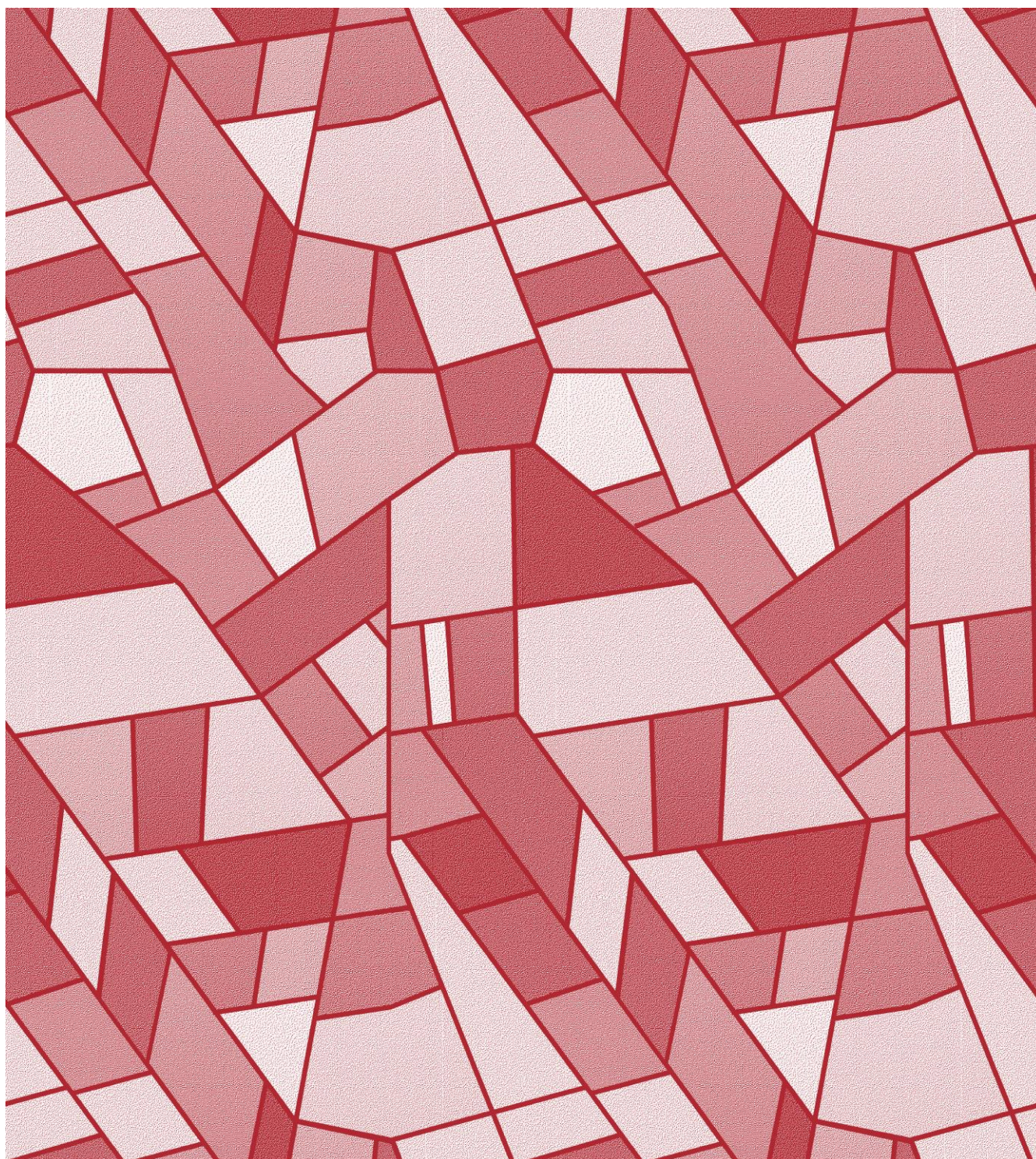


Wirkungsanalyse der Klima- und Energiepolitik

in den Kantonen 2016-2020, Sektor Gebäude

Dokumentation zur Wirkungsanalyse durch EBP, 10. Januar 2023

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)



Auftraggeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abt. Klima, CH-3003 Bern Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Auftragnehmer

EBP Schweiz AG, Mühlebachstrasse 11, 8032 Zürich

Projektteam EBP

Michel Müller
Julia Brandes
Milena Krieger
Sabine Perch-Nielsen

Begleitgruppe

Gianna Battaglia, Bundesamt für Umwelt
Olivier Brenner, EnDK
Christian Glauser, Kanton Bern
Katja Graf, Kanton Graubünden
Roger Nufer, Bundesamt für Energie
Roger Ramer, Bundesamt für Umwelt

Hinweis

Dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	5
2.	Bestehende Grundlagen zur Wirkung der Klima- und Energiepolitik im Sektor Gebäude	6
2.1	Wirkung kantonaler Klima- und Energievorschriften	6
2.2	Weitere Massnahmen und Akteure	7
3.	Wirkung der Vorschriften zum Heizungsersatz	9
3.1	Zusammenfassung der kantonalen Grundlagenstudie	10
3.2	Schätzung der CO ₂ -Wirkung	13
4.	Einflussfaktoren auf die CO ₂ -Emissionen	17
4.1	Synthese MISTEE-Projekt	18
4.2	Statistische Analyse der Einflussfaktoren	20
5.	Fazit der Wirkungsanalyse	28

1. Einleitung

Die hauptsächliche Verantwortung für klima- und energiepolitische Massnahmen im Gebäudebereich liegt bei den Kantonen. Das CO₂- und Energiegesetz verpflichtet die Kantone, dem Bund über ihre Massnahmen und deren Wirkungen Bericht zu erstatten. Seit dem Jahr 2018 erfolgt die Berichterstattung mit dem durch BAFU und BFE alle zwei Jahre publizierten Bericht «Wirkung der Klima- und Energiepolitik in den Kantonen». Dieser wurde 2018 erstmals für das Jahr 2016 publiziert und enthielt kantonale Daten über CO₂-Emissionen und Energieverbrauch aus Gebäuden und eine Abschätzung der Reduktionswirkungen unterschiedlicher Massnahmen und Einflussfaktoren. 2020 wurde der Bericht für das Jahr 2018 zum zweiten Mal publiziert. Aufgrund grosser Datenlücken und damit verbundener Unsicherheiten wurde keine quantitative Wirkungsabschätzung durchgeführt. Die Datenbasis wird nun 2022 jedoch als verbessert eingeschätzt, sodass eine erneute quantitative Wirkungsanalyse durchgeführt werden soll.

Berichterstattung der Kantone im Klima- und Energiebereich

Übergeordnetes Ziel der Wirkungsanalyse ist es, die Wirkung der kantonalen Klima- und Energiepolitik zu bestimmen. Dies umfasst primär eine quantitative Analyse der Wirkung nach Einflussfaktoren auf nationaler Ebene. Der Beitrag einzelner Einflussfaktoren an die Wirkung soll analysiert und dokumentiert werden. Als Einflussfaktoren stehen im Vordergrund:

Einflussfaktoren auf Wirkung der kantonalen Klima- und Energiepolitik

- Änderung der Witterung
- Entwicklung des Mengengerüsts (Neubauten, Ersatzneubauten, Abriss)
- Umsetzung von kantonalen Vorschriften der MuKE (Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich)
- Umsetzung von Fördermassnahmen

Das zentrale Element dieser Wirkungsanalyse ist eine statistische Analyse der Entwicklung der Klima- und Energiepolitik im Zeitraum von 2016 bis 2020. Die Analyse erfolgt auf Basis der Datengrundlage von TEP Energy, welche von 20 Kantonen für die Berichterstattung verwendet wird. Die restlichen Kantone verwenden eigene Berichterstattungsmethoden. Vorgehen und Ergebnisse der statistischen Analyse ist in Kapitel 4 beschrieben.

Statistische Analyse auf Basis der Datengrundlage von TEP Energy

Die Wirkungsanalyse wird ergänzt durch die Zusammenfassung und weitere Auswertung einer Studie im Auftrag der Kantone. Die Kantone machen sich Gedanken zur Wirkung der MuKE und deren Weiterentwicklung. Zur Umsetzung der MuKE 2014 bestehen in vielen Kantonen bereits Erfahrungen. Diese Erfahrungen werden genutzt, um die MuKE weiterzuentwickeln. Eine Grundlagenstudie durch EBP¹ gab Aufschluss zur Wirkung der MuKE 2014, zu Schwierigkeiten bei deren Umsetzung und zu Schlussfolgerungen für die angedachte Weiterentwicklung der MuKE. Die Resultate werden hier für

Studie der Kantone zur Wirkung der MuKE

1 EBP (2022): Grundlagenstudie für die Weiterentwicklung der MuKE, Bereich Heizungsersatz. Studie im Auftrag der Energiefachstellenkonferenz der Kantone

eine ergänzende Wirkungsabschätzung verwendet und sind in Kapitel 3 dokumentiert.

Für die Wirksamkeit kantonaler Klima- und Energievorschriften besteht eine starke empirische Grundlage. Frühere Wirkungsschätzungen in den Jahren 2018², 2012³, 2007⁴ und 2002⁵ identifizierten eine massgebliche Reduktion der CO₂-Emissionen und des Energieverbrauchs, die aufgrund kantonaler Klima- und Energievorschriften erzielt wird. Die Abgrenzung der Wirkung der gesetzlichen Vorschriften zu anderen Massnahmen und Bestimmungsfaktoren, wie beispielsweise zu Förderprogrammen, dem technologischen Fortschritt und den Energiepreisen, ist aber nur beschränkt möglich. Das folgende Kapitel 2 gibt einen Überblick dazu.

2. Bestehende Grundlagen zur Wirkung der Klima- und Energiepolitik im Sektor Gebäude

2.1 Wirkung kantonaler Klima- und Energievorschriften

Die ersten gesetzlichen Vorschriften für die Energieeffizienz der Gebäude wurden bereits zu Beginn der 1980er Jahre von einzelnen Kantonen eingeführt. Beispielsweise hatte der Kanton Zürich auf Anfang 1982 Wärmedämmvorschriften eingeführt, die in den folgenden Jahren regelmässig aktualisiert und verschärft wurden. Die Einführung solcher Wärmedämmvorschriften wurde im Laufe der 80er Jahre von weiteren Kantonen übernommen und mündete in Mustervorschriften (MuKE), die eine koordinierende Rolle der Vorschriften in den Kantonen übernahmen (Mustervorschriften 1986, 1992, 2000, 2008 und 2014). Die Kantone haben nicht nur die Energieeffizienz, sondern auch den Einsatz erneuerbarer Energien im Gebäudebereich mit Vorschriften unterstützt. Mehrere Kantone führten ab 1997 das Instrument des Höchstanteils nicht-erneuerbarer Energien bei Neubauten ein. Eine Schlüsselmassnahme der aktuellen MuKE 2014 ist die Vorschrift eines Höchstanteils nicht-erneuerbarer Energien beim Heizungsersatz. Kapitel 3 gibt einen Überblick über die Wirkung dieses Instruments.

Entwicklung der gesetzlichen Vorschriften

Die verstärkten Anstrengungen der Kantone gehen Hand in Hand mit empirisch belegten Fortschritten in der Reduktion des Heizwärmebedarfs der Gebäude und des verstärkten Einsatzes von erneuerbaren Energien. Die in der Berichterstattung durch die Kantone rapportierten Energiekennzahlen zeigen durchwegs, dass Bauten mit Baujahr nach 1980 weniger Energie pro Fläche benötigen als ältere Gebäude. Daten der Gebäude- und

Erfolge der verstärkten Vorschriften

2 BAFU und BFE, 2018: Wirkung der Klima- und Energiepolitik in den Kantonen, 2016, Sektor Gebäude. Wirkungsanalyse durch EBP.

