Universität Zürich[UZH]

Abschlussarbeit

zur Erlangung des

Master of Advanced Studies in Real Estate

Das neue Energiegesetz des Kantons Basel-Stadt

Wirkung auf Energieverbrauch und CO_2-Emissionen in Wohnbauten

Verfasser: Mettler Michael

michael.mettler@solnet.ch

Eingereicht bei: Prof. Dr. Rolf Wüstenhagen

Abgabedatum: 15. September 2019

Dank

Ein grosser Dank geht an meinen Referenten *Prof. Dr. Rolf Wüstenhagen* von der Universität St. Gallen für die Betreuung der Arbeit und an *Dr. Diego Sandoval* vom Unternehmen BS2 für die Zusammenarbeit bei der Modellierung des Absenkpfades.

Ein Dank geht auch an *Alt-Grossrat Aeneas Wanner* für seine Verfügbarkeit zu einem Gespräch, an *Roger Nufer* und *Claudio Menn* vom Bundesamt für Energie für den Anstoss zu dieser Arbeit, an *Marcus Diacon* und *Christian Mathys* vom baselstädtischen Amt für Umwelt und Energie für die breitwillige Unterstützung sowie an *Dr. phil. Lukas Calmbach* und *Lukas Büchel* vom Statistischen Amt Basel-Stadt für die umfassende Datenlieferung.

Gerne möchte ich schliesslich die Gelegenheit nutzen, dem *CUREM und dessen Dozierenden* einen Dank auszusprechen. Die breitgefächerten Vorlesungen haben wertvolle Einblicke in die gesellschaftlichen, ökonomischen, rechtlichen und politischen Zusammenhänge rund um Immobilien vermittelt.

Inhaltsverzeichnis

I. Abkürzungsverzeichnis IV
II. Verzeichnis physikalischer Grössen V
III. Abbildungsverzeichnis VI
IV. Tabellenverzeichnis VII
V. Executive Summary VIII
1 Einleitung 1
1.1 Einordnung des Themas 1
1.2 Problemstellung 5
1.3 Forschungsfrage und Zielsetzung 8
1.4 Abgrenzung 8
1.5 Vorgehen 9
2 Grundlagen 12
2.1 Massgebliche Normen und Regelwerke 12
2.2 Gesetzliche Rahmenbedingungen 14
2.3 Datenlage 16
3 Forschungsstand 18
3.1 Effizienzanalysen 18
3.2 Wirkungsanalysen 20
4 Methode 21
4.1 Datenaufbereitung 21
4.2 Mathematische Basis 24
4.3 Quantitative Annahmen 26
4.4 Methode der Empirischen Untersuchung 28
4.5 Stochastisches Modell 29
5 Ergebnisse 31
5.1 Ergebnisse der empirischen Untersuchung 33
5.2 Ergebnisse der stochastischen Modellierung 34
6 Schlussbetrachtung 39
6.1 Fazit 39
6.2 Vorgehensweise 39
6.3 Ausblick 40
7 Literaturverzeichnis 43

Anhang 1 – Wichtigste Neuerungen im Energiegesetz Kanton Basel-Stadt 47
Anhang 2 – Methodik Energiestatistik Basel-Stadt..... 52
Anhang 3 – Tabellen..... 53
Anhang 4 – Verzeichnis mitgelieferter Daten..... 57

I. Abkürzungsverzeichnis

AUE	Amt für Umwelt und Energie (Basel-Stadt)
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BFE	Bundesamt für Energie
BFS	Bundesamt für Statistik
CO_2-Gesetz	Bundesgesetz über die Reduktion der CO_2-Emissionen
EBF	Energiebezugsfläche, *s. auch Verzeichnis physikalischer Grössen*
EF	Emissionsfaktor, *s. auch Verzeichnis physikalischer Grössen*
EGID	Eidgenössischer Gebäudeidentifikator
EKZ	Energiekennzahl, *s. auch Verzeichnis physikalischer Grössen*
EnDK	Konferenz kantonaler Energiedirektoren
EnG	Energiegesetz
EnV	Energieverordnung
FEKO	Feuerungskontrolle
GEAK	Gebäudeenergieausweis der Kantone
GWR	Gebäude- und Wohnungsregister
HFM	Harmonisiertes Fördermodell der Kantone
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IWB	Industrielle Werke Basel
JAZ	Jahresarbeitszahl
KBOB	Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren
MuKEn	Mustervorschriften der kantonalen Energiedirektoren
PV-Anlage	Photovoltaik-Anlage
ST-Anlage	Solarthermie-Anlage
SIA	Schweizer Ingenieur- und Architektenverein
THGE	Treibhausgasemissionen

