchsmodellierung als die tatsächlichen Daten führte.

Die Abweichung fällt im Jahr 2021 besonders stark aus. Ein in diesem Jahr unerwartet hoher Energieverbrauch, der auf einen kalten Winter zurückzuführen ist, führte zu einer deutlichen Unterschreitung durch die Projektionen. Dieser Effekt wurde in den Projektionsberichten nicht berücksichtigt, was zu einer signifikanten Abweichung nach unten im Jahr 2021 führte.

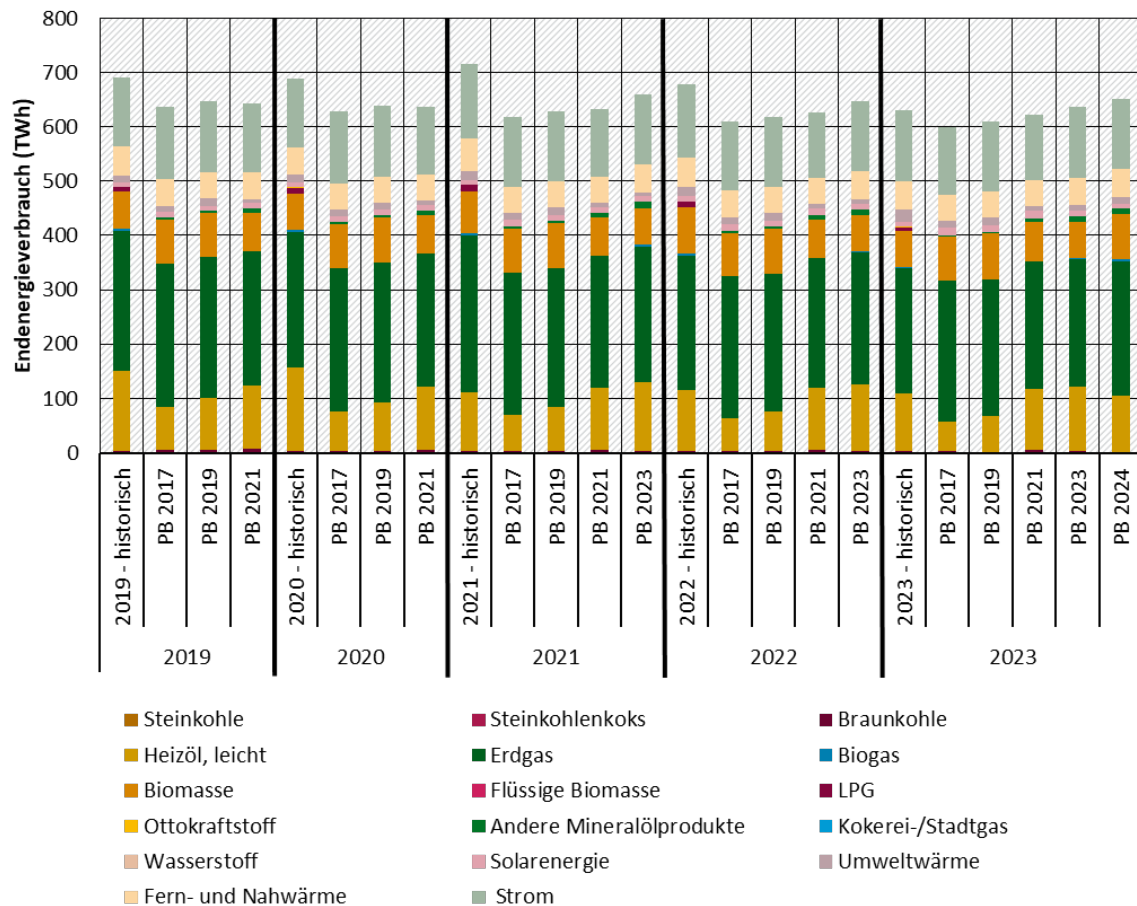
Abbildung 8: Sektor Haushalte: Abweichungen nach Jahr



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis (BMUV, 2017; UBA, 2019; Repenning et al., 2021; Harthan et al., 2023; Harthan et al., 2024; Förster et al., 2025)

Abbildung 9 stellt die realen Verbrauchsdaten und die Energiemengen aus den Projektionsberichten für den Haushaltssektor nach Energieträgern auf. Um einen besseren Überblick zu erhalten, werden im Folgenden die Daten und Abweichungen zwischen den Projektionsberichten und den realen Verbrauchsdaten für die Energieträger Erdgas, Heizöl, Fernwärme, Biomasse und Strom im Haushaltssektor dargestellt.

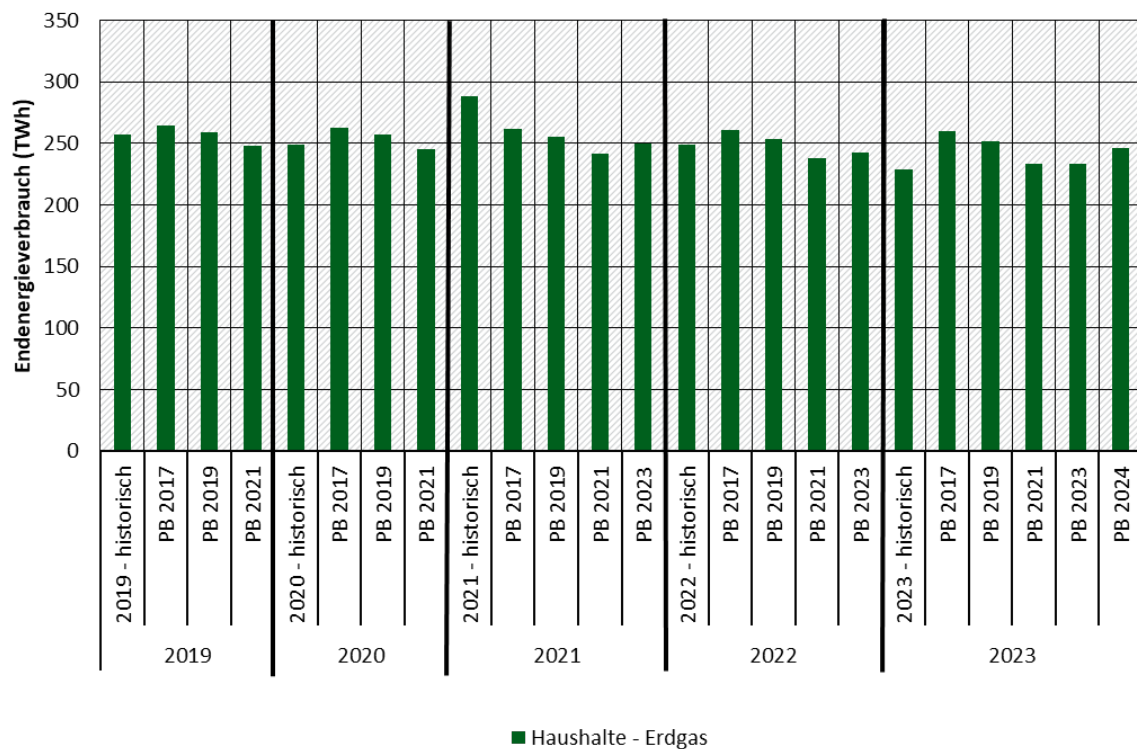
Abbildung 9: Sektor Haushalte: Überblick nach Energieträger



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis (BMUV, 2017; UBA, 2019; Repenning et al., 2021; Harthan et al., 2023; Harthan et al., 2024; Förster et al., 2025)

Der Vergleich für den Energieträger Erdgas im Haushaltssektor wird in Abbildung 10 dargestellt. Die Projektionsberichte zeigen eine insgesamt gute und realitätsnahe Modellierungsergebnisse der Erdgasverbrauchswerte. Abweichungen, insbesondere die für das Jahr 2021 in den Projektionsberichten deutlich gesunkenen Werte, lassen sich durch Witterungseffekte erklären. Im Jahr 2021 wurden vergleichsweise niedrige Temperaturen während der Heizperiode verzeichnet. Im Jahr 2023 sind die realen Werte geringer, was mit hoher Wahrscheinlichkeit auf krisenbedingte Einsparungen zurückzuführen ist. Diese sind vermutlich eine Folge des Russlandkriegs gegen die Ukraine sowie der damit verbundenen Unsicherheiten, Einsparbemühungen und Preisanstiege. Die vorstehend aufgeführten Effekte konnten im Rahmen der Projektion nicht antizipiert werden und wurden daher in der Modellierung nicht berücksichtigt.