3 Infrac 2013: Wirkung kantonaler Energiegesetze: Analyse der Auswirkungen gemäss Art. 20 EnG, Aktualisierung für das Jahr 2012». Infrac im Auftrag des BFE.

4 Infrac 2008: Wirkung kantonaler Energiegesetze: Analyse der Auswirkungen gemäss Art. 20 EnG, Aktualisierung für das Jahr 2007. Infrac im Auftrag des BFE.

5 Infrac 2003: Wirkungen der kantonalen Energievorschriften im Gebäudebereich im Jahr 2002. Infrac im Auftrag des BFE.

Wohnungsstatistik⁶ und Erhebungen von Wüest und Partner⁷ zeigen, dass insbesondere bei Neubauten Wärmepumpen zur Standardtechnologie geworden sind.

Neben der direkten Wirkung können kantonalen Energiegesetzen auch indirekte Wirkungen zugeschrieben werden. Die kantonalen Energiegesetze schaffen eine Grundlage für weitere Aktivitäten und Entwicklungen, die nicht direkt den gesetzlichen Vorschriften zugeordnet werden können. Beispielsweise waren die kantonalen Vorschriften an die Energieeffizienz der Neubauten grundlegende Voraussetzung dafür, dass in Neubauten der Einsatz von Wärmepumpen zur Standardtechnologie für die Wärmeerzeugung werden konnte. Dies unabhängig von flankierenden Vorschriften für die Wärmeerzeugung, sondern alleine deswegen, weil gut gedämmte Gebäudehüllen eine Voraussetzung sind für den effizienten Einsatz von Wärmepumpen. Weiter haben die kantonalen Vorschriften (und auch andere Massnahmen im Energiebereich) einen langfristigen, indirekten Einfluss auf den technologischen Fortschritt.

Indirekte Wirkung durch gesetzliche Vorschriften

2.2 Weitere Massnahmen und Akteure

Neben den kantonalen Klima- und Energievorschriften tragen eine Vielzahl weiterer Massnahmen zur Reduktion von CO₂-Emissionen und Energieverbrauch bei:

Mit finanziellen Förderbeiträgen unterstützen die Kantone und der Bund direkt die Umsetzung von konkreten Massnahmen für die Verbesserung der Energieeffizienz und den verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien. Die nationalen Energie- und CO₂-Gesetze legen die Grundlage für das Gebäudeprogramm. Kantonale Förderprogramme sind in der Regel ebenfalls in der kantonalen Gesetzgebung verankert. Das Gebäudeprogramm führte 2020 gesamthaft dazu, dass Schweizer Gebäude jährlich 2.5 Mia. kWh weniger Energie und 660'000 t weniger CO₂ ausstossen⁸. Die Förderung im Jahr 2020 trägt 230 Mio. kWh und 63'000 t CO₂ dazu bei. Fördermassnahmen werden in der statistischen Analyse in Kapitel 4 als ein Einflussfaktor betrachtet.

Förderprogramme (Kantone, Bund)

Ein wichtiger Schwerpunkt der kantonalen Klima- und Energiepolitik sind ihre Aktivitäten im Bereich der Information, Beratung, Aus- und Weiterbildung von Fachleuten und weiteren Zielgruppen im Energiebereich. Diese Aktivitäten sind gestützt auf die kantonalen Gesetzgebungen und unterstützen direkt den erfolgreichen Vollzug der Bauvorschriften und der kantonalen Förderprogramme. Ein wichtiges Umsetzungsinstrument ist dabei der Gebäudeenergieausweis der Kantone (GEAK). Dieser ermöglicht die Beurteilung der energetischen Qualität eines Gebäudes, ist in allen Kantonen eine

Information, Beratung und Ausbildung (Kantone, Bund)

6 BFS, Gebäude- und Wohnungsstatistik (seit 2009), Wohngebäude nach Hauptenergiequelle der Heizung und Kanton

7 BFE 2022: Heizsysteme: Entwicklung der Marktanteile 2008-2021, Aktualisierung 2022. Wüest Partner im Auftrag des BFE.

8 Das Gebäudeprogramm: Jahresbericht 2020.

Grundlage der Förderprogramme und zeigt das energetische Verbesserungspotenzial eines Gebäudes und mögliche Handlungsoptionen auf.

Die Kantone hatten bei der Entwicklung und Einführung von Zielvereinbarungsmodellen für Energie-Grossverbraucher im Industriesektor eine Schlüsselrolle. Das kantonale Grossverbrauchermodell wurde schlussendlich in das Basismodul der MuKE n übernommen und ist im nationalen Energiegesetz verankert. Gestützt auf das nationale Energie- und CO₂-Gesetz kann auch der Bund Zielvereinbarungen mit Unternehmen abschliessen. Das kantonale Grossverbrauchermodell wird von vielen Kantonen erfolgreich umgesetzt, insbesondere auch mit Unternehmen als Zielgruppe, die eine geringe CO₂-Abgabebelastung aufweisen und deshalb an einer Zielvereinbarung mit dem Bund kaum interessiert sind. Ein grosser Teil der Wirkung des Grossverbrauchermodells fällt im Industriesektor, ausserhalb der Verwendungszwecke Raumwärme und Warmwasser an und hat daher im Zusammenhang mit der Wirkung der kantonalen Energiegesetzgebung auf den Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen im Gebäudebereich nur eine untergeordnete Bedeutung.

Umsetzung von Zielvereinbarungen (Kantone, Bund)

Labels und Standards sind im Gebäudebereich ein wichtiges Instrument, mit welchen Bauherrschaften weitergehende Massnahmen im Bereich Energie und Nachhaltigkeit umsetzen können. Hervorzuheben ist das Label Minergie, welches in intensiver Zusammenarbeit diverser Akteure (Verein Minergie, Kantone, Bund) gefördert wurde und starke Verbreitung gefunden hat. Die Kantone unterstützen den Minergie-Zertifizierungsprozess und tragen mit den kantonalen Förderprogrammen zur Verbreitung von Minergie-Gebäuden bei.

Freiwillige Labels und Standards (diverse Akteure)

Die meisten Kantone verfügen über gesetzlich verankerte Bestimmungen zu Energieplanung, Raumplanung, Sondernutzungsplanungen und Quartierplanungen, die ihre Wirkung insbesondere im Zusammenspiel mit Aktivitäten der Gemeinden entfalten. Diese Instrumente der Raumplanung schaffen durch die räumliche Koordination wichtige Voraussetzungen für den effizienten Einsatz von Energie und die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien. Direkte Vorgaben an die Energieeffizienz und den Einsatz erneuerbarer Energien werden bei Sondernutzungs- und Quartierplanungen umgesetzt. Durch diese planerischen Aktivitäten kann eine substantielle Reduktionswirkung auf die CO₂-Emissionen und den Energieverbrauch erwartet werden. Diese ist jedoch schwer quantifizierbar, kaum zwischen den involvierten Akteuren (Kantone, Gemeinden) aufzuteilen und fällt teilweise auch in anderen Sektoren an, z.B. im Verkehr.

Instrumente der Raumplanung (Kantone, Gemeinden)

Die öffentliche Hand setzt verbreitet energetische Mindeststandards für ihre eigenen Bauten um. Diese Mindeststandards gehen weiter als die gesetzlichen Anforderungen, beispielsweise durch Vorgabe des Minergie-P-Standards bei Neubauten. Solche Mindeststandards haben eine wichtige Signalwirkung auf andere Akteure und bieten Gelegenheiten, fortschrittliche Technologien und Gebäudekonzepte umzusetzen.

Vorbildwirkung (Gemeinden, Kantone, Bund)

Viele Kantone und auch der Bund kennen Steuervergünstigungen für Investitionen in die Energieeffizienz oder die Nutzung erneuerbarer Energien bei bestehenden Gebäuden. Sie sind in der kantonalen Gesetzgebung verankert

Steuervergünstigungen (Kantone, Bund)

und sollen ihre Wirkung über den finanziellen Anreiz für die Investoren entfalten.

Die CO₂-Abgabe auf fossilen Brennstoffen wurde im Jahr 2008 eingeführt. Als marktwirtschaftliches Instrument regt sie Wirtschaft und Haushalte zu einer Senkung der CO₂-Emissionen an. Die Abgabe wurde mit einem Abgabesatz von 12 Fr. pro Tonne CO₂ eingeführt und wurde seitdem schrittweise auf den heutigen (2022) Wert von 120 Fr. pro Tonne CO₂ angehoben. Die Wirkung der CO₂-Abgabe wurde mittels drei Studien aus unterschiedlichen Perspektiven abgeschätzt⁹. Diese Studien schätzten die Wirkung im Jahr 2015 auf 0.8 bis 1.8 Mio. Tonnen CO₂ (anhaltende Wirkung 2005 bis 2015). Die grosse Spanne der Schätzung ergibt sich aus den unterschiedlichen angewendeten Methoden. Der tiefere Wert entstammt einem Gleichgewichtsmodell, welches nur kurzfristige und direkte Reaktionen auf die Preisänderungen abbildet. Der höhere Wert wurde mit einem ökonomischen Modell geschätzt, welches längerfristige Effekte einbezieht. Von den Resultaten des ökonomischen Modells wurde zusätzlich die Wirkung weiterer Massnahmen (Gebäudeprogramm und Zielvereinbarungen) abgegrenzt. Damit ergab sich eine Wirkung der CO₂-Abgabe im Jahr 2015 von 1.3 Mio. Tonnen CO₂. Von dieser Wirkung werden rund drei Viertel durch Haushalte erzielt und rund ein Viertel durch die Wirtschaft (Industrie und Dienstleistungen).

CO₂-Abgabe
(Bund)

3. Wirkung der Vorschriften zum Heizungersatz

Im Jahr 2015 wurde mit den «Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich» (MuKE n 2014) im Bereich Heizungersatz eine wichtige Neuerung aufgenommen. Konkret soll in Wohnbauten beim Ersatz des Wärmeerzeugers ein Anteil von 10 % erneuerbarer Energien vorgeschrieben werden (MuKE n 2014, Teil F). Im Zeitraum dieser Berichterstattung zwischen 2016 bis 2020 haben 7 Kantone (AI, BL, BS, FR, JU, LU, OW) das Modul in dieser Form oder mit Anpassungen in ihren kantonalen Gesetzen in Kraft gesetzt. Viele Kantone ergänzten bei Übernahme in kantonales Recht die 11 Standardlösungen um eine zusätzliche Lösung Biogas. Einige Kantone erhöhten den Anteil erneuerbarer Energien auf 20% oder gar 100%, einige erweiterten die Anforderungen auf alle Bauten. Abbildung 1 und Abbildung 2 zeigen die zeitliche Einführung dieser Vorschriften im Detail. In 19 Kantonen wird im Jahr 2023 eine entsprechende Vorschrift gelten. Dies entspricht knapp drei Vierteln der Bevölkerung. Damit bestehen nun seit einigen Jahren Erfahrungen mit der Vorschrift.

Neue Vorschrift
zum Mindestanteil
an erneuerbaren
Energien

Im Rahmen der Erarbeitung der nächsten MuKE n (Zieljahr 2025) haben die Kantone im Jahr 2022 in einer Grundlagenstudie die Wirkung dieser neuen Vorschrift analysieren lassen¹⁰. Im Kapitel 3.1 werden die Resultate dieser

Grundlagenstudie
der Kantone zur
Wirkung

⁹ BAFU 2018: Faktenblatt Wirkungsabschätzung und Evaluation der CO₂-Abgabe auf Brennstoffe; EcoPlan 2017: Wirkungsabschätzung zur CO₂-Abgabe – Aktualisierung bis 2015. EcoPlan im Auftrag des BAFU.