II. Verzeichnis physikalischer Grössen

Begriff & Erklärung[1]	Abkürzung	Symbol	Einheit
CO_2-Äquivalente			
Relativer Beitrag von Emissionen zum Treibhauseffekt gemessen am Effekt von Kohlendioxid. *Indikator für ökologische Wirkung*	CO_2e	*m*	gCO_2e tCO_2e
Emissionsfaktor			
Freigesetzte CO_2-Äquivalente pro kWh Primärenergie, Endenergie oder Nutzenergie *Indikator für Wirkungspfad* *CO_2-Intensität*	EF	*k* (k_r)	gCO_2e/kWh
Endenergiebedarf, für Wärme			
Jährlicher Energiebedarf für Raumwärme und Warmwasser an der Parzellgrenze oder im Tank inkl. Wärme der Umwelt.	E_{end}	*Q* (Q_{HWW})	kWh/a
Energiebezugsfläche			
Summe aller Geschossflächen inkl. Wände, für deren Nutzung das Beheizen bzw. Klimatisieren notwendig ist.	EBF	*A* (A_E)	m^2
Energiekennzahl			
Jährlicher Endenergieverbrauch bezogen auf die Energiebezugsfläche. *Indikator für Wirkungspfad* *Energieeffizienz*	EKZ (Q)	*E*	kWh/m^2a
Vermeidungskosten, Brutto			
Verhältnis von Kosten für eine Massnahme zur CO_2-Reduktion der Massnahme über die Dauer der Wirkung der Massnahme *Indikator für ökonomische Wirkung*	-	-	CHF/tCO_2e

[1] Abkürzungen und Symbole des SIA in Klammern

III. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Umsetzung der MuKEn in den Kantonen, Stand Mai 2019 3

Abbildung 2 Energieverbrauch und CO_2-Intensität als kritische Grössen für die CO_2-Reduktion 6

Abbildung 3 Forschungsdesign mit Kernelementen Paneldesign und Dekompositionsanalyse 10

Abbildung 4 DvD-Ansatz zur Berichtigung der Wirkung von Fördergeldern auf Sanierungen 10

Abbildung 5 Vorgehen bei alten oder defekten fossilen Heizungen 16

Abbildung 6 Schematische Darstellung der errechneten und effektiven Energiebezugsfläche 17

Abbildung 7 Energieverbrauch und CO_2-Intensität für Wärme im Gebäudepark in Zernez 19

Abbildung 9 Aggregierter Absenkpfad, Szenario 1 – energieeffizient 35

Abbildung 10 Aggregierter Absenkpfad, Szenario 2 – ausgewogen 35

Abbildung 11 Aggregierter Absenkpfad, Szenario 3 – geringe CO_2-Intensität 35

Abbildung 12 Absenkpfad nur Effizienzmassnahmen, Szenario 1 – energieeffizient 36

Abbildung 13 Absenkpfad nur Effizienzmassnahmen, Szenario 2 – ausgewogen 36

Abbildung 14 Absenkpfad nur Effizienzmassnahmen, Szenario 3 – geringe CO_2-Intensität 36

Abbildung 15 Absenkpfad nur Wärmeerzeugerersatz, Szenario 3 – energieeffizient 37

Abbildung 16 Absenkpfad nur Wärmeerzeugerersatz, Szenario 3 – ausgewogen 37

Abbildung 17 Absenkpfad nur Wärmeerzeugerersatz, Szenario 3 – geringe CO_2-Intensität 37

Abbildung 18 Auszug nationaler Solarkataster 40

Abbildung 19 Dreidimensionales Gebäudemodell 41

IV. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Vergleich des Wärmeerzeugerersatzes nach MuKEn 2014 und im Energiegesetz des Kantons Basel-Stadt 4

Tabelle 2 Daten aus amtlichen Quellen und Beziehungen zum konsolidierten Datensatz 21