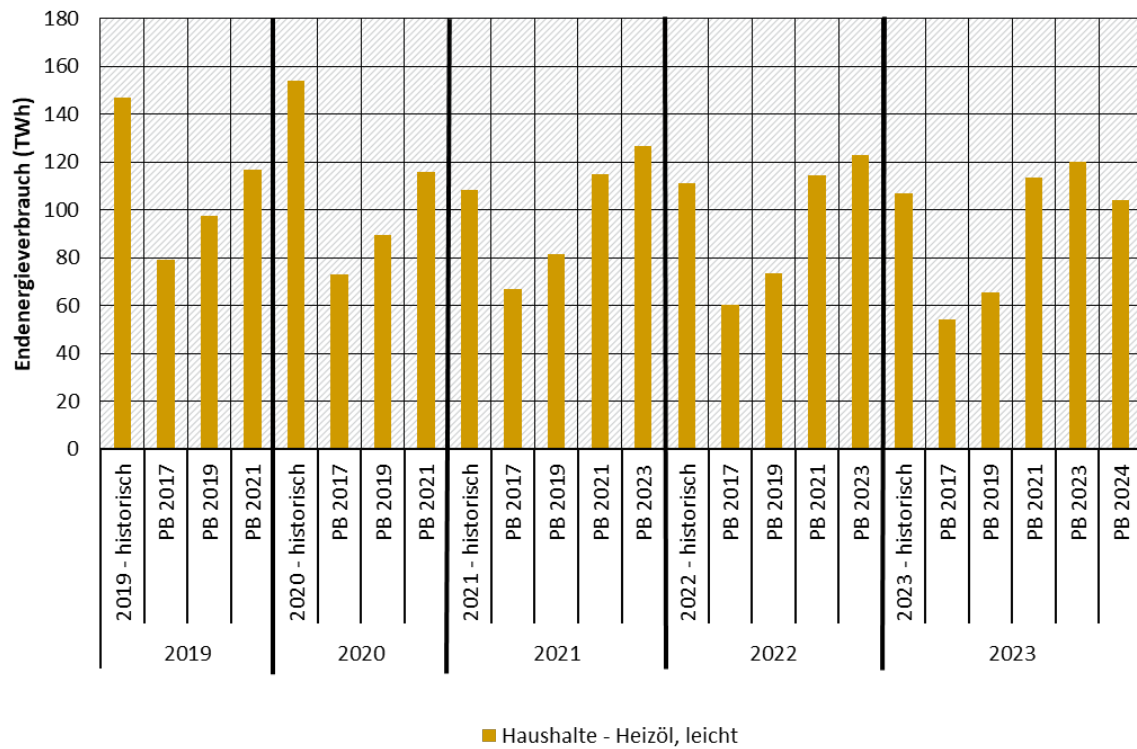
Abbildung 10: Sektor Haushalte: Erdgas



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis (BMUV, 2017; UBA, 2019; Repenning et al., 2021; Harthan et al., 2023; Harthan et al., 2024; Förster et al., 2025)

Eine Analyse der Daten für den Energieträger Heizöl, wie in Abbildung 11 dargestellt, zeigt deutliche Abweichungen zwischen den Projektionsberichten von 2017 und 2019 und den realen Energiebilanzdaten der Jahre 2019 bis 2023. Das gleiche gilt für den PB 2021 für die Jahre 2019 und 2020. Die Abweichungen, die insbesondere in den früheren Jahren zu verzeichnen sind, sind mutmaßlich hauptsächlich auf die nachträgliche Anpassung der Energiebilanz infolge einer modifizierten Berechnungsmethode zurückzuführen. Es sei darauf hingewiesen, dass weitere Effekte, die zu Abweichungen zwischen den historischen Daten und den Projektionsberichten führen, die Witterung sowie beim Heizöl die Lagerungseffekte sind. Der Erwerb von Heizöl ist durch Tanks entkoppelt vom Verbrauch. Dementsprechend erfolgt der Einkauf je nach Preis und Verfügbarkeit, jedoch nicht der direkte Verbrauch. Ab dem Jahr 2021 sind die Daten der PB 2021, 2023 und 2024 zudem relativ nah an den historischen Daten aus der Energiebilanz.

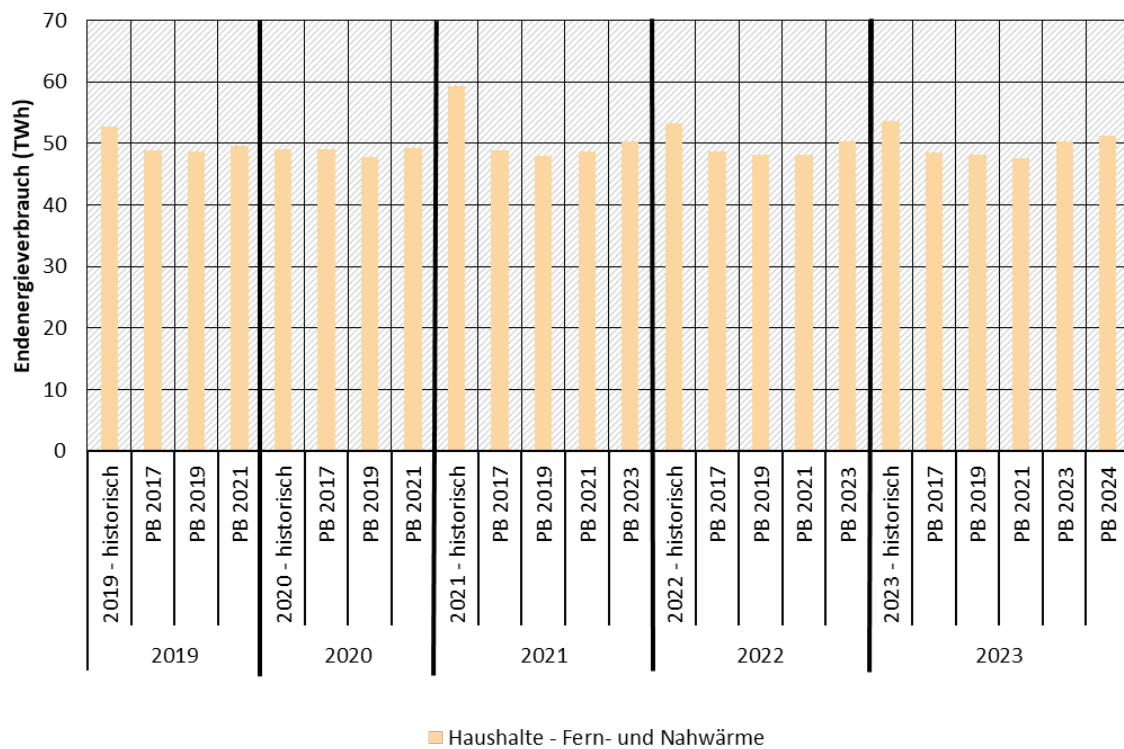
Abbildung 11: Sektor Haushalte - Heizöl



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis (BMUV, 2017; UBA, 2019; Repenning et al., 2021; Harthan et al., 2023; Harthan et al., 2024; Förster et al., 2025)

Bei der Fernwärme sind die Differenzen zwischen Projektion und realem Verbrauch insgesamt relativ niedrig und in der gleichen Größenordnung. In Einzelfällen – insbesondere im Jahr 2021 – sind reale Verbrauchswerte dokumentiert, die signifikant über den Projektionswerten liegen. Die Ursache hierfür könnte in den Witterungseffekten liegen, da im Jahr 2021 eine vergleichsweise kalte Heizperiode beobachtet wurde. Die Daten werden in Abbildung 12 veranschaulicht.