¹⁰ EBP (2022): Grundlagenstudie für die Weiterentwicklung der MuKE n, Bereich Heizungersatz. Studie im Auftrag der Energiefachstellenkonferenz der Kantone

Studie zusammengefasst, im Kapitel 3.2 werden sie dazu genutzt, die jährliche CO₂-Wirkung dieser Regelung abzuschätzen.

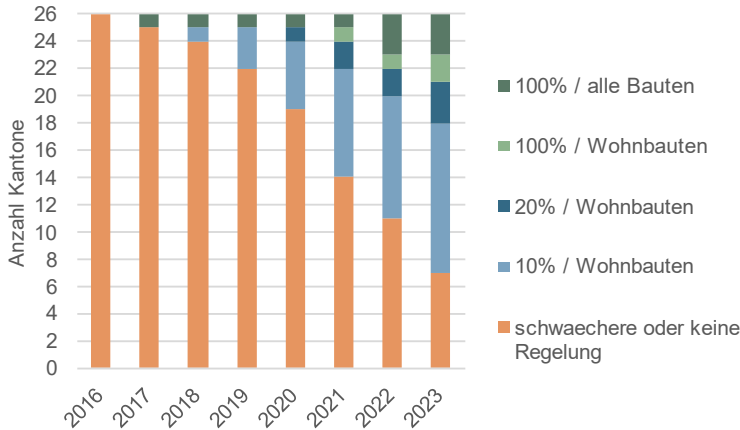


Abbildung 1: Zeitliche Einführung der Vorschriften zum Heizungsersatz in den Kantonen (MuKE 2014, Modul F).

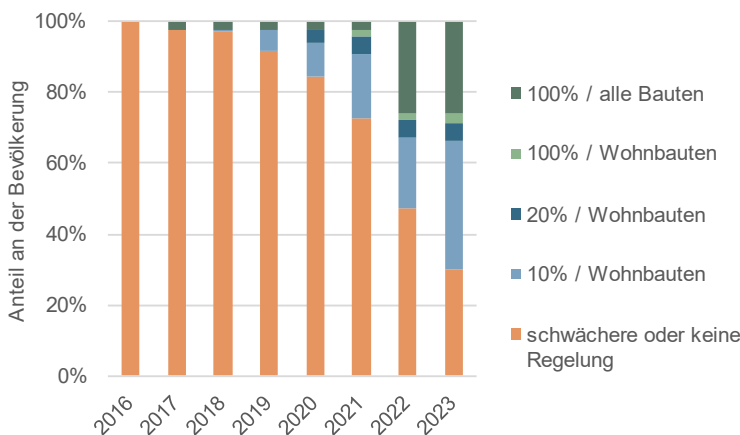


Abbildung 2: Zeitliche Einführung der Vorschriften zum Heizungsersatz (MuKE 2014, Modul F) als Anteil der Bevölkerung, die in einem Kanton mit entsprechender Vorschrift wohnt.

3.1 Zusammenfassung der kantonalen Grundlagenstudie

Wichtige Ziele der Grundlagenstudie waren, die Wirkung der aktuellen MuKE zu dokumentieren und aufzuzeigen, in welcher Art von Gebäuden trotz der Regelung immer noch eine fossile Heizung installiert ist. Dazu wurde in einem ersten Schritt in sieben Kantonen mit eingeführter Vorschrift die Datenverfügbarkeit geprüft (Basel-Stadt, Fribourg, Luzern, Jura, Neuchâtel, Schaffhausen und Thurgau). In den ersten fünf genannten Kantonen waren Daten zur Entwicklung des Heizungsersatzes verfügbar. Diese Kantone sammeln Daten zur Meldepflicht beim Wärmeerzeugersersatz an zentraler Stelle. Diese Daten wurden beschafft, analysiert und interpretiert. In den fünf

Ziele und Vorgehen der Grundlagenstudie

Kantone bestehen unterschiedliche Vorschriften für den Heizungersatz. Der Erneuerbaren-Anteil reicht dabei von 10 % bis 100 % (siehe Details dazu in Tabelle 1).

	Luzern (LU)	Jura (JU)	Fribourg (FR)	Neuchâtel (NE)	Basel-Stadt (BS)
<i>Datum der Inkraftsetzung</i>	1. Januar 2019	1. April 2019	1. Januar 2020	1. Mai 2021	1. Oktober 2017
<i>Betroffene Gebäude</i>	Wohnbauten (inkl. Mischbauten: Wohnfläche >150 m ²)	Wohnbauten (inkl. Mischbauten: Wohnfläche >150 m ²)	Wohnbauten (inkl. Mischbauten: Wohnanteil > 50 %, Wohnfläche >150 m ²)	Wohnbauten (inkl. Mischbauten: Wohnanteil > 50 %)	Alle Bauten
<i>Ausnahmen Effizienz</i>	ab GEAK D	ab GEAK D	ab GEAK C	ab GEAK C	keine
<i>Erneuerbarer Pflichtanteil</i>	10 %	10 %	20 %	100 %, falls keine Mehrkosten Investition, sonst 20%	100 %, falls keine Mehrkosten Investition, sonst 20% (Nebenbedingung 50% beim Warmwasser)
<i>Biogas-Regelung</i>	mind. 20 % (zwingend regional, zu Beginn hinterlegt)	keine	mind. 40 % (zu Beginn hinterlegt)	keine	keine
<i>Anzahl analysierter Heizungswechsel</i>	1'488	604	2'175	666	1'223

Tabelle 1: Geltende Vorschriften zum Heizungersatz in den fünf analysierten Kantonen

Insgesamt erzielen die Vorschriften in Wohnbauten eine sehr starke Wirkung. Im Durchschnitt der fünf Kantone führten die neuen Vorschriften dazu, dass über 90 % der neuen Heizungen in Wohnbauten mit erneuerbarer Energie oder Abwärme betrieben werden. Dies entspricht einem Anteil von über 85% der beheizten Raumfläche (siehe Abbildung 3). Die erzielte Wirkung hängt dabei nicht nur von der Stärke der Vorschrift ab, sondern zudem von der Struktur des kantonalen Gebäudeparks und der Verfügbarkeit von Gas. Wärmepumpen spielen in allen Kantonen und Gemeindetypen eine wichtige Rolle (siehe Abbildung 4). Die Bedeutung der Lösungen Fernwärme und Holz variiert je nach lokaler Ausgangslage. Weitere Lösungen, wie bspw. Fensterersatz, Biogas oder bivalente Lösungen spielen in den fünf Kantonen eine untergeordnete Rolle.

Vorschriften erzielen starke Wirkung

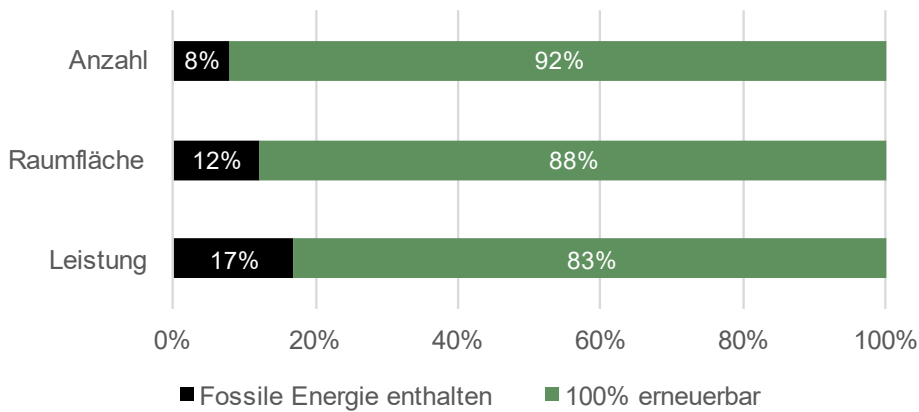


Abbildung 3: Erneuerbarer Anteil nach dem Heizungsersatz nach Anzahl Heizungswechsel, Raumfläche und neu installierter Heizleistung (Daten: Kantone LU, JU, FR, NE, BS, nur Wohnbauten. Zeitraum: vom Jahr nach dem jeweiligen Einführungsdatum bis Juli/August 2022, n = 6'142)

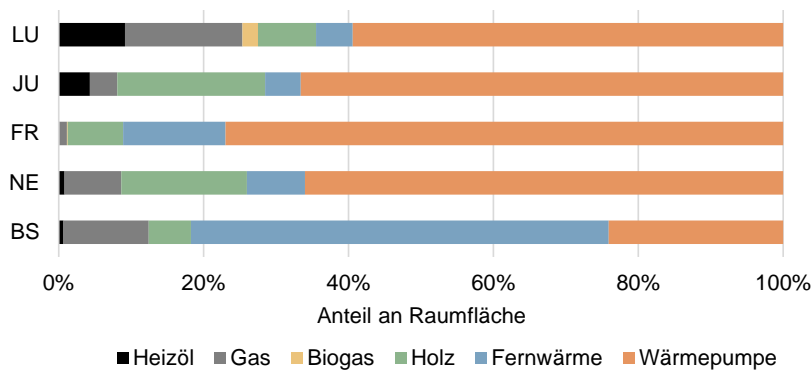


Abbildung 4: Anteil der Heizlösungen nach einem Heizungsersatz je Kanton nach Raumfläche (Daten: Kantone LU, JU, FR, NE, BS, nur Wohnbauten (Zeitraum: vom Jahr nach dem jeweiligen Einführungsdatum bis Juli/August 2022))

Die Analysen zeigen, dass in den fünf Kantonen alle Gebäude einen Erneuerbaren-Anteil 10 % oder 20 % erzielen konnten oder alternativ eine minimale Gebäudeeffizienz ausweisen. Es war in diesen Fällen nie eine Ausnahme nötig. Wird der Erneuerbaren-Anteil auf 100% erhöht, waren in den betrachteten Kantonen Ausnahmen für bis zu gut 10% der Fälle nötig.

100% Erneuerbaren Anteil erfordert bisher bis zu 10% Ausnahmen-Anteil

Die beiden wichtigsten Faktoren, die den vollständigen Umstieg auf erneuerbare Energien erschweren sind ein städtisches Umfeld mit dichter Bebauung sowie die Verfügbarkeit von Gas. Der Einfluss dieser beiden Faktoren werden auch in der statistischen Wirkungsanalyse in Kapitel 4 untersucht. Der Gebäudetyp und die Gebäudegrösse spielen auch eine Rolle. In Einfamilienhäusern wird häufiger auf erneuerbare Energien gewechselt als in den übrigen Gebäudetypen und innerhalb der Mehrfamilienhäuser wechseln grössere Gebäude weniger häufig auf erneuerbare Energien.

Städtisches Umfeld und Verfügbarkeit von Gas wichtige Hürden

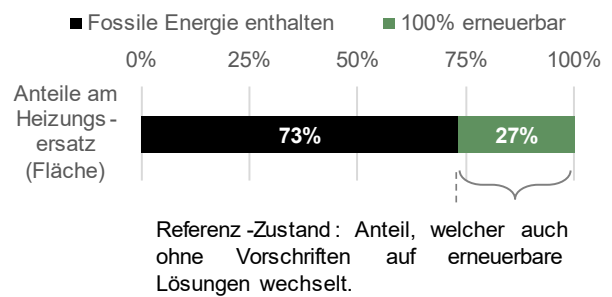
3.2 Schätzung der CO₂-Wirkung

Die CO₂-Wirkung der Vorschriften zum Heizungsersatz wurde mit einem einfachen Wirkungsmodell abgeschätzt. Abbildung 5 fasst die Resultate dieser Wirkungsabschätzung zusammen. Die hauptsächliche Wirkung der Vorschriften zum Heizungsersatz entsteht durch zusätzlich ausgelöste Wechsel von fossilen Heizungen hin zu 100 Prozent erneuerbaren Lösungen. Für die Wirkungsschätzung wird eine auch ohne Vorschriften stattfindende Entwicklung (Referenz-Zustand) mit der Entwicklung nach Umsetzung der Vorschriften verglichen. Als Effekt der Vorschrift wird geschätzt, dass ein Kanton seine Reduktionen der CO₂-Emissionen im Gebäudesektor im Vergleich zur Entwicklung ohne diese Vorschrift mindestens verdoppeln kann.