Tabelle 3 Indikatoren und Messweise für die empirische Untersuchung nach Gebäudegruppe 28

Tabelle 4 Szenarien für die stochastische Modellierung 30

Tabelle 5 Auswertung Wärmeerzeugerersatz 2016-18 (Quelle ..... Datei BS_ERSATZ_2016_2018) 31

Tabelle 6 Lebensdauer von Gas- und Ölheizungen (Quelle ..... Datei BS_FEKO_2019) 31

Tabelle 7 Sanierungsrate nach Bauteil 32

Tabelle 8 Auswertung Empirische Untersuchung 33

Tabelle 10 Zusammenfassung Ergebnisse stochastische Modellierung 38

V. Executive Summary

Das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) empfiehlt, den Nettoausstoss von Treibhausgasemissionen (THGE) bis ins Jahr 2050 auf Netto Null zu reduzieren, um irreversiblen Klimaveränderungen vorzubeugen. Der Bundesrat hat kürzlich bekannt gegeben, dass er dieser Empfehlung mit inländischen Zielen folgen möchte.

Der Handlungsbedarf beim Erreichen von Klimazielen ist bei Immobilien gross: Der Gebäudepark der Schweiz verursacht rund ein Drittel der landesweiten CO_2-Emissionen. Die CO_2-Reduktion wird in Gebäuden mit zwei wesentlichen Mitteln erreicht: Durch Isolation der Gebäudehülle und Wärmerückgewinnung (Effizienzmassnahmen) oder indem fossile Energieträger durch erneuerbare ersetzt werden (Wärmeerzeugerersatz).

Für den Gebäudebereich sind gemäss Bundesverfassung die Kantone zuständig. Diese überarbeiten gegenwärtig ihre Energiegesetze. Die kantonalen Energiedirektoren und Energiedirektorinnen empfehlen dabei eine Bestimmung, die besagt, dass bei Ersatzbeschaffungen von fossilen Heizungen ein Anteil von 10% der Wärmeerzeugung erneuerbar sein soll oder ein entsprechender Verbrauch durch Effizienzmassnahmen wettgemacht wird. Da die Bestimmung Eigentumsrechte berührt, führt sie zu politischen Kontroversen.

Der Kanton-Basel Stadt hat eine politisch breit abgestützte abweichende Regelung verabschiedet, wonach beim Wärmeerzeugerersatz 100% der Energie erneuerbar sein soll, soweit dies technisch möglich ist und keine Mehrkosten entstehen. Der Ersatz wird gefördert, so dass i.d.R. keine Mehrkosten entstehen. Der Besitzstand von Immobilieneigentümern- und Eigentümerinnen ist so monetär gewahrt.

Diese Arbeit untersucht die Wirkung des baselstädtischen Energiegesetzes auf CO_2-Ausstoss und Energieverbrauch anhand von Daten aller Wohnbauten auf dem Kantonsgebiet. Insbesondere legt sie dar, welchen spezifischen Beitrag Effizienzmassnahmen und Wärmeerzeugerersatz zur CO_2-Reduktion leisten.

In einem weiteren Schritt wird mit einer stochastischen Modellierung überprüft, ob das vom Gesetzgeber gesteckte Ziel, die Pro-Kopf-CO_2-Emission im Jahr 2050 auf eine Tonne zu reduzieren, erreicht werden kann. Es erweist sich, dass dies der Fall ist. Der Wärmeerzeugerersatz spielt dabei eine unentbehrliche Rolle.

1 Einleitung

Im Kanton Basel-Stadt wurde Ende 2016 ein tiefgreifendes Energiegesetz (EnG vom 16.11.2016, BS-SR 772.100) verabschiedet. Zielsetzung dieses EnG ist eine nachhaltige Energieversorgung, welche einerseits „langfristig zu mindestens 90% auf erneuerbare Energien und nicht anders nutzbarer Abwärme beruht“ und andererseits „eine Reduktion des CO_2-Ausstosses auf höchstens eine Tonne pro Einwohnerin oder Einwohner und Jahr bis 2050“ bewirkt (Abs. II § 2 Ziff. 1 Lit. a und b EnG).