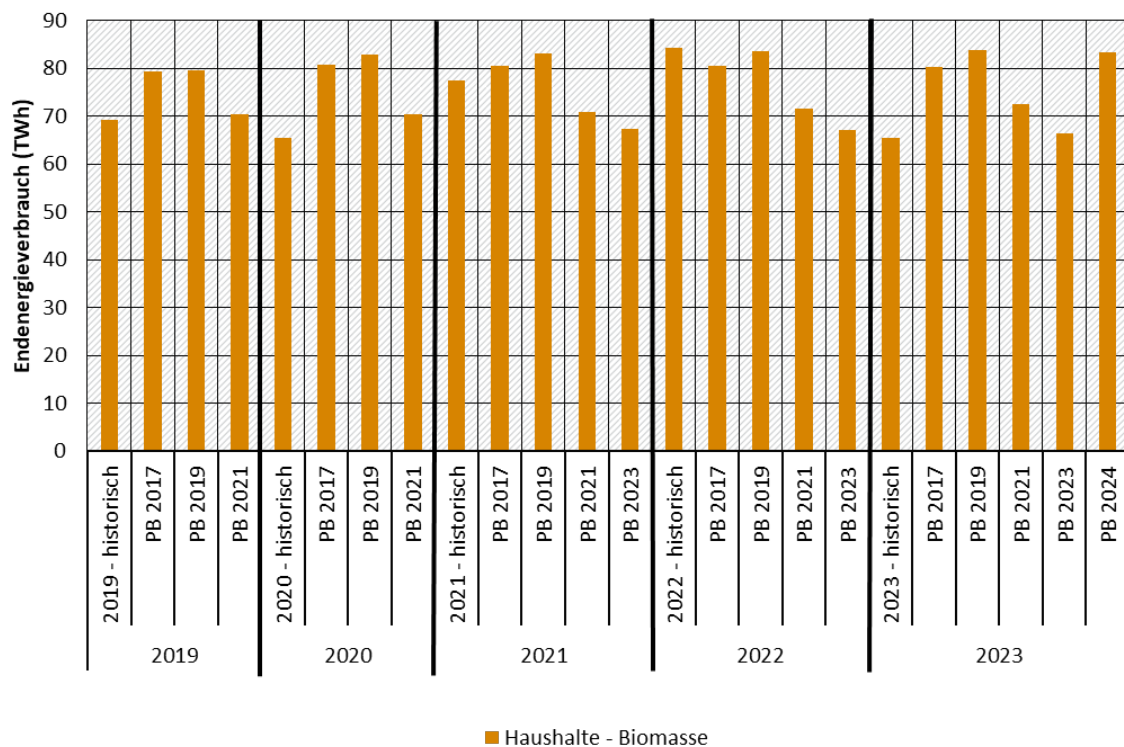
Abbildung 12: Sektor Haushalte - Fernwärme



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis (BMUV, 2017; UBA, 2019; Repenning et al., 2021; Harthan et al., 2023; Harthan et al., 2024; Förster et al., 2025)

Die Verbrauchsdaten des Energieträgers Biomasse im Haushaltssektor liegen in den Energiebilanzen tendenziell unter den modellierten Werten aus den Projektionsberichten. Abbildung 13 zeigt die Ergebnisse von 2019 bis 2023: Das Jahr 2022 bildet eine Ausnahme, da die Werte sprunghaft angestiegen sind, höher als die Projektionen liegen und 2023 wieder sinken. Dies könnte auf die Preissteigerungen von Erdgas im Jahr 2022 als Folge des Angriffskriegs Russlands auf die Ukraine und die damit verbundene Versorgungsunsicherheit zurückzuführen sein. In den anderen Jahren, in denen der reale Verbrauch unter den modellierten Werten liegt, sind die PB 2017, 2019 und 2024 insbesondere höher als die PB 2021 und 2023. In dieser Betrachtung lassen sich ansonsten keine Witterungs- oder Effekte der Corona-Pandemie ablesen.

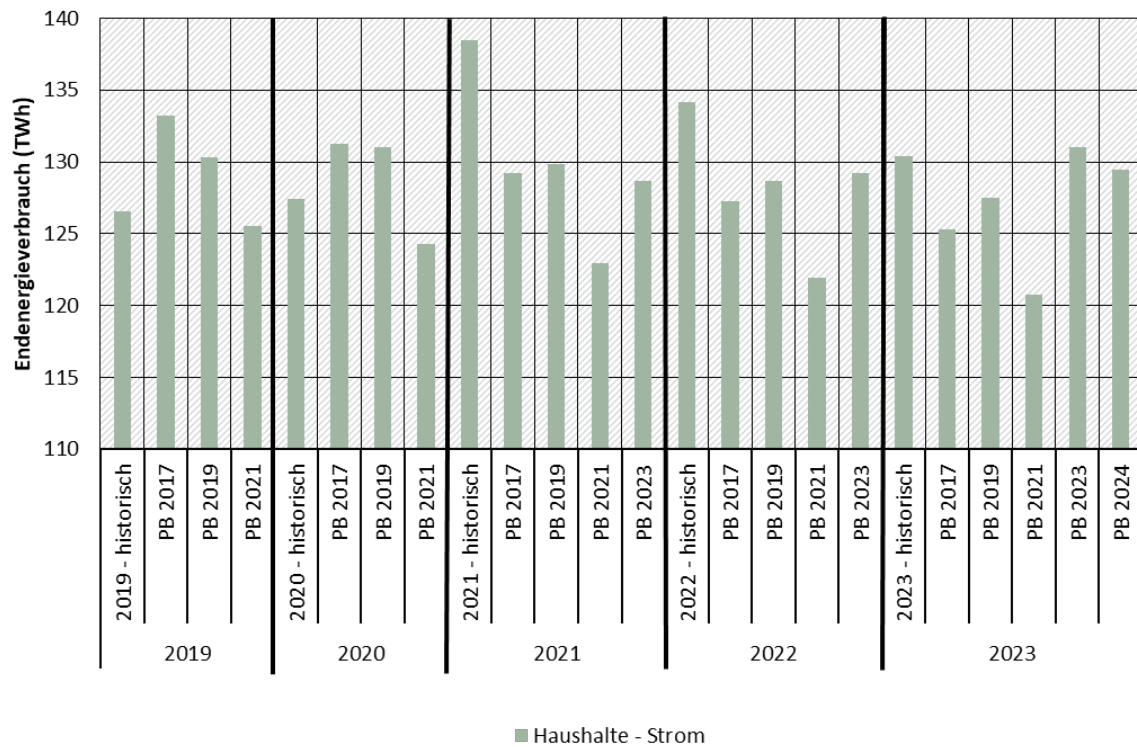
Abbildung 13: Sektor Haushalte - Biomasse



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis (BMUV, 2017; UBA, 2019; Repenning et al., 2021; Harthan et al., 2023; Harthan et al., 2024; Förster et al., 2025)

Abbildung 14 zeigt den Vergleich von Projektionen und Verbrauchsdaten aus der Energiebilanz für den Stromverbrauch in Haushalten. Der Verbrauch der Haushalte weicht in den Energiebilanzen teilweise von den Werten in den Projektionsberichten ab. Zudem unterscheiden sich die Projektionen zum Teil auch signifikant für dasselbe Jahr. Beispielsweise sind die Werte von PB 2017 und PB 2019 systematisch höher als die von PB 2021, während PB 2023 und PB 2024 wieder höhere Werte aufweisen. Die Energiebilanzdaten sind vor allem in den Jahren 2021 und 2022 höher als in den anderen Jahren. Die Abweichungen in den Jahren 2019 und 2020 deuten auf eine Änderung der Energiebilanz-Methodik hin, wie es beim Erdgas ebenso der Fall ist. Für die Jahre 2021 und 2022 könnten die höheren Verbräuche auch eine Folge der Restriktionen durch Lockdowns während der Corona-Pandemie sein, da die Menschen mehr Zeit zu Hause verbracht und entsprechend mehr Strom verbraucht haben. Witterungseffekte sollten im Stromverbrauch keine besondere Rolle spielen, da Wärmepumpen bzw. strombasierte Wärmeerzeuger bislang eine untergeordnete Rolle spielen.