CO₂-Wirkung mit einfachem Wirkungsmodell

Referenz-Zustand: Ersatz fossiler Heizungen ohne Vorschriften zum Heizungsersatz:

Auch ohne Vorschrift wird ein Anteil der fossilen Heizungen durch erneuerbare Lösungen ersetzt. Diese Wirkung kann nicht den Vorschriften zum Heizungsersatz angerechnet werden. Für diese Ersatzrate besteht keine direkte Datengrundlage. Sie wird schweizweit auf 27% geschätzt.



Effekt der Vorschriften: Ersatz fossiler Heizungen mit Vorschriften zum Heizungsersatz:

In Kantonen mit Vorschriften zum Heizungsersatz werden in deutlich mehr Fällen fossile Heizungen durch erneuerbare Lösungen ersetzt.

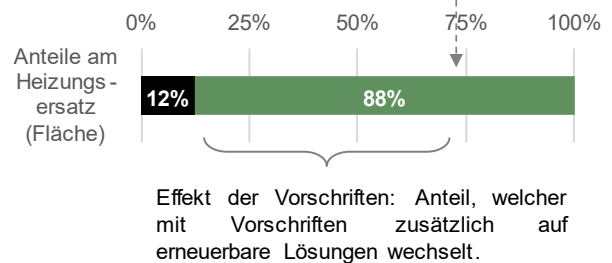


Abbildung 5: Einfaches Wirkungsmodell, um die CO₂-Wirkung der Vorschriften zum Heizungsersatz abzuschätzen. (Quellen: Die schweizweite Schätzung für den Heizungsersatz im Referenz-Zustand erfolgt auf Basis der Daten der 20 Kantone, welche mit der Standardmethode Bericht erstatten. Die Heizungsersatzraten nach Umsetzung der Vorschrift stammen aus der Grundlagenstudie von EBP¹¹⁾)

Eine zentrale Herausforderung zur Bestimmung der CO₂-Wirkung der Vorschriften zum Heizungsersatz ist die Beschreibung des Referenz-Zustands für den Ersatz fossiler Heizungen vor Umsetzung der Vorschriften. Nur der Kanton Basel-Stadt hat die Heizungswechsel auch vor Umsetzung der Vorschriften erhoben. Abbildung 6 zeigt den zeitlichen Verlauf des Heizungsersatzes von 2013 bis 2021 für den Kanton Basel-Stadt. Die Abbildung zeigt die grosse Wirkung der Vorschrift: Im Zeitraum 2013-2017 vor Umsetzung der Vorschriften hat ein Anteil von rund 30% beim Ersatz einer fossilen

Bestimmung des Referenz-Zustands für den Ersatz fossiler Heizungen

11 EBP (2022): Grundlagenstudie für die Weiterentwicklung der MuKE, Bereich Heizungsersatz. Studie im Auftrag der Energiefachstellenkonferenz der Kantone

Heizung auf eine vollständig erneuerbare Lösung gesetzt. Nach Umsetzung der Vorschrift stieg dieser Anteil auf 80% (Jahre 2018 und 2019) bis über 90% (Jahr 2021). Aufgrund der fehlenden direkten Datengrundlage zum Referenz-Zustand wird der Ersatz fossiler Heizungen, welcher für alle Schweizer Kantone ohne Umsetzung der Vorschriften repräsentativ ist, basierend auf den Daten der Standard-Methode der Berichterstattung abgeschätzt. Zusätzlich wurde als Sensitivitätsanalyse die mögliche Bandbreite im Referenz-Zustand geschätzt.

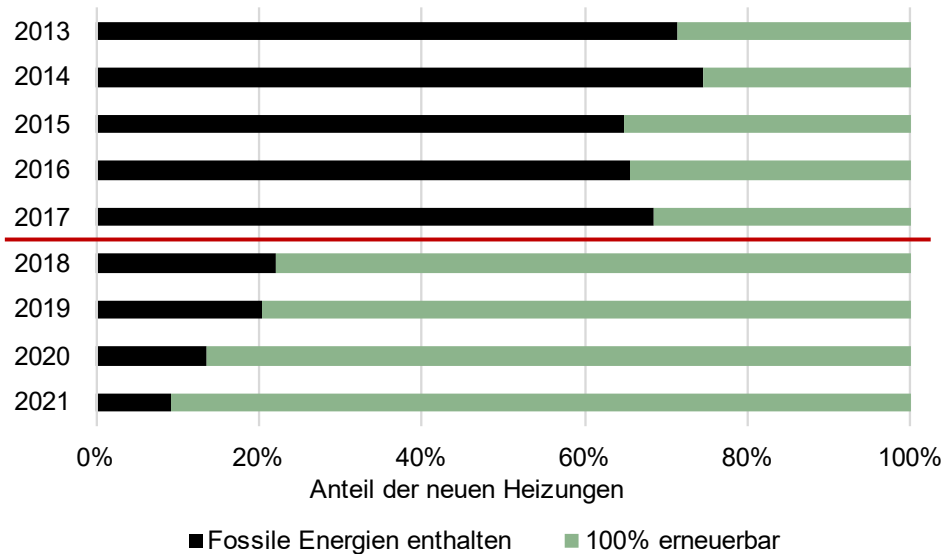


Abbildung 6: Zeitlicher Verlauf des Anteils erneuerbarer beheizter Raumfläche nach dem Heizungersatz im Kanton Basel-Stadt. Der rote Balken zeigt den Zeitpunkt des Inkrafttretens der Vorschrift. (Quelle: Grundlagenstudie EBP; Daten: Kanton BS, alle Bauten)

Als erster Schritt wurde abgeschätzt, wie viele fossile Heizungen bezogen auf die Energiebezugsfläche bei bestehenden Gebäuden pro Jahr ersetzt werden. Basis dafür bildete eine Annahme für die mittlere Lebensdauer von Heizungsanlagen. Angenommen wurde eine mittlere Lebensdauer von 22.5 Jahren, was zu einem jährlichen Heizungersatz bei 4.4% der Energiebezugsfläche führt. Viele Grundlagen (SIA, Hauseigentümerverband, Mieterinnen- und Mieterverband) gehen von einer Heizungslebensdauer von 20 Jahren aus. In der Praxis und in Projekten von EBP zeigt sich durchgehend eine höhere mittlere Lebensdauer fossiler Heizungen von 25 Jahren oder höher. Als Annahme wurde hier ein Mittelwert gewählt.

Abschätzung, wie viele fossile Heizungen ersetzt werden

Mit der Kenntnis der fossil beheizten Energiebezugsfläche, für welche jährlich ein Heizungswechsel vorgenommen wird, kann basierend auf der Entwicklung der fossil beheizten Energiebezugsfläche gemäss Standard-Methode hergeleitet werden, welcher Anteil der fossilen Heizungen wiederum durch fossile Heizungen ersetzt werden. Die fossil beheizte Energiebezugsfläche bei bestehenden Gebäuden sinkt in allen Kantonen. Zusätzlich wird vereinfacht angenommen, dass keine erneuerbaren Heizungen durch fossile Heizungen ersetzt werden. Damit ergibt sich direkt, bei wie vielen der ersetzten fossilen Heizungen wiederum fossile Heizungen eingesetzt werden,

Herleitung des Anteils fossiler Heizungen, die wiederum durch fossile Heizungen ersetzt werden

damit die beobachtete Entwicklung der fossil beheizten Energiebezugsflächen abgebildet wird. Abbildung 7 illustriert dieses Vorgehen schematisch.

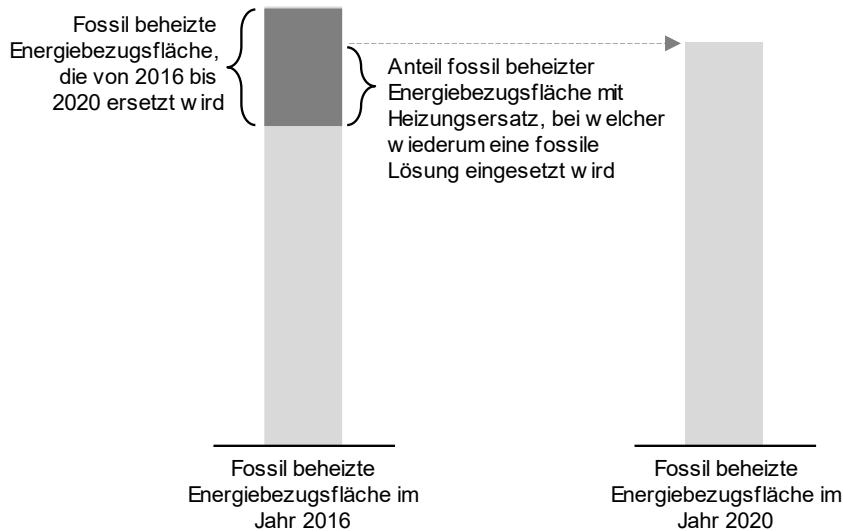


Abbildung 7: Schematisches Vorgehen der Herleitung des Anteils fossiler Heizungen, die wiederum durch fossile Heizungen ersetzt werden.

Die schweizweit repräsentativen Werte für den Ersatz fossiler Heizungen ohne geltende Vorschriften zum Heizungsersatz werden anhand der Kantone hergeleitet, welche mit der Standard-Methode Bericht erstatten. In der Standardmethode beruht die hinterlegte Heizungsersatzrate mehrheitlich auf einer Stichprobenerhebung mittels Umfragen¹². Die so geschätzten Raten repräsentieren Durchschnittswerte über die betrachtete Zeitspanne von 5 Jahren. Für die Auswertung ausgeschlossen werden die Kantone Luzern und Obwalden. Diese Kantone haben im betrachteten Zeitraum Vorschriften zum Heizungsersatz in Kraft gesetzt, deren Wirkung in den in diesen Kantonen durchgeführten Umfragen abgebildet ist. Aufgrund der Unsicherheiten der angewendeten Methode wurden Ausreisser, also die Kantone mit extremen Werten, ebenfalls nicht berücksichtigt¹³. Für die Auswertungen wurden schlussendlich 15 Kantone berücksichtigt, die mit der Standard-Methode Bericht erstatten. Im Schweizer Mittel resultiert für den Referenz-Zustand ohne Vorschriften mit dieser Methode, dass in 73% der Fälle beim Ersatz fossiler Heizungen eine Lösung gewählt wird, die wieder fossile Energie enthält. In 27% der Fälle wird im Referenz-Zustand ohne Vorschriften auf gänzlich erneuerbare Lösungen umgestellt (Abbildung 5).

Referenz-Zustand:
Schweizweit repräsentative Werte

Für die oben beschriebene Schätzung des Referenz-Zustands wurde zusätzlich eine Sensitivitätsanalyse vorgenommen. Dazu wurde untersucht, wie stark sich die Heizungsersatzraten in den 15 betrachteten Kantonen

Sensitivitätsanalyse des Referenz-Zustands

12 Jakob et al. (2022): Erneuerungstätigkeiten im Schweizer Gebäudepark: eine empirische Analyse. Studie im Auftrag des Bundesamts für Energie.