Diese Arbeit zieht ein erstes Fazit zur Wirkung des Gesetzes. Anhand von Daten aller Wohnbauten auf dem Kantonsgebiet wird einerseits die ökologische Wirkung auf die CO_2-Emissionen und den Energieverbrauch ermittelt und andererseits die ökonomische Effektivität staatlicher Förderung quantifiziert.

1.1 Einordnung des Themas

Im vergangenen Herbst hat das IPCC einen auf über 6'000 wissenschaftlichen Studien abgestützten Sonderbericht veröffentlicht. Das IPCC legt dar, dass *rasche und beispiellose Änderungen in allen Aspekten der Gesellschaft* notwendig sind, um die globale Klimaerwärmung auf 1.5°C über vorindustriellen Werten zu begrenzen. Beim Überschreiten dieses Grenzwertes würden die negativen Folgen des Klimawandels deutlich höher ausfallen und das *Risiko irreversibler Änderungen* steigen[2]. Dem Bericht zufolge ist es notwendig, CO_2-Emissionen bis 2030 um 45% gegenüber dem Jahre 2010 zu senken und im Jahre 2050 Nettoemissionen von Null zu erreichen (Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, 2018).

Die Schweiz hat sich im Übereinkommen von Paris zusammen mit 195 anderen Staaten zur sukzessiven Reduktion von Treibhausgasemissionen für die Zeit nach 2020 verpflichtet[3]. Mit nationalen Beiträgen soll die durchschnittliche globale Erwärmung im Vergleich zur vorindustriellen Zeit auf deutlich unter 2°C begrenzt werden, wobei eine Deckelung des Temperaturanstiegs bei 1.5°C angestrebt wird[4].

---

[2] Klimaszenarien für die Schweiz sind beim National Center for Climate Services (NCCS) online abrufbar.
[3] Frühere Verpflichtungen wurden im Rahmen der UNO-Klimarahmenkonvention von 1992 und dem Kyoto-Protokoll von 1997 über die Perioden 2008-12 und 2013-2020 eingegangen.
[4] Mit der Ratifizierung des Übereinkommens von Paris hat die Bundesversammlung dem Gesamtreduktionsziel von 50% bis 2030 gegenüber 1990 zugestimmt. Der Bundesrat hat zwischenzeitlich sein Ziel für 2050 auf Netto Null Emissionen festgelegt (Bundesamt für Umwelt BAFU, 2019a).

Bei der Erfüllung des Ziels hat der Gebäudepark der Schweiz ein grosses Gewicht: Knapp 50% des schweizerischen Primärenergieverbrauchs werden für Gebäude aufgewendet (Bundesamt für Energie BFE, 2019). Rund zwei Drittel der Immobilien werden mit fossilen Brennstoffen beheizt[5] (Bundesamt für Energie BFE, 2018). Gesamthaft verursachen sie rund einen Drittel der CO_2-Emissionen (Bundesamt für Umwelt BAFU, 2019). 1.5 Mio. Häuser sind nicht oder kaum gedämmt (Gebäudeprogramm, 2017).

Die Möglichkeiten des Bundes, Klimaziele im Gebäudebereich direkt durchzusetzen sind aufgrund seiner subsidiären Rolle gemäss Bundesverfassung (BV) beschränkt: „Für Massnahmen, die den Verbrauch von Energie in Gebäuden betreffen, sind vor allem die Kantone zuständig“ (Art. 89, Abs. 4 BV vom 18.4.1999, SR 101). Klimapolitische Aufgaben werden mit dem CO_2-Gesetz und dem nationalen EnG an die Kantone übertragen. Wichtige nationale Instrumente sind zusätzlich das Gebäudeprogramm (in Zusammenarbeit mit den Kantonen) und die Forschungs-, Bildungs- und Informationsplattform EnergieSchweiz. Das Gebäudeprogramm hat die Senkung des Energieverbrauchs und des CO_2-Ausstosses von Gebäuden durch Fördermassnahmen zum Ziel. Es wird durch die Teilzweckbindung der CO_2-Abgabe und durch kantonale Kredite finanziert.