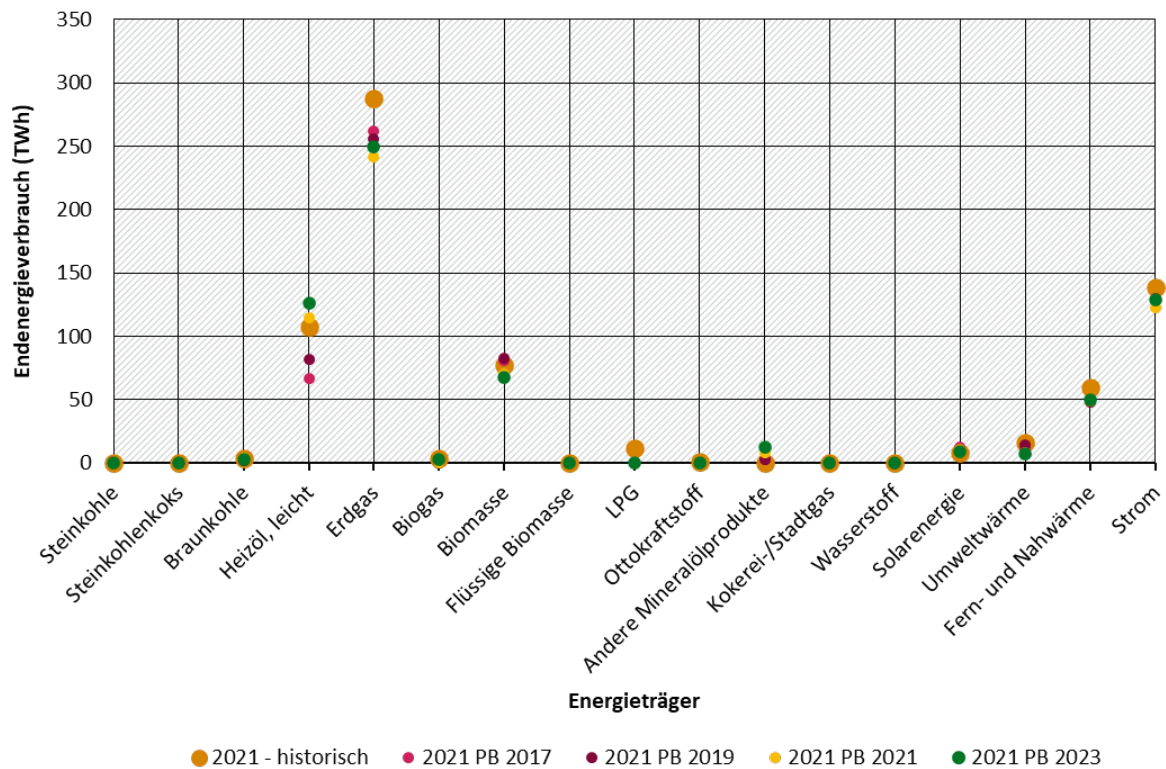
Abbildung 14: Sektor Haushalte – Strom



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis (BMUV, 2017; UBA, 2019; Repenning et al., 2021; Harthan et al., 2023; Harthan et al., 2024; Förster et al., 2025)

Abbildung 15 zeigt die Energieträger der Haushalte für das Jahr 2021 sowie deren Abweichungen. Dies zeigt, dass die Abweichungen im Haushaltssektor vor allem durch die Energieträger Heizöl, Gas und Strom bestimmt werden, da diese die größten Anteile haben.

Abbildung 15: Haushalte - Abweichungen Endenergieverbrauch nach Energieträger, Beispiel 2021



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis (BMUV, 2017; UBA, 2019; Repenning et al., 2021; Harthan et al., 2023; Harthan et al., 2024; Förster et al., 2025)

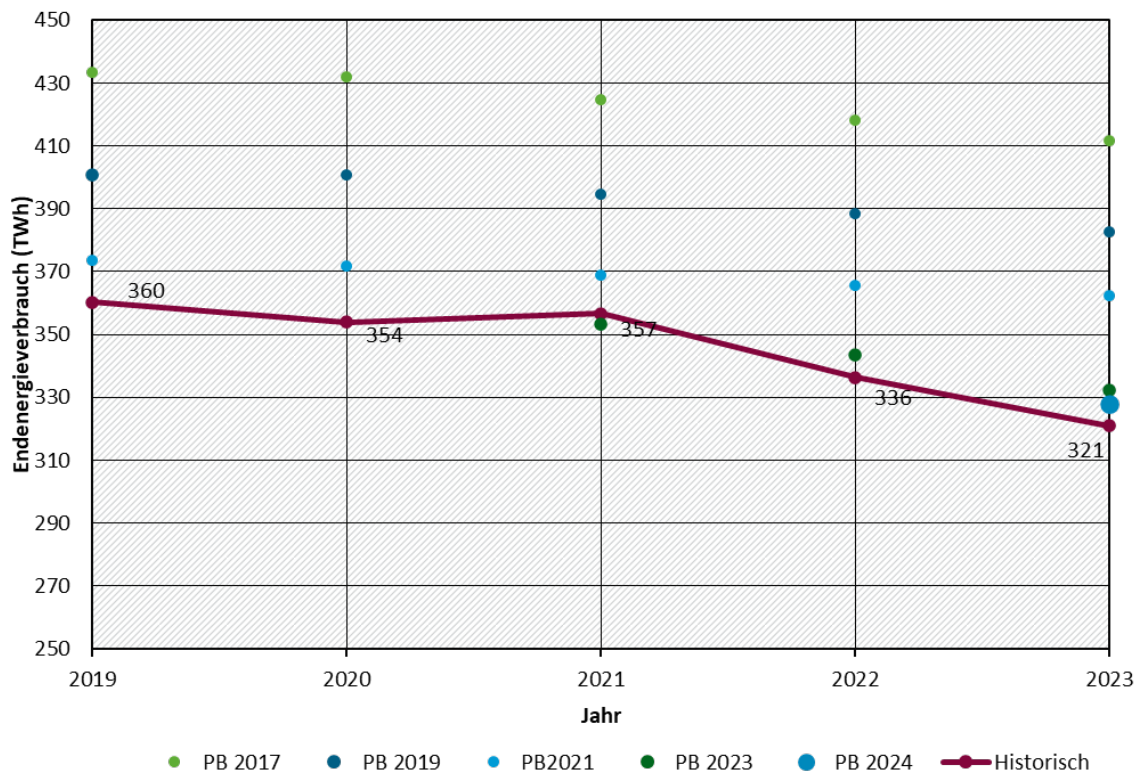
3.4 Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)

Im GHD-Sektor liegen die modellierten Verbrauchsdaten insgesamt etwas höher als die Energiebilanzen. Abbildung 16 zeigt den Vergleich der Projektionsberichte mit den historischen Verbrauchsdaten aus der Energiebilanz für die Jahre 2019 bis 2023.

Diese systematische Diskrepanz kann, wie bei den Haushalten, auf die Anpassung der Berechnungsmethode der Energiebilanz zurückgeführt werden. Generell kann eine Verschiebung des GHD-Verbrauchs zu den Haushalten beobachtet werden. Dies resultiert in einer Reduktion des GHD-Verbrauchs im Vergleich zu den ursprünglichen Projektionen. Die größten Abweichungen weisen die Projektionsberichte von 2017 und 2019 auf, während die Differenz bei den Projektionsberichten von 2021 bis 2024 deutlich niedriger ausfällt. PB 2023 und 2024 treffen die Verbrauchsdaten ziemlich gut.

Insgesamt lässt sich zudem feststellen, dass der krisenbedingte Rückgang des Verbrauchs für die Jahre 2022 und 2023 in den Modellierungen von 2017 bis 2021 nicht abgebildet werden konnte, weshalb es in diesen Jahren zu Abweichungen kommt.

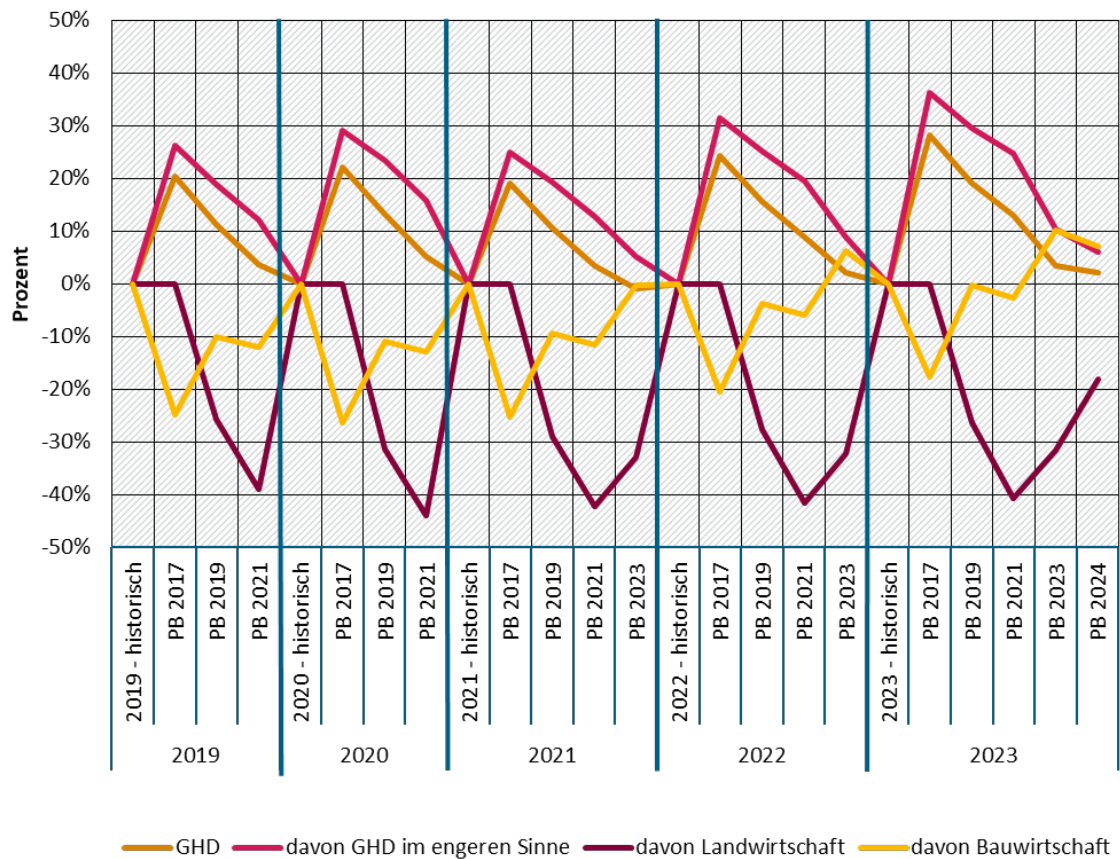
Abbildung 16: Sektor GHD Aggregierter Überblick