13 Ausgeschlossen wurden die zwei Kantone mit dem höchsten (FR, NE) bzw. niedrigsten (NW, OW) Anteil fossiler Heizungen, die wiederum durch fossile Heizungen ersetzt werden.

unterscheiden und welche Auswirkungen dies auf die Wirkung der Vorschriften zum Heizungsersatz hat. Dafür wurde der Referenz-Zustand je für das Quartil der Kantone mit dem höchsten bzw. niedrigsten Anteil fossiler Heizungen beim Heizungsersatz ausgewertet. Diese Resultate zeigen die Bandbreite des Referenz-Zustands auf:

- Referenz-Zustand für Quartil der Kantone mit höchstem Anteil fossiler Heizungen beim Heizungsersatz: Beim Ersatz fossiler Heizungen wird nur in 15% der Fälle eine erneuerbare Lösung gewählt, in 85% wird wieder eine fossile Heizung eingesetzt.
- Referenz-Zustand für Quartil der Kantone mit niedrigstem Anteil fossiler Heizungen beim Heizungsersatz: Beim Ersatz fossiler Heizungen wird bereits in knapp 45% der Fälle eine 100% erneuerbare Lösung gewählt, in rund 55% der Fälle wird wiederum eine fossile Heizung eingesetzt.

Um die Wirkung der Vorschriften zum Heizungsersatz (MuKE Teil F) zu bestimmen, können nun die Ersatzraten im Referenz-Zustand ohne Vorschriften mit den erhobenen Ersatzraten nach Umsetzung der Vorschriften verglichen werden. Statt mit dem Schweizer Mittel für den Referenz-Zustand kann als vorsichtige Annahme nun der Effekt der Vorschriften mit Kantonen verglichen werden, welche bereits einen erhöhten Anteil Wechsel auf vollständig erneuerbare Heizungen aufweisen (siehe oben, Quartil der Kantone mit niedrigstem Anteil fossiler Heizungen beim Heizungsersatz, bspw. aufgrund starker Fördermassnahmen). In diesem Fall werden im Referenz-Zustand bereits knapp 45% vollständig erneuerbare Heizungen eingesetzt. Nach Umsetzung der Vorschrift steigt dieser Anteil auf knapp 90% (vgl. Abbildung 3). Somit kann durch die Einführung der Vorschriften mit rund 45% zusätzlicher Heizungswechsel auf 100% erneuerbare Lösungen gerechnet werden. Dies entspricht rund einer Verdoppelung der jährlichen CO₂-Einsparungen, die durch den Wechsel von fossilen Heizungen auf erneuerbare Lösungen erzielt werden.

Vorsichtige Annahme für die Wirkung: Vorschriften erzielen rund eine Verdoppelung der jährlichen CO₂-Einsparungen

4. Einflussfaktoren auf die CO₂-Emissionen

Zusätzlich zu den Analysen in Kapitel 3 wurde zur Beurteilung der Wirkung der kantonalen Klima- und Energiepolitik eine statistische Analyse basierend auf den Daten der Berichterstattung durchgeführt. Dazu wurde der Beitrag unterschiedlicher Einflussfaktoren auf die Entwicklung der CO₂-Emissionen untersucht. Dies erfolgte in zwei Schritten: In einem ersten Schritt wurde der Einfluss der Witterung und der zusätzlichen Neubauten identifiziert. In einem zweiten Schritt wurde die tatsächliche Reduktion der CO₂-Emissionen von bestehenden Gebäuden statistisch analysiert. Diese Analyse bezieht sich auf die 20 Kantone, welche mit der Standardmethode Bericht erstatten. Für diese sind die gefragten Dimensionen in den Daten der Berichterstattung enthalten, während sie für die Kantone mit eigener Berichterstattung nicht vorliegen.

Einfluss der Witterung, neuer Gebäude und tatsächliche Wirkung

Abbildung 8 zeigt die Entwicklung der CO₂-Emissionen und des Energieverbrauchs für die betrachteten 20 Kantone von 2016 bis 2020, aufgeschlüsselt nach den Einflussfaktoren Witterung, neue Gebäude sowie die tatsächlich resultierenden Reduktionen bei bestehenden Gebäuden. Von 2016 bis 2020 sanken die CO₂-Emissionen für die 20 Kantone um rund 19%. 2020 war jedoch im Vergleich zu 2016 ein deutlich milderes Jahr. Dies verursachte einen massgeblichen Anteil der beobachteten CO₂-Emissionsreduktionen. Das gleiche Bild zeigt sich beim Energieverbrauch. Im Zeitraum von 2016 bis 2020 wurden neue Gebäude mit einer zusätzlichen Fläche von 4.6% des Bestands im Jahr 2016 erstellt. Abbildung 8 zeigt, dass diese neuen Gebäude eine hohe Effizienz und geringere CO₂-Emissionen aufweisen als bestehende Gebäude. Mit über 12 Prozent tatsächlicher Reduktion der CO₂-Emissionen und über 6 Prozent tatsächlicher Reduktion des Energieverbrauchs weisen die vorliegenden Daten über die Berichtszeitperiode auf eine deutliche Wirkung der klima- und energiepolitischen Massnahmen hin.

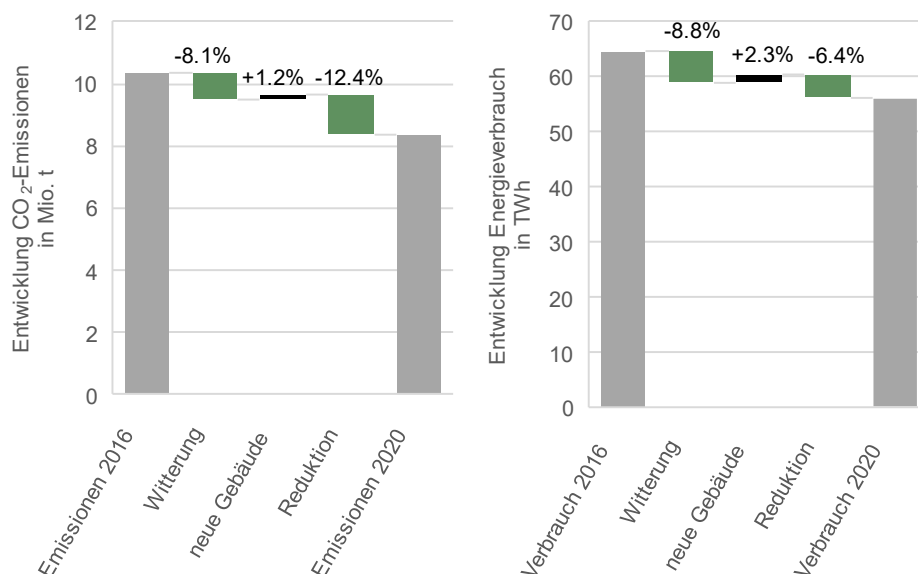


Abbildung 8: Entwicklung der CO₂-Emissionen und des Energieverbrauchs von 2016 bis 2020, Einflussfaktoren Witterung und neue Gebäude und die tatsächlich resultierende Reduktion bei bestehenden Gebäuden aggregiert für die 20 Kantone, welche mit der Standardmethode Bericht erstatten.

Die in Abbildung 8 gezeigte Reduktion der CO₂-Emissionen wurde mit einer statistischen Analyse vertieft. Ziel war es, die Wirkung kantonaler Vorschriften und der Fördermassnahmen im Rahmen des Gebäudeprogramms auf die Entwicklung der CO₂-Emissionen im Zeitraum von 2016 bis 2020 zu bestimmen. Mit einer statistischen Analyse lässt sich das Ausmass von einzelnen Einflussfaktoren und somit die erzielte Wirkung von politischen Massnahmen im Gebäudebereich näher herausarbeiten. Für die Wirkung von Vorschriften wurde auf die Vorschriften zum Heizungsersatz fokussiert. Diese erscheinen als die wirkungsvollsten Vorschriften, die im betrachteten Zeitraum zusätzlich umgesetzt wurden. Da diese Vorschriften vor allem die verstärkte Einführung erneuerbarer Energieträger bewirken legt die statistische Analyse den Fokus auf CO₂-Emissionen.

Statistische Wirkungsanalyse

Die Datengrundlage der kantonalen Berichterstattung basiert zu einem grossen Teil auf Umfragen, welche in Zusammenarbeit mit dem BFE-Forschungsprojekt MISTEE¹⁴ durchgeführt wurden. Die Resultate dieser Umfragen liefern die Entwicklung der Energieträger und der energetischen Gebäudeerneuerungen für die Berichterstattung aggregiert auf kantonale Kohorten. Im Rahmen vom Projekt MISTEE wurden ebenfalls statistischen Analysen durchgeführt. Diese Analysen beziehen sich auf die Rohdaten der Umfragen und nicht auf die kantonalen Kohorten gemäss Berichterstattung. Das MISTEE Projekt untersuchte Einflussfaktoren auf die Umsetzung von Effizienzmassnahmen im Gebäudebereich (Gebäudehülle) und auf den Einsatz erneuerbarer Energien (Heizsysteme), allerdings nicht direkt auf die Entwicklung der CO₂-Emissionen. Aufgrund der vergleichbaren Einflussfaktoren, die betrachtet wurden, werden die wichtigsten Projektergebnisse kurz vorgestellt und wichtige Erkenntnisse für die nachfolgende statistische Analyse sowie mögliche Lücken abgeleitet.

Ergebnisse des MISTEE-Projekts

4.1 Synthese MISTEE-Projekt

Die explorativen statistischen Analysen des MISTEE-Projekts haben zum Ziel, mögliche kantonale, individuelle und gebäudespezifische Einflüsse auf die Erneuerungstätigkeiten im schweizerischen Gebäudebestand herauszuarbeiten. Als hauptsächliche Datengrundlage dient dabei eine Erhebung unter Gebäudeeigentümern, die zu Erneuerungsmassnahmen in den letzten 30 Jahren befragt wurden. Die umgesetzten Erneuerungsmassnahmen wurden in 5-Jahresperioden erhoben. Aufgrund der vergleichbaren hohen Rücklaufquoten konnten Informationen zu über 11'000 Gebäuden in der Schweiz erhoben werden. Für die statistischen Analysen werden weitere Daten verwendet: Angaben aus dem Gebäude- und Wohnungsregister (GWR),

Statistische Analysen im Rahmen des MISTEE-Projekts

¹⁴ Jakob et al. (2022): Erneuerungstätigkeiten im Schweizer Gebäudepark: eine empirische Analyse. Studie im Auftrag des Bundesamts für Energie.

Informationen zum Abstimmungsverhalten in Kantonen in Bezug auf Energie- und CO₂-Gesetze, kantonale Fördersätze für Gebäudemassnahmen und Energiepreise fossiler Energieträger. Je nach Modell kommen unterschiedliche Variablen zur Anwendung.

Gebäudeeffizienzmassnahmen (Gebäudehülle)

Vertieft analysiert wurden die Erneuerungsraten der Gebäudehülle. Dabei wurde untersucht, wie diverse Einflussfaktoren die Entscheidung von Gebäudebesitzern zur Umsetzung von energetischen Massnahmen wie Fensterersatz und Wärmedämmungen beeinflussen. Dafür wurde ein logistisches Regressionsmodell eingesetzt, welches die Wahrscheinlichkeit, dass eine bestimmte Erneuerung durchgeführt wurde, schätzen kann. Die vorliegenden Daten ermöglichten die Zusammenstellung eines Paneldatensatzes; das heisst, die zeitliche Entwicklung von Erneuerungsraten kann ebenfalls berücksichtigt werden. Mithilfe dieser Analyse lassen sich statistisch signifikante Einflüsse unterschiedlichster Faktoren auf die Erneuerungstätigkeiten im Gebäudebestand feststellen. Beispielsweise konnte der bekannte Zusammenhang bestätigt werden, dass Aussenwand, Steildach und Kellerdecke signifikant niedrigere Erneuerungsraten als Fenster aufweisen. Bei Mehrfamilienhäusern (MFH) lassen sich höhere Erneuerungsraten feststellen als bei Einfamilienhäusern (EFH). Auch individuelle Merkmale von Gebäudeeigentümern haben einen signifikanten Einfluss auf Bautätigkeiten – jüngere (unter 60 Jahren) Eigentümer führen Erneuerungen mit 20% höherer Wahrscheinlichkeit durch als ältere (60 Jahre oder älter) Eigentümer.