Den Kantonen kommt gemäss nationalem Energiegesetz (EnG) die Rolle zu, „günstige Rahmenbedingungen für die rationelle Energienutzung sowie die Nutzung erneuerbarer Energien im Gebäudebereich“ zu schaffen (Art. 9 EnG vom 30.9.16, SR 730.0). Seit 2015 werden die kantonalen Energiegesetze revidiert. Die wichtigsten Grundlagen für die Revision hat die Konferenz Kantonaler Energiedirektoren (EndK) erarbeitet[6]. Zentrales Regelwerk sind die Mustervorschriften der kantonalen Energiedirektoren (MuKEn). Massgebend für die neuen kantonalen Energiegesetze sind die neuen MuKEn 2014.

Die EnDK hat die Überführung der MuKEn bis spätestens 2018 in die kantonalen Gesetze gefordert. Bisher ist die MuKEn nur in sieben Kantonen ganz oder teilweise umgesetzt. In den übrigen Kantonen befindet sich die Vorlage in der Vernehmlassung oder sie wurde per Referendum abgelehnt. *Abbildung 1* zeigt den Stand der Umsetzung. Gemäss einem Rating von EBP Schweiz liegen die klimapolitischen Ambitionen im Wettbewerb der Kantone weit auseinander (EBP Schweiz AG, 2019).

---

[5] Mit über 50% steht Heizöl an erster, mit rund 25% Erdgas an zweiter Stelle als Energieträger für Wärme.
[6] Die EnDK ist um eine interkantonale Harmonisierung der Gesetze bemüht, legt Standards fest, schafft Vollzugsinstrumente und Vertritt die Interessen der Kantone gegenüber dem Bund.

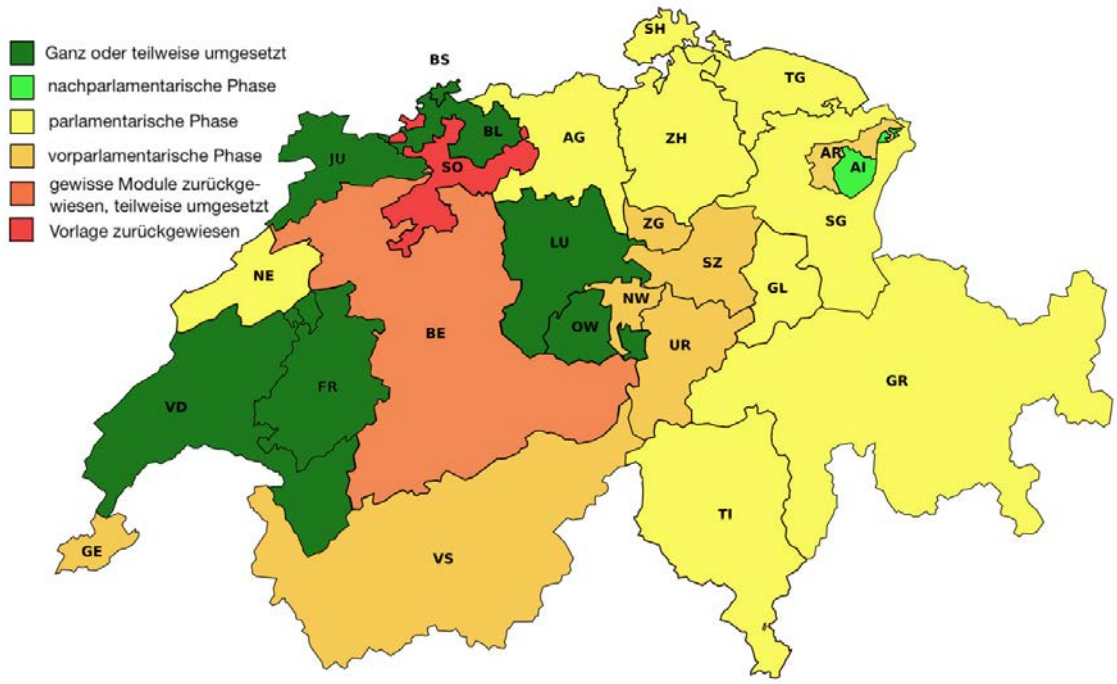


Abbildung 1: Umsetzung der MuKEn in den Kantonen, Stand Mai 2019 (AEE SUISSE, 2019)

Bei der Umsetzung der neuen MuKEn führt insbesondere *Teil F* betreffend „*Erneuerbare Wärme beim Wärmeerzeugerersatz*" zu Kontroversen. So beanstandet beispielsweise der HEV die zusätzlichen Kosten und die Beschneidung der Bestandsgarantie (Hauseigentümerverband HEV, ohne Datum). Der Grünen Partei Bern geht andrerseits Teil F zu wenig weit. Sie fordert einen höheren Anteil erneuerbarer Energien (Grüne Kanton Bern, 2016). Die Bestimmungen von Teil F sind bis dato nur in den Kantonen Jura, Luzern, Obwalden sowie, in abgeänderter Form, in Basel-Stadt umgesetzt.