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis (BMUV, 2017; UBA, 2019; Repenning et al., 2021; Harthan et al., 2023; Harthan et al., 2024; Förster et al., 2025)

Abbildung 17 zeigt eine detailliertere Analyse der Energieverbräuche und deren Abweichung von den Projektionen für die Subsektoren des GHD-Bereichs. Die Projektionen der PB 2017 bis 2021 zeigen eine Überschätzung der GHD im engeren Sinne, während die PB 2019 und 2021 insbesondere im Bereich Landwirtschaft und der PB 2017 im Bereich Bauwirtschaft eine Unterschätzung aufweisen. Die Projektionsberichte 2023 und 2024 zeigen signifikant geringere Abweichungen innerhalb der Subsektoren und somit auch im gesamten GHD-Sektor.

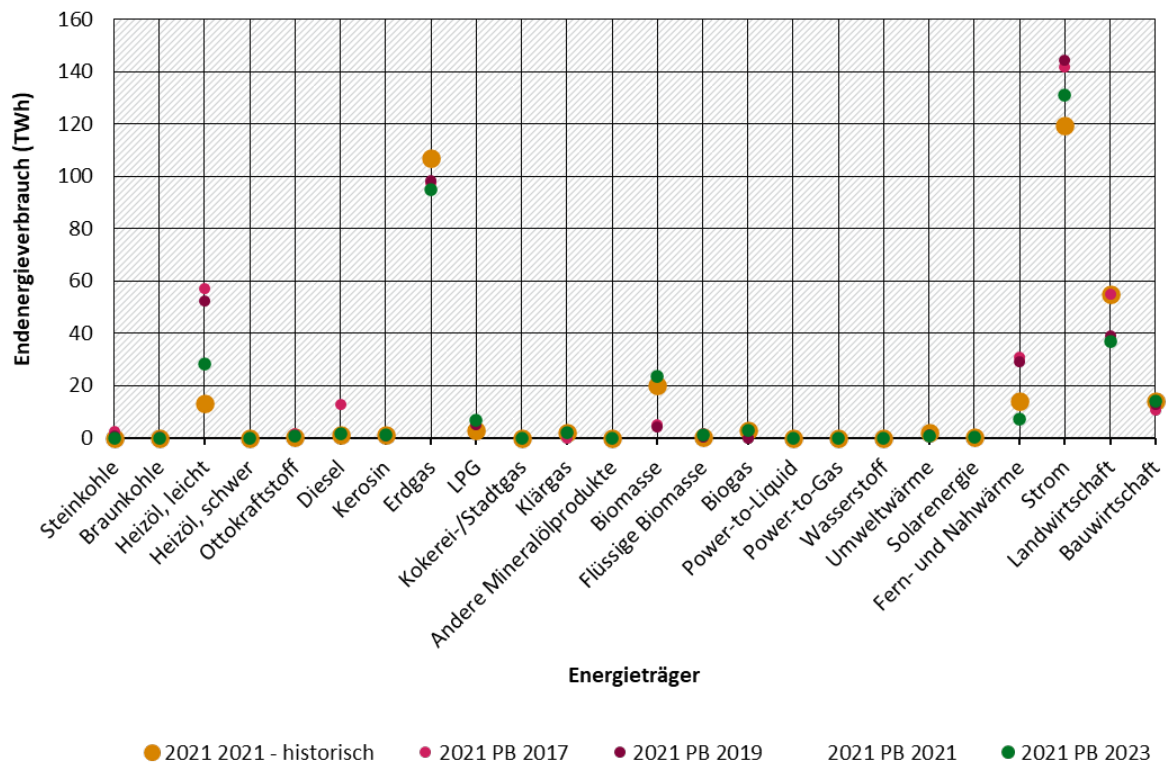
Abbildung 17: Abweichungen im GHD-Sektor nach Sub-Sektoren



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis (BMUV, 2017; UBA, 2019; Repenning et al., 2021; Harthan et al., 2023; Harthan et al., 2024; Förster et al., 2025)

Die Differenzen zwischen den Modellierungen und den realen Verbrauchsdaten nach Energieträger im GHD-Bereich sind in Abbildung 18 für das Jahr 2021 dargestellt. Die Grafik verdeutlicht, dass insbesondere Strom und Erdgas, gefolgt von Heizöl und Biomasse, den größten Einfluss auf Gesamtabweichungen haben. Insbesondere die Projektionsberichte für Strom und Heizöl wiesen signifikante Überschätzungen auf. Dieser Effekt wird in gewissem Maße durch Unterschätzungen in der Landwirtschaft abgefedert. Die Modellierung des Erdgasverbrauchs im GHD-Sektor kann als gut bewertet werden.

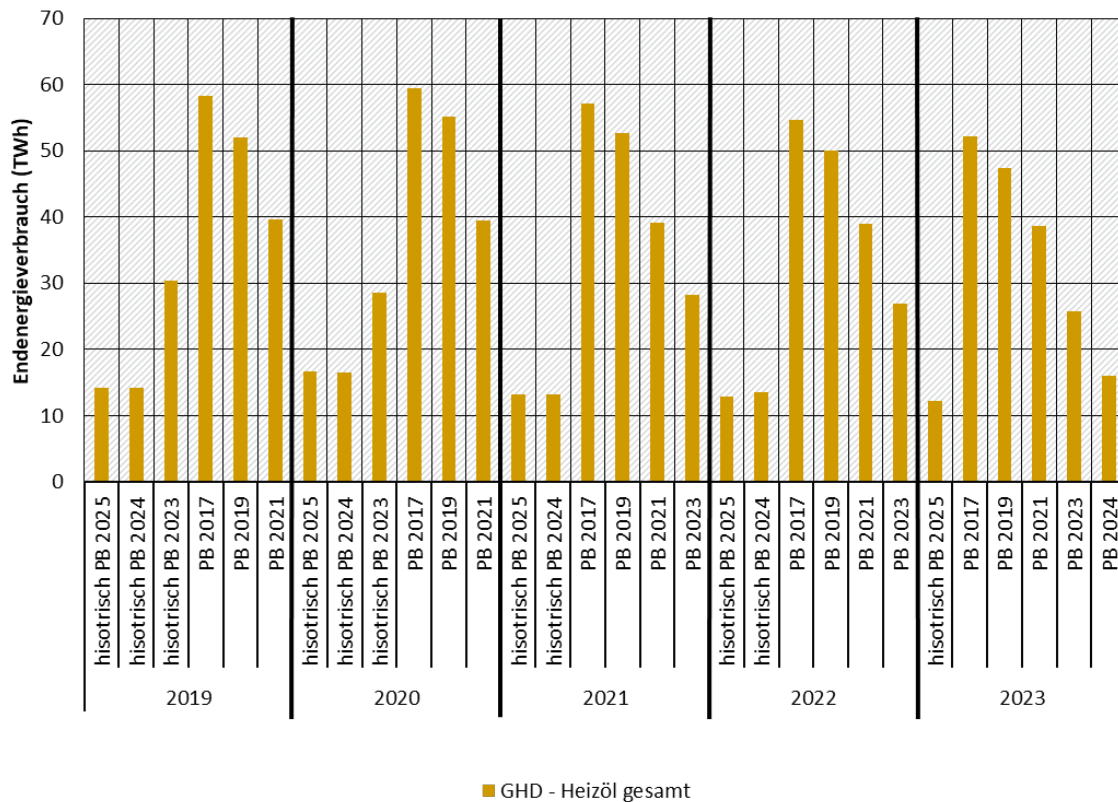
Abbildung 18: GHD - Abweichungen Endenergieverbrauch nach Energieträger, Beispiel 2021



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis (BMUV, 2017; UBA, 2019; Repenning et al., 2021; Harthan et al., 2023; Harthan et al., 2024; Förster et al., 2025)