Ergebnisse im Bereich Energieeffizienz

Mit Blick auf die hier vorgestellte statistische Wirkungsanalyse sind aber insbesondere die kantonalen (bzw. gemeindespezifischen) Merkmale sowie der Einfluss von Fördermassnahmen und Vorschriften von Interesse. Dabei scheint der Gemeindetyp, das heisst, ob es sich um eine städtische oder ländliche Gemeinde handelt, keinen signifikanten Einfluss auf die Erneuerungstätigkeiten zu haben. Im Gegensatz dazu haben Fördermassnahmen, abgebildet durch den Fördersatz für unterschiedliche Bauteile, einen signifikanten positiven Einfluss. Eine Erhöhung des Fördersatzes erhöht die Chance auf eine Erneuerungstätigkeit. Auch die Erhöhung der CO₂-Abgabe führt zu einer signifikanten Erhöhung der Wahrscheinlichkeit, dass eine Erneuerung durchgeführt wird. Beide Effekte, Fördermassnahmen und die CO₂-Abgabe, führen jedoch nur zu geringen Erhöhung der Erneuerungswahrscheinlichkeit.

Einfluss von Fördermassnahmen und der CO₂-Abgabe

Heizsysteme

Im Gegensatz zur Analyse der Effizienzmassnahmen wurde bei der Erneuerung der Heizsysteme ein möglicher zeitlicher Effekt nicht berücksichtigt. Analysiert wurde der Zusammenhang von Einflussfaktoren mit dem Energieträgermix der Heizsysteme zum Zeitpunkt der Erhebung in den Jahren 2019 und 2020. Dafür wurde ein multinomiales Regressionsmodell verwendet, das die Wahrscheinlichkeit des Einsatzes unterschiedlicher Heizsysteme erklären kann. Auch werden weniger Einflussfaktoren, insbesondere keinerlei politische Einflussfaktoren wie Fördermassnahmen oder Vorschriften in der Analyse betrachtet. Die Schätzung wird für verschiedene Heizsysteme – Andere, Fernwärme, Gas, Holz und Wärmepumpen – (im Vergleich zur Basis-kategorie Ölheizungen) durchgeführt. Bei den Heizsystemen zeigt sich nun

Ergebnisse Erneuerungsraten von Heizsystemen

der Effekt unterschiedlicher Gemeindetypen: in ländlichen Gemeinden ist beispielsweise die Wahrscheinlichkeit des Einsatzes von Holzheizungen (im Vergleich zu Ölheizungen) circa doppelt so gross wie in städtischen. Ebenfalls einen statistisch signifikanten Einfluss hat es, ob eine Gemeinde mit Gas versorgt ist. In gasversorgten Gemeinden ist die Wahrscheinlichkeit, dass Fernwärme oder Gasheizungen vorliegen im Vergleich zu Ölheizungen höher, während die Gasversorgung einen signifikant negativen Effekt auf Holzheizungen hat.

Die Analysen im MISTEE-Projekt zeigen bereits signifikante Einflussfaktoren auf die Erneuerungstätigkeiten im Gebäudebestand und die Wahl des Heizungsmixes. Gleichzeitig berücksichtigten sie zum Teil keine zeitlichen Effekte (Heizsysteme) und vernachlässigen politische Einflussfaktoren auf Schweizer (Heizsysteme) und kantonaler Ebene (Heizsysteme und Erneuerungstätigkeiten). Um ein besseres Verständnis der Wirkung von politischen Massnahmen direkt auf die CO₂-Emissionen in einem Kanton zu erhalten, bieten sich daher die nachfolgend beschriebene statistische Analyse an.

Fazit und Bedarf an weiteren Analysen

4.2 Statistische Analyse der Einflussfaktoren

Wie das MISTEE-Projekt bereits gezeigt hat, lassen sich mittels Regressionsanalysen statistisch signifikante Faktoren bestimmen, die eine gewählte Zielgrösse beeinflussen könnten. Auch haben derartige Analysen den Vorteil (im Gegensatz zu binären Korrelationsanalysen), dass gleichzeitig verschiedene Faktoren und deren Zusammenhänge berücksichtigt werden können. Der Fokus der vorliegenden statistischen Wirkungsanalyse liegt auf der potenziellen Wirkung von politischen Massnahmen – Vorschriften und Förderungen – auf die Entwicklung der CO₂-Emissionen in den Kantonen im Zeitraum von 2016 bis 2020. Ähnlich wie beim MISTEE-Projekt werden Fördermassnahmen im Rahmen des Gebäudeprogramms betrachtet. Auf der Vorschriftenseite stehen die MuKE-Vorschriften zum Heizungsersatz im Vordergrund. Diese werden als wirkungsvollste Massnahmen eingeschätzt, die im betrachteten Zeitraum neu umgesetzt wurden (vgl. Kapitel 3). Durch diese Vorschriften werden in bestehenden Gebäuden deutlich mehr erneuerbare Energieträger zum Heizen eingesetzt. Deshalb fokussiert die statistische Analyse auf bestehende Gebäude (nicht Neubauten) und auf die CO₂-Emissionen als Zielgrösse.

Fokus der statistischen Wirkungsanalyse

Die Wahl der wesentlichen Variablen Fördermassnahmen und Vorschriften stellt die Analyse zum jetzigen Zeitpunkt vor grosse Herausforderungen. Als Basis der Analyse dient die Datengrundlage von TEP Energy. Aufgrund des Standes der Berichterstattung und der Bestimmung der kantonalen CO₂-Emissionen kann nur eine beschränkte Anzahl von Kantonen (20) in einem kurzen Zeitraum (2016-2020) berücksichtigt werden. Auch lässt sich die Entwicklung der CO₂-Emissionen nur über den ganzen Zeitraum insgesamt betrachten. Die zugrundeliegende Erhebung hat die Treiber der Entwicklung in 5-Jahresschritten erhoben, differenzierte Aussagen zu Einzeljahren sind deshalb nicht möglich. Zudem müssen weitere Kantone aus der Analyse ausgeschlossen werden, was die Anzahl Beobachtungen auf 17 reduziert. Die Kantone Jura und Freiburg, die Vorschriften zum Heizungsersatz

Verwendete Datengrundlage und wichtige Herausforderungen und Einschränkungen

umgesetzt haben, wurden in der Berichterstattung durch Analogieschlüsse mit anderen Kantonen oder durch andere Datenquellen abgedeckt. Der Kanton Appenzell-Innerrhoden hat die Vorschriften erst im Laufe des Jahres 2020 umgesetzt und wird deshalb aus der Betrachtung ausgeschlossen. Die in Kapitel 3 vorgestellte kantonale Studie hat gezeigt, dass die volle Wirkung der Vorschrift oft erst ein Jahr nach der Umsetzung realisiert wird. Trotz dieser datenspezifischen Herausforderungen lassen sich erste Zusammenhänge darstellen.

Empirisches Modell: Aufbau und verwendete Variablen

In einem ersten Schritt wurden für die CO₂-Emissionen witterungsbereinigten Werte aufbereitet, d.h. der Einfluss der Witterung wurde aus der Entwicklung herausgerechnet. Auch werden Neubauten (d.h. Gebäude mit einer Bauperiode ab dem Jahr 2016) nicht in die Analyse mitaufgenommen. Allerdings werden alle Gebäudekategorien (beispielsweise Bürogebäude, Wohngebäude, Krankenhäuser und Heime) berücksichtigt.

Witterungsbereinigung und Beschränkung auf bestehendem Gebäudebestand

Vorschriften und Fördermassnahmen verfolgen unterschiedliche Ansätze zur Verhaltensänderung, haben jedoch das gleiche Ziel – eine Verbesserung von Umweltwirkungen von Gebäuden. Als Zielgrösse wird dies im verwendeten Modell durch die Entwicklung der kantonalen CO₂-Emissionen abgebildet. Hauptziel der statistischen Wirkungsanalyse ist es aufzuzeigen, ob für Vorschriften und Fördermassnahmen ein zusätzlicher Effekt auf die Reduktion der kantonalen CO₂-Emissionen aufgezeigt werden kann. Andere kantonsspezifische Merkmale können allerdings ebenfalls einen Einfluss auf die Entwicklung der CO₂-Emissionen unabhängig von Vorschriften und Fördermassnahmen des Kantons haben. Die kantonale Studie zu Vorschriften zum Heizungersatz (vgl. Kap. 3) und die Ergebnisse des MISTEE-Projekts zeigen den wichtigen Einfluss des städtischen Charakters und der Gasversorgung von Gemeinden. Auch bei der direkten Wirkung auf die CO₂-Emissionen lässt sich ein Zusammenhang vermuten. Je höher der städtische Anteil in Kantonen ist, desto höher könnten die CO₂-Emissionen sein bzw. desto herausfordernder ist die Reduktion der CO₂-Emissionen. Das gleiche gilt für den Anteil der Gasversorgung.

Modellaufbau

Der Zusammenhang zwischen den wesentlichen unabhängigen Variablen sowie den zusätzlichen Kontrollfaktoren und den kantonalen CO₂-Emissionen lässt sich mittels der folgenden Schätzgleichung abbilden:

Schätzgleichung

$$CO2_EBF_{fossil_i} = \alpha + \beta_1 Jahre_i + \beta_2 CO2_W_EBF_i + \beta_3 Gas_i + \beta_4 Stadt_i + \varepsilon_i$$

$CO2_EBF_{fossil}$ gibt dabei die gesamte Einsparung von CO₂-Emissionen im betrachteten Zeitraum von 2016 bis 2020 in Kanton i an, normiert pro fossil beheizter Energiebezugsfläche (EBF) im Referenzjahr 2016. Die CO₂-Emissionen wurden mit der fossil beheizten Energiebezugsfläche in Quadratmetern im Referenzjahr 2016 im Kanton normiert, um einen sinnvollen Vergleich zwischen den Kantonen zu ermöglichen. Diese Normierung stellt sicher, dass auch grössere Kantone mit kleineren Kantonen verglichen werden können. Zudem bereinigt die Normierung die unterschiedliche Ausgangslage der Kantone hinsichtlich des Anteils erneuerbarer Energien im Jahr 2016. Eine

Zielgrösse Entwicklung der CO₂-Emissionen

CO₂-Wirkung kann nur für fossil beheizte Energiebezugsflächen erzielt werden, weshalb diese die sinnvollste Basis für die Wirkungsanalyse bilden. Tabelle 3 gibt die wesentlichen statistischen Merkmale der Variablen, das heisst jeweils den Mittelwert, die Standardabweichung und die Minimum- und Maximumwerte der verwendeten Variablen an. Die mittlere Reduktion der CO₂-Emissionen pro fossiler EBF beträgt über 3 kg CO₂ pro Quadratmeter in den betrachteten Kantonen, wobei die Emissionen mindestens um 2 kg CO₂ pro m² EBF bis zu maximal fast 6 kg CO₂ pro m² EBF pro Quadratmeter abnehmen.