Abweichungen beim Heizöl lassen sich wie bei den Haushalten unter anderem durch Änderungen in der Energiebilanz erklären. Abbildung 19 zeigt die Veränderungen der historischen Ausgangslage für Heizöl im GHD-Sektor, da wird deutlich, dass z.B. für das Jahr 2020 die historischen Daten in den Projektionsberichten 2025 und 2024 deutlich geringer sind als beim PB 2023. Dies ist im Wesentlichen eine Verschiebung zu den Haushalten (vgl. Abbildung 6):

Abbildung 19: Sektor GHD – Heizöl – Unterschiede historische Ausgangslage

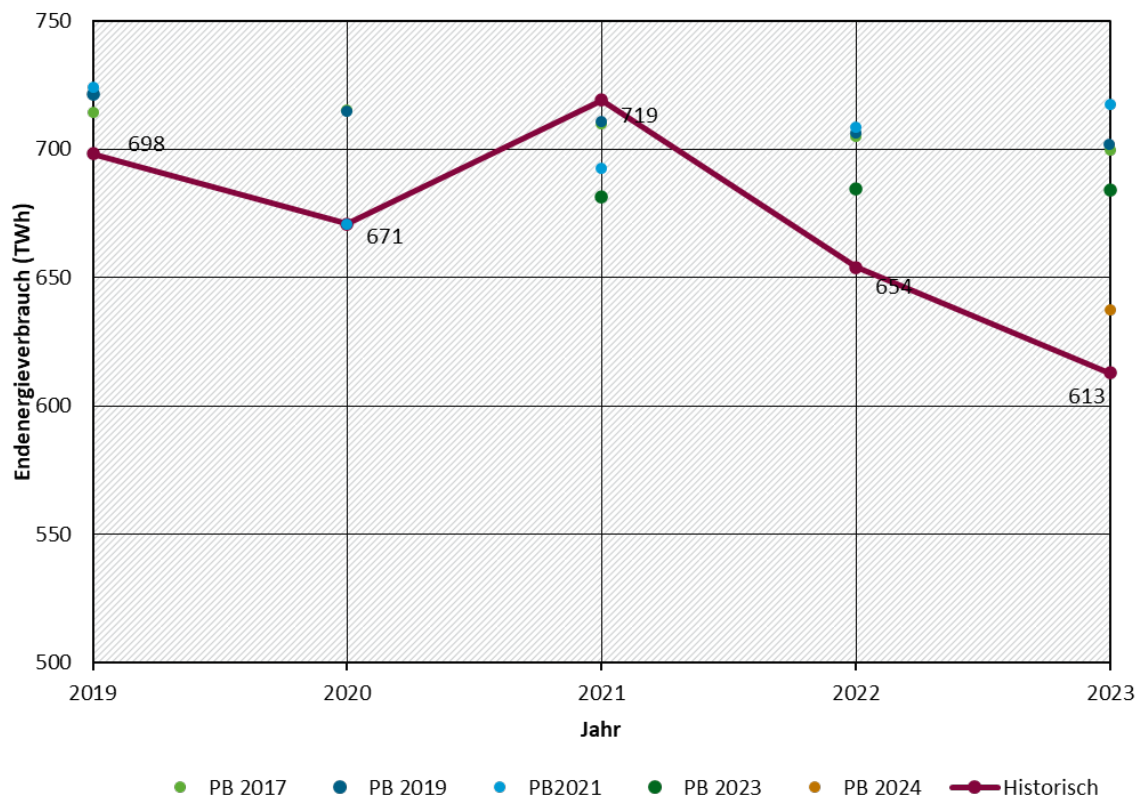


Quelle: Eigene Darstellung auf Basis (BMUV, 2017; UBA, 2019; Repenning et al., 2021; Harthan et al., 2023; Harthan et al., 2024; Förster et al., 2025)

3.5 Industrie

Im Rahmen der Analyse wurden auch für den Sektor Industrie Daten zusammengestellt. In Abbildung 20 werden die Energiebilanzverbräuche sowie die Daten aus den Projektionsberichten von 2019 bis 2023 dargestellt. Für den Zeitraum von 2019 bis 2021 zeigen die PB eine gute Übereinstimmung mit den realen Verbräuchen. Im Jahr 2019 werden die Zahlen tendenziell überschätzt, während sie im Jahr 2021 leicht unterschätzt werden. Im Jahr 2020 wurde ein zu hoher PB 2019 ausgewiesen, während der PB 17 und PB 21 den Verbrauchswert der Energiebilanz ziemlich genau treffen. Die Jahre 2022 und 2023 werden in ihrer Signifikanz überschätzt. Mögliche Gründe für die gegenwärtige Situation können in der Energiepreiskrise liegen, die mit dem Beginn des Krieges Russlands gegen die Ukraine ihren Anfang nahm. Der PB 2024 weist für das Jahr 2023 eine signifikant höhere Qualität auf, da die entsprechenden Anpassungen bereits zu diesem Zeitpunkt vorgenommen werden konnten.

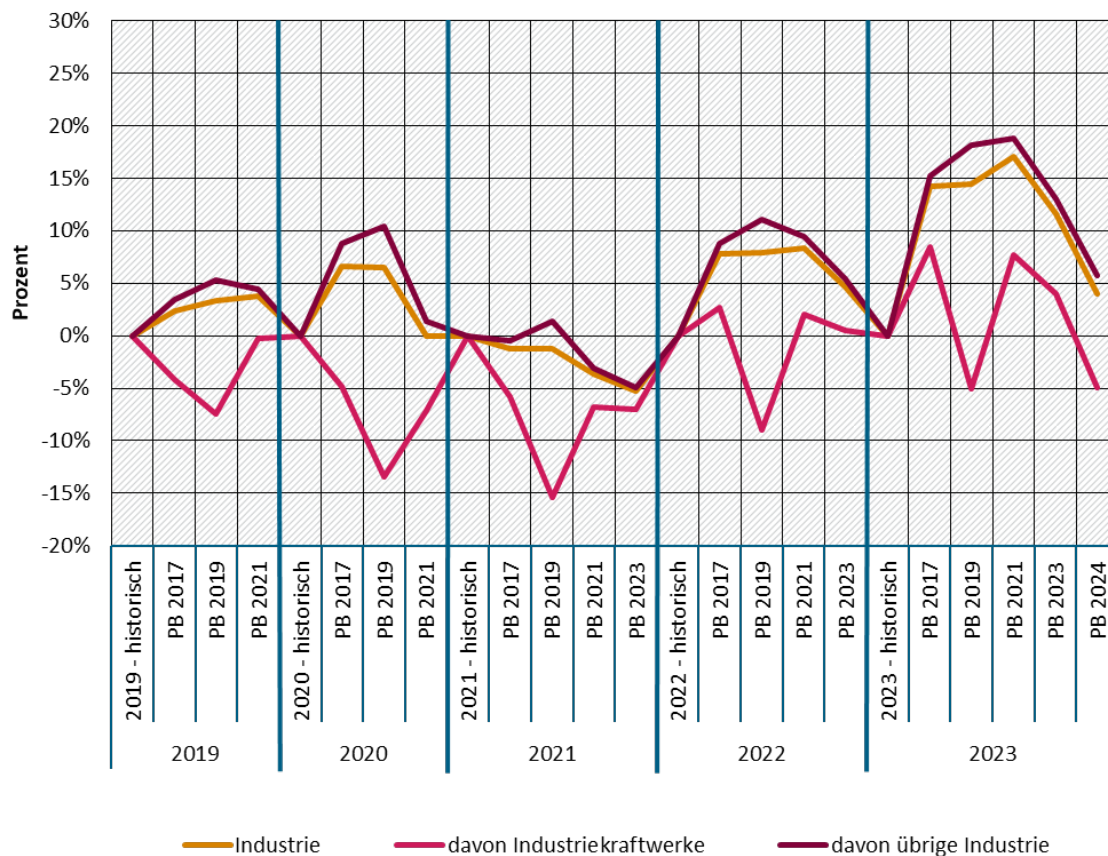
Abbildung 20: Sektor Industrie - Übersicht



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis (BMUV, 2017; UBA, 2019; Repenning et al., 2021; Harthan et al., 2023; Harthan et al., 2024; Förster et al., 2025)

In Abbildung 21 sind zudem die relativen Abweichungen der Industrie nach Subkategorien dargestellt. Dort werden noch Unterschiede zwischen den Industriekraftwerken und der übrigen Industrie erkennbar. Bei den Industriekraftwerken sind insbesondere beim PB 2019 deutliche Abweichungen nach unten gegenüber den realen Verbräuchen laut Energiebilanz erkennbar. Die übrige Industrie hat allerdings mengenmäßig den zentralen Einfluss auf den Gesamtsektor, weshalb sich die Linien sehr ähneln. Auch hier wird die krisenbedingte Überschätzung für die Jahre 2022 und 2023 sichtbar.

Abbildung 21: Abweichungen Industrie nach Subsektoren



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis (BMUV, 2017; UBA, 2019; Repenning et al., 2021; Harthan et al., 2023; Harthan et al., 2024; Förster et al., 2025)

3.6 Zusammenfassung der wichtigsten Abweichungen

Die größten Abweichungen zwischen den Projektionsberichten und den Energiebilanzen lassen sich durch mehrere Faktoren erklären. Ein wesentlicher Grund liegt in der nachträglichen Anpassung der Methodik, mit der die Energiebilanzen erstellt werden. Diese Änderungen wirken sich insbesondere in den Sektoren Haushalte sowie Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) aus. Gerade beim Energieträger Heizöl treten deutliche Unterschiede auf, da historische Werte, die ursprünglich als Grundlage für die Erstellung der Projektionsberichte herangezogen wurden, nachträglich revidiert und verändert worden sind. Dadurch weichen die auf Basis der älteren Daten erstellten Projektionen von den aktualisierten Energiebilanzen ab. Im Projektionsbericht 2023 für das Jahr 2019 lag der historische Heizölverbrauch im GHD-Sektor bei 30 TWh. Anschließend wurde die Energiebilanz so angepasst, dass der historische Wert auf 14 TWh korrigiert wurde. Dieser Wert diente als Basis für PB 2025 und 2024. Ebenso wurde der Heizölverbrauch für das Jahr 2020 von 29 TWh auf 17 TWh korrigiert. Im Kontrast dazu wurde der Heizölverbrauch der Haushalte für die Jahre 2019 und 2020 zunächst mit 127 bzw. 131 TWh in der Energiebilanz angegeben. Später wurde er auf 147 bzw. 154 TWh korrigiert. Letztere Werte sind in die PB 2025 und 2024 eingeflossen. Hinzu kommen witterungsbedingte Einflüsse, die sich vor allem in den Sektoren Haushalte und GHD zeigen. Abweichungen entstehen etwa dann, wenn die Heizperiode länger andauert oder aufgrund besonders kalter Temperaturen ein erhöhter Heizbedarf entsteht. Solche kurzfristigen Schwankungen werden in Modellierungen

nicht berücksichtigt und führen entsprechend zu Diskrepanzen zwischen Projektionen und realen Bilanzwerten.

Im Verkehrssektor sind die auffälligsten Unterschiede auf die Auswirkungen der Corona-Pandemie zurückzuführen. Durch die zeitweise erheblich eingeschränkte Mobilität – etwa infolge von Lockdowns und anderen Maßnahmen – ging der Verkehr deutlich zurück. Dieser Effekt war in den Modellannahmen der Projektionsberichte nicht berücksichtigt, so dass hier deutliche Abweichungen entstanden.

Eine große Rolle spielte außerdem die „Energiekrise“, die sich als Folge des russischen Angriffskriegs gegen die Ukraine entwickelte. Die stark gestiegenen Energiepreise sowie die Unsicherheiten bei der Erdgasversorgung führten insbesondere im Haushaltssektor zu Veränderungen des Energieverbrauchs. Diese Krisensituation konnte in den Modellierungen der Projektionsberichte nicht vorhergesehen werden, sodass die tatsächlichen Energiebilanzen hier klar von den Projektionen abweichen.

Aus diesen Erfahrungen lässt sich lernen, dass die Abbildung kurzfristiger Einsparungen für die Genauigkeit von Projektionen sehr relevant sein kann. Voraussetzung für den Einbezug solcher Effekte ist jedoch, dass die zugrunde liegenden Treiber vorher bekannt sind, was beispielsweise bei der Covid-Pandemie nicht der Fall war. Wenn Politikinstrumente oder andere absehbare Rahmenbedingungen bekannt sind, ist es jedoch möglich und auch notwendig, diese in den Modellen zu berücksichtigen. Daher ist es wichtig, dass die Modellansätze so ausgelegt sind, dass sie in solchen Fällen auch kurzfristige Veränderungen realistisch abbilden können und zusätzliche Input-Daten oder Instrumentenabschätzungen kurzfristig integriert werden können.

4 Erkenntnisse für künftige Modellierungen

Die Modellierung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasminderungen stellen anspruchsvolle Aufgabe dar, die eine Vielzahl von Faktoren zu berücksichtigen müssen. Die Analyse der Abweichungen zwischen realem Verbrauch und den Ergebnissen der Modellprojektionen zeigt, dass kurzfristige, unvorhergesehene Ereignisse wie wirtschaftliche Krisen oder extreme Wetterbedingungen maßgeblich zu den Abweichungen führen. Ereignisse wie die Pandemie des Coronavirus oder geopolitische Krisen, wie der russische Angriffskrieg, verursachen Änderungen im Verbrauch, die in langfristigen Projektionen nur schwer abgebildet werden können.

Abweichungen hinsichtlich der modellbasierten Energieverbrauchsprojektionen und der tatsächlichen Entwicklungen können eine Vielzahl von Gründen haben. Im Folgenden werden zentrale Einflussfaktoren präsentiert, die bei der Interpretation von Abweichungen zu berücksichtigen sind. Sie stellen potenziell Ursachen dar, die zu Abweichungen von der Projektion hin zur Realität führen:

- ▶ **Witterung:** Die Modelle enthalten keine Vorhersagen bezüglich der zukünftigen meteorologischen Bedingungen. Es wird von einem durchschnittlichen Wetter ausgegangen. Extreme oder unübliche Wetterlagen können den Energieverbrauch und andere relevante Parameter erheblich beeinflussen und dadurch zu Abweichungen von den Projektionen führen. Die Vergleichbarkeit der Daten könnte durch eine Witterungsbereinigung der realen Daten erzielt werden.
- ▶ **Unvorhergesehene Preiseffekte:** Die Annahmen zur Entwicklung von Preisen für Energie, Rohstoffe oder CO₂-Zertifikate sind mit hohen Unsicherheiten behaftet. Im Falle von Preisänderungen, die nicht im Modell abgebildet sind, kann dies eine signifikante Veränderung des Nachfrageverhaltens zur Folge haben und somit die Ergebnisse erheblich beeinflussen. Als mögliche Ursachen sind nicht kalkulierbare oder vorhersehbare geopolitische oder weltmarktbezogene Entwicklungen zu nennen.
- ▶ **Zusätzliche Politikinstrumente:** In der Modellierung werden ausschließlich Politikinstrumente berücksichtigt, die bis zu einem definierten Stichtag vor Beginn der Berechnungen verabschiedet wurden. Gemäß der vorliegenden Evidenz können neue Maßnahmen oder verschärfte Regulierungen nach diesem Stichtag Abweichungen zwischen Projektion und Realität bedingen.
- ▶ **Verhaltensbedingte Einsparungen:** Neben den reinen Preiseffekten können auch verhaltensbedingte Reaktionen, wie etwa ethisch-moralisch motivierte Verhaltensänderungen, zu Einsparungen führen. Die vorliegende Problematik ist dadurch gekennzeichnet, dass die Effekte nur schwer quantifizierbar sind. Aus diesem Grund werden sie in der Regel nicht im Modell erfasst. Dies betrifft unter anderem die in AP1 zu untersuchende Effekte (Solidarität, moralisch/ethische Gesichtspunkte, Reaktion auf Einsparkampagnen, etc.).
- ▶ **Unvorhergesehene Rahmenbedingungen:** Ereignisse wie globale Krisen oder andere schwer prognostizierbare Entwicklungen – wie beispielsweise die Pandemie des Coronavirus (SARS-CoV-2) und deren Folgen wie ein verringerter Verkehr und veränderter Konsum – können die realen Verbrauchswerte signifikant beeinflussen, ohne dass sie bei der Projektion berücksichtigt werden können.

Ein Beispiel für Weiterentwicklungen von Modellen zur besseren Abbildung von kurzfristigen Effekten findet sich in Bei der Wieden (2025), wo die bestehenden Modellierungsansätze gezielt erweitert wurden, um kurzfristige Einsparmaßnahmen besser abbilden zu können.

Ausgangspunkt war die Beobachtung, dass die im Zuge der Energiekrise zu beobachtenden erheblichen nicht auf investive Maßnahmen wie Sanierungen oder Heizungstausch zurückgingen, sondern vor allem auf Verhaltensänderungen und gering-investive Maßnahmen wie Heizungsoptimierungen. Diese Effekte wurden in die Modellierung integriert, indem auf Grundlage von Literaturauswertungen zur kurzfristigen Preiselastizität und zu Einsparpotenzialen ein Ansatz entwickelt wurde, der die Wirkung steigender Energiepreise auf den Gebäudebestand abbildet. Die Ergebnisse zeigen, dass bis 2030 relevante Mengen an Erdgas und CO₂ durch solche Maßnahmen vermieden werden können, wenn die Ausgangsbedingungen anhalten, sodass sie einen wichtigen Beitrag zur Zielerreichung im Gebäudesektor leisten können.