Die unabhängige Variable *Jahre* steht für die Vorschriften im Kanton *i*. Dies sind die Anzahl der Jahre, in denen die Vorschriften zum Heizungersatz im Kanton *i* zwischen 2016 und 2020 umgesetzt waren, wobei ein Jahr erst dann als gültig gezählt wird, wenn die Vorschriften bereits ab 1. Januar des Jahres galten. Im betrachteten Zeitraum von 2016 und 2020 wurden in sieben Kantonen Vorschriften zum Heizungersatz umgesetzt (Appenzell-Innerrhoden, Basel-Stadt und Basel-Landschaft, Fribourg, Jura, Luzern und Obwalden). Die Kantone Basel-Stadt und Basel-Landschaft verwenden eigene Methoden für die Berichterstattung und können deshalb für die vorliegende statistische Wirkungsanalyse nicht betrachtet werden. Ebenfalls ausgeschlossen werden müssen die Kantone Appenzell-Innerrhoden, Fribourg und Jura. Die Entwicklung in den Kantonen Fribourg und Jura können nicht mit den vergleichbaren Datenquellen abgebildet werden. Die Vorschriften gelten im Kanton Appenzell-Innerrhoden zwar ebenfalls seit April 2020; damit war die Einführung allerdings zu spät, als dass das Jahr 2020 noch für diese Analyse gezählt werden konnte.

Abbildung von Vorschriften

CO2_W_EBF bildet die Fördermassnahmen im Rahmen des Gebäudeprogramms ab und beschreibt die CO₂-Emissionswirkungen der in den Jahren 2017 und 2020 geförderten Massnahmen über ihre Lebensdauer, normiert pro fossiler EBF im Kanton *i* in den Jahren 2017 und 2020. Die mittlere CO₂ Wirkung über die Lebensdauer der Fördermassnahmen beträgt 10.1 kg CO₂ pro fossiler EBF, wobei hier eine breitere Streuung zu verzeichnen ist. Kantone haben mindestens eine CO₂ Wirkung von 2.3 kg CO₂ pro fossiler EBF bis hin zu einer maximalen Wirkung von 22.8 kg CO₂ pro fossiler EBF erzielt.

Abbildung von Fördermassnahmen

Als zusätzliche Kontrollvariablen werden zudem der durchschnittliche Anteil Gas zwischen 2016 und 2020 an den fossilen Energieträgern bei der EBF Heizen sowie der Anteil der städtischen Bevölkerung im Kanton berücksichtigt (*Stadt*). Nicht beobachtete Einflüsse werden im Fehlerterm ε_i aufgefangen. Der Anteil von Gas bei den fossilen Energieträgern schwankt in den Kantonen zwischen 0 und 57%, wobei er im Mittel ca. ein Drittel ausmacht. Allgemein lebt der Grossteil der Bevölkerung in städtischen Gebieten (im Mittel 77%). Dabei bestehen grosse Unterschiede. Ein Kanton kann auch verstärkt ländlich sein (das Minimum des Anteils der städtischen Bevölkerung beträgt 28%) oder komplett städtisch (100%).

Zusätzlich betrachtet: Anteil Gas und städtische Struktur

Für eine erste statistische Analyse des Einflusses von Vorschriften und Förderung im Gebäudebereich auf die CO₂-Emissionen wird ein einfaches lineares Schätzmodell verwendet (Kleinstquadratmethode).

Zum Aufbau der Variablen werden verschiedene Datenquellen verwendet. Tabelle 2 gibt die jeweiligen Datenquellen sowie die zur Verfügung stehenden Zeiträume für die einzelnen Einflussfaktoren an. Verwendete Datenquellen

Variable	Datenquelle	Zeitraum
Einsparung CO ₂ -Emissionen zwischen 2016-2020 pro Kanton	TEP-Daten (29.07.2022)	2016-2020
Geltungsdauer Vorschriften (Jahre)	Recherche kantonale Energiegesetze, Dokumentation EnDK zur Umsetzung der MuKE in den Kantonen	2016-2020
Fördermassnahmen: CO ₂ Wirkung über die Lebensdauer der Massnahmen, welche zwischen 2017-2020 umgesetzt wurden	Tabellensammlung Gebäudeprogramm (BFE) ¹⁵ Die CO ₂ -Wirkungen der Fördermassnahmen sind berechnet auf Basis der Wirkungsmodelle des harmonisierten Fördermodells der Kantone 2015 (HFM 2015) ¹⁶	2017-2020
Anteil Gas an fossil beheizter Energiebezugsfläche (2016-2020)	TEP-Daten (29.07.2022)	2016-2020
Anteil städtische Bevölkerung	Städtische Bevölkerung gemäss BFS-Typologie «Raum mit städtischem Charakter, 2012» aus: Ausgewählte Indikatoren im regionalen Vergleich, 2021	2019

Tabelle 2: Übersicht zu Datenquellen für die statistische Analyse

Variable (Einheit in Klammern)	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Abhängige Variable				
Einsparung der CO ₂ Emissionen zwischen 2016-2020 pro fossiler EBF im 2016, kg CO ₂ /m ² EBF fossil	3.6167	1.0010	2.0137	5.8647
Unabhängige Variablen				
Geltungsdauer Vorschrift: Anzahl Jahre, in welchen MuKE Teil F umgesetzt ist	0.2941	0.8489	0	3
CO ₂ -Wirkung Förderung: CO ₂ -Wirkung über die Lebensdauer der Fördermassnahmen (gemäss HFM 2015), welche zwischen 2017-2020 umgesetzt wurden, pro fossiler EBF, kg CO ₂ /m ² EBF fossil	10.1182	6.6977	2.3208	22.7958
Kontrollvariablen				
Anteil Gas an fossil beheizter EBF für Verwendungszweck Heizen (2016-2020)	0.3412	0.1833	0.0000	0.5685
Anteil städtische Bevölkerung	0.7698	0.1975	0.2757	1

Tabelle 3: Zusammenfassung Variablenmerkmale

15 Quelle: <https://www.dasgebaeudeprogramm.ch/de/publikationen-und-fotos/jahresberichte/> (abgerufen im November 2022). Zur Verfügung stehen detaillierte Tabellen ab dem Jahr 2017.

16 HFM 2015: Harmonisiertes Fördermodell der Kantone (HFM 2015), revidierte Fassung vom September 2016. Bundesamt für Energie BFE, Konferenz Kantonalen Energiefachstellen EnFK.

Ergebnisse der statistischen Wirkungsanalyse

Die folgenden Streudiagramme zeigen einen ersten Zusammenhang zwischen der Reduktion von CO₂-Emissionen und den verschiedenen Einflussfaktoren. Der grau hinterlegte Bereich gibt dabei jeweils das Konfidenzniveau von 95% an.

Zusammenhänge zwischen CO₂-Emissionen und möglichen Einflussfaktoren

Die Geltungsdauer der Vorschriften (MuKE Teil F) zeigen den erwarteten Zusammenhang (Abbildung 9). Je länger die Vorschriften in dem betrachteten Zeitraum in einem Kanton gelten, desto höher ist die Einsparung von CO₂-Emissionen (pro fossiler EBF).

Einfluss der Vorschriften (MuKE Teil F)

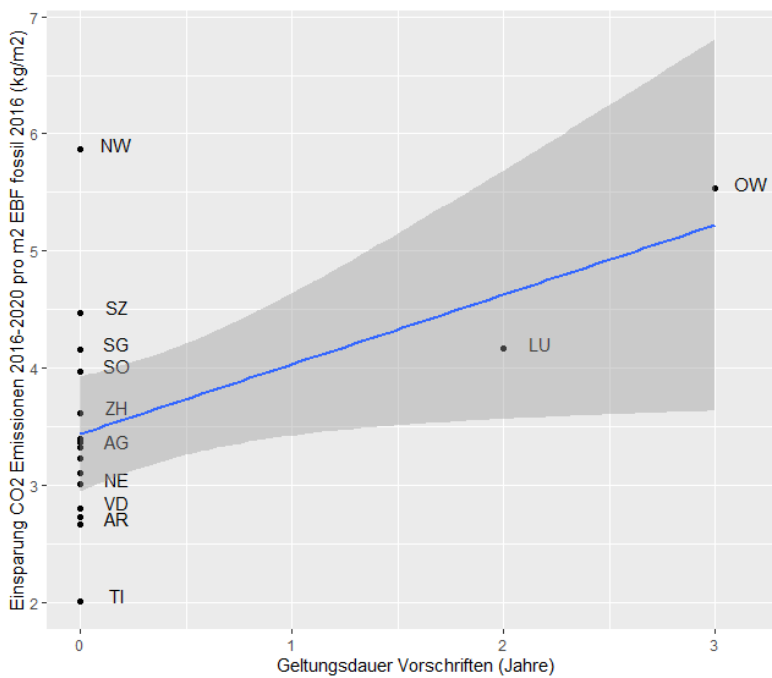


Abbildung 9: Streudiagramm für den Zusammenhang zwischen der Einsparung von CO₂-Emissionen und der Anzahl Jahre der Einführung von MuKE Teil F.

Auch bei den Fördermassnahmen lässt sich die erwartete Wirkung erkennen, wenn auch weniger ausgeprägt wie bei den Vorschriften (Abbildung 10). Je höher die erzielte CO₂ Wirkung (berechnet auf Basis des HFM 2015) pro fossiler EBF im Kanton ist, desto grösser sind die Einsparungen von CO₂-Emissionen im Kanton.

Einfluss von Fördermassnahmen

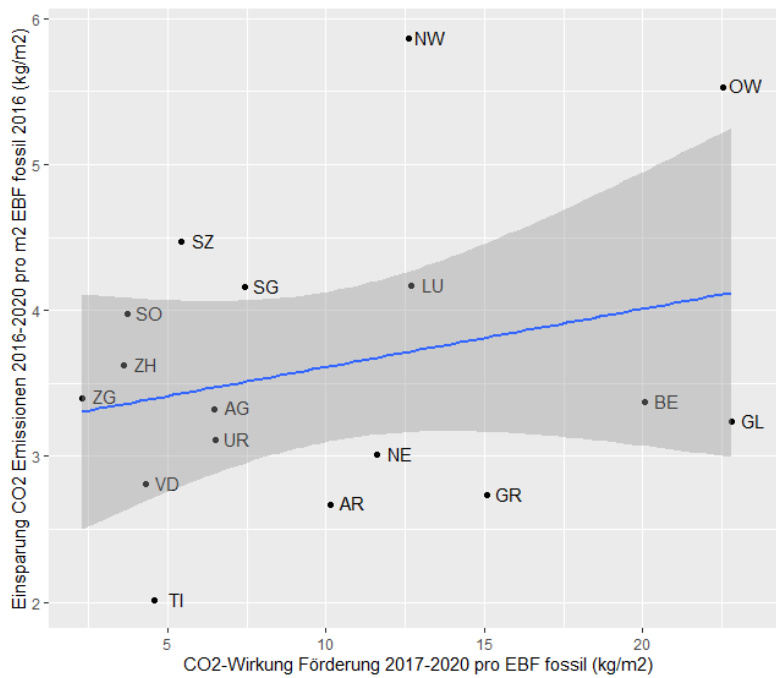


Abbildung 10: Streudiagramm für den Zusammenhang zwischen der Einsparung von CO₂-Emissionen und den CO₂Wirkungen pro fossiler EBF.

Die beiden Kontrollvariablen hingegen zeigen einen positiven Zusammenhang. Steigt der Anteil von Gas pro fossiler EBF, so sinken die Einsparung der CO₂-Emissionen (Abbildung 11). Gleiches lässt sich beim Anteil Stadt beobachten – je grösser der Anteil der städtischen Bevölkerung im Kanton ist, desto geringer ist auch die Einsparung der CO₂-Emissionen (Abbildung 12).