Kurzfristige Maßnahmen und Verhaltensanpassungen, wie sie etwa in Reaktion auf Krisen oder durch gezielte politische Eingriffe (z. B. Strom- und Gaspreisbremse) erfolgen, haben einen unmittelbaren Einfluss auf den Energieverbrauch. Die Implementierung dieser Anpassungen in langfristige Projektionen gestaltet sich als Herausforderung, da sie in hohem Maße von aktuellen politischen Entscheidungen oder abrupten globalen Veränderungen abhängig sind. Die Modellierung muss folglich die Fähigkeit besitzen, kurzfristige Sondereffekte unmittelbar zu integrieren, ohne dabei die langfristigen, strukturellen Trends aus den Augen zu verlieren. Ein möglicher Ansatz könnte darin bestehen, derartige Effekte temporär an das Modell anzudocken und ihre Wirkung auf den Verbrauch zu simulieren, ergänzende spezifische oder auch zeitlich begrenzte Maßnahmenquantifizierungen zu erstellen und ins Modell einfließen zu lassen, oder auch ad-hoc zusätzliche Modellläufe in besonderen Situationen durchzuführen.

5 Quellenverzeichnis

BMUV - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (Hrsg.) (2017): Projektionsbericht 2017 für Deutschland gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013, 2017. Online verfügbar unter [http://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art04-13-](http://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art04-13-14_lcds_pams_projections/projections/envwqc4_g/170426_PB_2017_-_final.pdf)

[14_lcds_pams_projections/projections/envwqc4_g/170426_PB_2017 - final.pdf](http://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art04-13-14_lcds_pams_projections/projections/envwqc4_g/170426_PB_2017_-_final.pdf), zuletzt geprüft am 23.02.2018.

Braungardt, S.; Hünecke, K.; Loschke, C.; Arnold, F.; Dressler, M.; Ruhnau, O.; Schnarrs, P.; Walikewitz, N.; Heym, L. (2025): Ex-Post Evaluation der Energieverbrauchsminderung 2022-2023. Teilbericht. Umweltbundesamt (Hrsg.) Texte 122/2025. <https://doi.org/10.60810/openumwelt-7952>

Förster, H.; Repenning, J.; Borkowski, K.; Braungardt, S.; Bürger, V.; Cook, V.; Emele, L.; Görz, W. K.; Haller, M.; Hennberger, K.; Jörß, W.; Kasten, P.; Koch, M.; Ludig, S.; Mendelevitch, R.; Moosmann, L.; Nissen, C.; Scheffler, M.; Steinbach, I.; Wiegmann, K.; Rehfeldt, M.; Brugger, H.; Fleiter, T.; Mandel, T.; Rhode, C.; Fritz, M.; Krail, M.; Brauer, C.; Horlemann, J.; Yu, S.; Deurer, J.; Steinbach, J.; Schade, W.; Streif, M.; Haug, I.; Emmerich, J.; Thamling, N.; Alkasabreh, M.; Althoff, E.; Muralter, F.; Lübbers, S.; Kulkarni, P.; Kreidelmeyer, S.; Kemmler, A.; Limbers, J.; Fill, A.; Hench, P.; Guminski, A.; Osterburg, B.; Fuß, R.; Rieger, J.; Rock, J.; Rüter, S.; Adam, S.; Dunger, K.; Gensior, A.; Gocht, A.; Piayda, A.; Rösemann, C.; Stepanyan, D.; Stümer, W.; Tiemeyer, B.; Vos, C. (2025): Treibhausgas-Projektionen 2025 für Deutschland (Projektionsbericht 2025). In: Treibhausgas-Projektionen für Deutschland. Umweltbundesamt (Hrsg.). Online verfügbar unter: <https://doi.org/10.60810/openumwelt-7906>, zuletzt geprüft am 09.07.2025.

Harthan, R. O.; Förster, H.; Borkowski, K.; Braungardt, S.; Bürger, V.; Cook, V.; Emele, L.; Görz, W. K.; Hennenberg, K.; Jansen, L. L.; Jörß, W.; Kasten, P.; Loreck, C.; Ludig, S.; Matthes, F.; Mendelevitch, R.; Moosmann, L.; Nissen, C.; Repenning, J.; Scheffler, M.; Steinbach, I.; Bei der Wieden, M.; Wiegmann, K.; Brugger, H.; Fleiter, T.; Mandel, T.; Rhode, C.; Fritz, M.; Yu, S.; Deurer, J.; Steinbach, J.; Osterburg, B.; Fuß, R.; Rock, J.; Rüter, S.; Adam, S.; Dunger, K.; Gensior, A.; Rösemann, C.; Stümer, W.; Tiemeyer, B.; Vos, C. (2024): Technischer Anhang der Treibhausgas-Projektionen 2024 für Deutschland (Projektionsbericht 2024). Umweltbundesamt (Hrsg.). Dessau-Roßlau, 2024. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/technischer-anhang-der-treibhausgas-projektionen>, zuletzt geprüft am 09.07.2025.

Harthan, R. O.; Förster, H.; Borkowski, K.; Böttcher, H.; Braungardt, S.; Bürger, V.; Emele, L.; Görz, W. K.; Hennenberg, K.; Jansen, L. L.; Jörß, W.; Kasten, P.; Loreck, C.; Ludig, S.; Matthes, F.; Mendelevitch, R.; Moosmann, L.; Nissen, C.; Repenning, J.; Scheffler, M.; Steinbach, I.; Bei der Wieden, M.; Wiegmann, K.; Rehfeldt, M.; Brugger, H.; Fleiter, T.; Mandel, T.; Rhode, C.; Yu, S.; Deurer, J.; Steinbach, J.; Osterburg, B.; Fuß, R.; Rock, J.; Rüter, S.; Adam, S.; Dunger, K.; Rösemann, C.; Stepanyan, D.; Stümer, W.; Tiemeyer, B.; Vos, C. (2023): Projektionsbericht 2023 für Deutschland. Gemäß Artikel 18 der Verordnung (EU) 2018/1999 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 über das Governance-System für die Energieunion und für den Klimaschutz, zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 663/2009 und (EG) Nr. 715/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates sowie §10 (2) des Bundes-Klimaschutzgesetzes, 2. Auflage. Climate Change, 39/2023. Öko-Institut; Fraunhofer ISI; IREES; Thünen-Institut. Umweltbundesamt (Hrsg.). Dessau-Roßlau, 2023. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/projektionsbericht-2023-fuer-deutschland> zuletzt geprüft am 09.07.2025.

Repenning, J.; Harthan, R.O.; Blanck, R.; Böttcher, H.; Braungardt, S.; Bürger, V.; Emele, L.; Görz, W.; Hennenberg, K.; Jörß, W.; Ludig, S.; Matthes, F.; Mendelevitch, R.; Moosmann, L.; Nissen, C.; Rausch, L.; Scheffler, M.; Schumacher, K.; Wiegmann, K.; Wissner, N.; Zerrahn, A.; Rehfeldt, M.; Brugger, H.; Fleiter, T.; Rhode, C.; Schlomann, B.; Yu, S.; Deurer, J.; Steinbach, J.; Osterburg, B.; Rösemann, C.; Gensior, A.; Rock, J.; Stümer, W.; Rüter, S.; Fuß, R.; Tiemeyer, B.; Laggner, A.; Adam, S. (2021): Projektionsbericht 2021 für Deutschland, Gemäß Artikel 18 der Verordnung (EU) 2018/1999 des Europäischen Parlaments und des Rates

vom 11. Dezember 2018 über das Governance-System für die Energieunion und für den Klimaschutz, zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 663/2009 und (EG) Nr. 715/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates sowie §10 (2) des Bundes-Klimaschutzgesetzes. Öko-Institut; Fraunhofer ISI; IREES; Thünen Institut. Umweltbundesamt (Hrsg.). Berlin, 2021. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/372/dokumente/projektionsbericht_2021_uba_website.pdf, zuletzt geprüft am 07.08.2024.

UBA - Umweltbundesamt (Hrsg.) (2019): Projektionsbericht 2019 für Deutschland gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013, 2019. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/dokument/projektionsbericht-2019-politikszzenarien-ix>, zuletzt geprüft am 16.07.2025.