Einfluss der Kontrollvariablen: Anteil Gas und Stadt

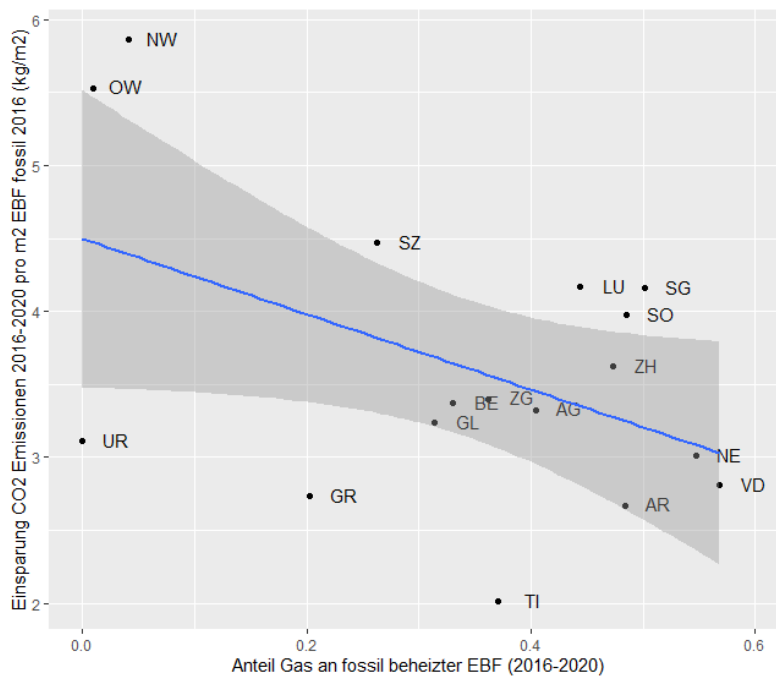


Abbildung 11: Streudiagramm für den Zusammenhang zwischen der Einsparung von CO₂-Emissionen und dem Anteil der Gasversorgung an fossil beheizten EBF.

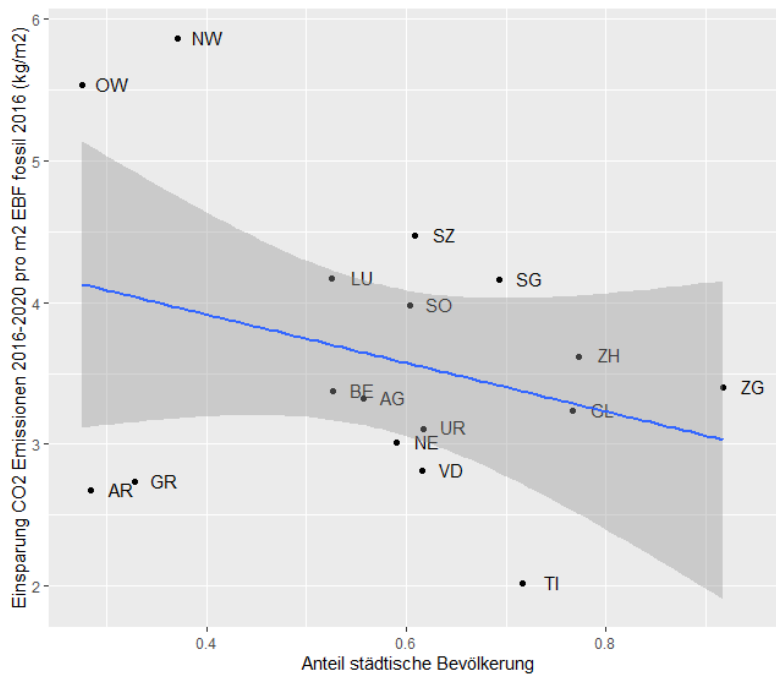


Abbildung 12: Streudiagramm für den Zusammenhang zwischen der Einsparung von CO₂-Emissionen und dem Anteil der städtischen Bevölkerung.

Die sich in den Streudiagrammen abzeichnenden Zusammenhänge zwischen der Einsparung von CO₂-Emissionen in den Kantonen und der möglichen Einflussfaktoren zeigen sich auch in der Regressionsanalyse (siehe Tabelle 4). Die oben dargestellte Schätzggleichung wird dabei in fünf Sets geschätzt, wobei zuerst die Einflüsse der beiden hauptsächlichen Variablen (Vorschriften und Förderung) jeweils separat geschätzt werden und dann gemeinsam (Set 3). In Set 4 und Set 5 werden der Einfluss der Vorschriften zusammen mit den Kontrollvariablen (Anteil Gas bzw. Anteil Stadt) geschätzt. Aufgrund der bestehenden Datenlagen können insgesamt nur 17 Beobachtungen (also 17 Kantone) verwendet werden. Diese geringe Anzahl an Beobachtungen sollte bei der Interpretation und der Einordnung der Ergebnisse berücksichtigt werden.

Stufenweises Vorgehen bei der Schätzung

Die Anzahl der Jahre erweist sich dabei als alleiniger Schätzer als statistisch signifikant auf dem 5% Signifikanzniveau. Mit jedem zusätzlichem Jahr steigt die Einsparung an CO₂-Emissionen im Kanton um zusätzliche ca. 0.6 kg CO₂ pro fossiler EBF. Die in den Kantonen durchschnittlich beobachtete jährliche Reduktion der CO₂-Emissionen entspricht rund 0.8 kg CO₂ pro fossil beheizter Energiebezugsfläche. Dies bedeutet, dass die Vorschriften zum Heizungersatz zu rund einer Verdoppelung der jährlichen Emissionsreduktionen führen. Die Fördermassnahmen führen ebenfalls zu einer erhöhten Einsparung an CO₂-Emissionen. Diese ist allerdings nicht signifikant auf einem gewöhnlichen Signifikanzniveau (p-Wert = 0.30). Werden beide Variablen in die Schätzggleichung aufgenommen (Set 3), so bleibt die statistische Signifikanz der Vorschriften auf einem Signifikanzniveau von 10% erhalten. Die Fördermassnahmen sind weiterhin nicht signifikant auf einem gewöhnlichen Signifikanzniveau. Beide Koeffizienten zeigen jedoch weiterhin den erwarteten Zusammenhang, dass verstärkte Vorschriften und Fördermassnahmen die Einsparung an CO₂-Emissionen verstärken. Das korrigierte R², das als

Erwartete Zusammenhänge für Vorschriften und Förderung bestätigt

Bestimmtheitsmass angibt, welcher Anteil der abhängigen Variablen durch das Regressionsmodell erklärt werden kann, ist in beiden Sets mit der Fördervariable ebenfalls geringer.

Das Hinzufügen der Kontrollvariablen (Anteil Gas und Anteil Stadt) erhöht das R^2 , lässt allerdings die Signifikanz der Vorschriften sinken (Set 4 und Set 5). Der Koeffizient zeigt weiterhin den erwarteten Zusammenhang – d.h. je länger die Vorschriften in einem Kanton umgesetzt werden, desto höher sind die Einsparungen der CO_2 -Emissionen. Auch die Kontrollvariablen zeigen jeweils die erwarteten Vorzeichen: Wenn der Anteil von Gas an fossilen Energieträgern steigt, so steigen auch die CO_2 -Emissionen im Kanton (d.h. es verringern sich die CO_2 -Einsparungen). Die Veränderung des Wertes des Koeffizienten selbst und die Erhöhung des dazugehörigen p-Wertes vom Anteil Gas bei Berücksichtigung des städtischen Einflusses deutet zudem auf eine hohe Korrelation zwischen den beiden Variablen hin (Set 5), d.h. Kantone mit einem hohen Anteil an städtischer Bevölkerung weisen auch eher einen höheren Anteil an Gas als Energieträger auf.

Analyse mit weiteren Kontrollvariablen

Variable	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	Set 5
Geltungsdauer Vorschrift (Jahre)	0.5939 (0.0393)*		0.5716 (0.0842).	0.4636 (0.103)	0.3226 (0.3604)
Wirkung Fördermassnahmen (CO ₂ Wirkungen berechnet auf Basis des HFM 2015)		0.0399 (0.301)	0.0061 (0.8786)		
Anteil Gas				-1.8988 (0.145)	-1.3396 (0.3870)
Anteil städtische Bevölkerung					-1.1860 (0.5058)
Konstante	3.4420 (0.0000)***	3.2134 (0.0000)***	3.3872 (0.0000)***	4.1282 (0.0000)***	4.8918 (0.0015)**
<i>Regressionsstatistiken</i>					
Anzahl Beobachtungen	17	17	17	17	17
F-Statistik	5.097 (0.0393)*	1.148 (0.3009)	2.395 (0.1275)	3.976 (0.0429)*	2.706 (0.0884).
Korrigiertes R ²	0.2039	0.0092	0.1485	0.2712	0.2424

p-Wert in Klammern, wobei '***', '**', '*', '.' für Signifikanzlevel 0.001, 0.01, 0.05 und 0.1 stehen.

Tabelle 4: Regressionsergebnisse Kleinstquadratschätzung

Insgesamt sollten die Ergebnisse mit Vorsicht interpretiert werden. Zwar weisen die unabhängigen Variablen in den meisten Sets das erwartete Vorzeichen auf, sie sind aber häufig nicht signifikant auf einem konventionellen Signifikanzniveau. Auch erweist sich die Regressionsgleichung insgesamt im Grossteil der Sets als nicht statistisch signifikant (siehe F-Statistik), d.h. die Nullhypothese, dass alle Koeffizienten gleich 0 sind, lässt sich nicht auf einem konventionellen Signifikanzniveau ablehnen.

Vorsicht bei der Interpretation der Ergebnisse

5. Fazit der Wirkungsanalyse

Die vorliegende Wirkungsanalyse zeigt, dass sowohl die CO₂-Emissionen als auch der Energieverbrauch im Zeitraum von 2016 bis 2020 massgeblich gesenkt werden konnten. Bestehende Grundlagen und die hier vorgestellten Analysen belegen den wichtigen Beitrag von Fördermassnahmen und kantonalen Klima- und Energievorschriften. Mit Einführung dieser Vorschriften können die bereits erzielten jährlichen Reduktionen der CO₂-Emissionen rund verdoppelt werden. Diese Wirkungsschätzung wurde mit zwei Methoden hergeleitet: erstens mit einem einfachen Wirkungsmodell auf Basis erhobener Daten zum Heizungersatz in Kantonen mit umgesetzter Vorschrift (vgl. Kapitel 3.2) und zweitens mit der in Kapitel 4.2 beschriebenen statistischen Analyse. Damit sind diese Vorschriften eine wirkungsvolle Ergänzung der bereits langjährig bewährten Fördermassnahmen.

Bestätigung der Wirkung von Vorschriften und Fördermassnahmen

Die hier aufgezeigte statische Analyse kann als erster Schritt in einer detaillierten Betrachtung von Vorschriften und Förderung im Gebäudebereich sowie weiterer Einflussfaktoren auf CO₂-Emissionen angesehen werden. Methodisch liefert die Analyse wertvolle Erkenntnisse. Belastbare Aussagen lässt die begrenzte Datenlage scheinbar noch nicht zu. Allerdings weisen die teilweise signifikanten Ergebnisse bereits auf die hohe Bedeutung der kantonalen Vorschriften zum Heizungersatz für eine Reduktion von CO₂-Emissionen hin. Auf eine Erweiterung der Analyse auf die Entwicklung des Energieverbrauchs in den Kantonen wurde aufgrund der begrenzten Datenlage verzichtet. Für robustere Resultate der statistischen Analyse müsste die Anzahl Beobachtungen erhöht werden. Da die Vorschriften zum Heizungersatz bis im Jahr 2020 erst in einer kleinen Anzahl Kantone umgesetzt wurde und die Standardmethode diese jährlichen Entwicklungen nur bedingt abbildet, muss diese statistische Analyse in Zukunft wiederholt werden. Dies kann bei einer wiederholten Durchführung bei der nächsten Berichterstattung erfolgen. Voraussetzung ist, dass reale Entwicklungen bspw. zum Heizungersatz auch tatsächlich in den Daten der Berichterstattung abgebildet werden. Eine mögliche Quelle dafür sind die kantonalen Daten zum Heizungersatz, welche für die in Kapitel 3 vorgestellte kantonale Grundlagenstudie ausgewertet wurden.

Verbesserung der Datengrundlagen für robustere Resultate