Teil F der MuKEn fordert: „Beim Ersatz des Wärmeerzeugers in bestehenden Bauten mit Wohnnutzung sind diese so auszurüsten, dass der Anteil an nichterneuerbarer Energie 90% des massgebenden Bedarfs nicht überschreitet" (Art 1.29 MuKEn 2014). Für den Vollzug stellt der Teil F elf evtl. 11 Standardlösungen (teilweise mit Effizienzsteigerung statt Wärmeerzeugerersatz) und alternativ eine Zertifizierung (Minergie oder minimal Klasse D in der GEAK-Gesamtenergieeffizienz[7]) zur Wahl.

Die EndK hält fest, dass ca. 1.1 Mio. Heizkessel in Schweizer Wohnbauten installiert sind. Etwa 4% davon werden jährlich ersetzt. Die Entwicklung führt gemäss EndK dazu, „dass nach 25 Jahren bei praktisch allen Wärmeerzeugungsanlagen ein nennenswerter

[7] Der GEAK ist als Basisprodukt eine Energieetikette für Wohnbauten. Die Gesamtenergieeffizient wird auf einer Skala von A-G bewertet.

Anteil der Wärme erneuerbar erzeugt oder durch Effizienzmassnahmen eingespart wird“[8] (Teil F, MuKEn 2014).

Das EnG des Kantons BS sieht für Teil F eine abweichende Regelung vor. Im Gegensatz zur MuKEn fordert es nicht 10% erneuerbare Energie, sondern 100%: „Beim Ersatz des Wärmeerzeugers in bestehenden Bauten ist dieser auf erneuerbare Energien umzustellen, soweit es technisch möglich ist und zu keinen Mehrkosten führt“ (Abs. IV § 7 Ziff. 1 EnG). Standardlösungen und Befreiungen mit Pflicht zu Effizienzmassnahmen sind in der Energieverordnung (EnV) festgehalten. In der EnV vom 29.8.2017, BS-SR 772.110, sind auch Förderungen für erneuerbare Energien beim Wärmeerzeugerersatz geregelt. Mit diesem Mittel kann der Besitzstand beim Wärmeerzeugerersatz monetär gewahrt werden. *Tabelle 1* stellt den Ansatz der MuKEn und des Kantons Basel-Stadt gegenüber.

	MuKEn 2014 Teil F	**EnG Kanton Basel-Stadt**
Heizungsersatz	10% erneuerbar	100% erneuerbar
Anforderung (alternativ)	- Standardlösung mit Anteil ern. Energie - Standardlösung mit Effizienzsteigerung - Minergie-Zertifikat - GEAK-Gesamtenergieeffizienz ≥ Klasse D	- Wärmepumpe - automatische Holzfeuerung - Fernwärme (Anrechnung 100% erneuerbar) - Abwärme aus nicht fossilen Prozessen
Befreiung (alternativ)	- Bauten mit gemischter Nutzung und Wohnanteil uner 150m² EBF - ausserordentliche Verhältnisse	- technisch nicht machbar - Mehrkosten
Anforderung bei Befreiung	keine	- Standardlösung mit 20% besserer Effizienz - Minergie-Zertifikat - GEAK-Gesamtenergieeffizienz ≥ Klasse C
Förderung Heizungsersatz	keine Förderung der *vorgeschriebenen* Massnahmen	Förderung der *bedingt vorgeschriebenen* Massnahmen

Tabelle 1: Vergleich des Wärmeerzeugerersatzes nach MuKEn 2014 und im Energiegesetz des Kantons Basel-Stadt

Die abweichende Regelung im Kanton Basel-Stadt überzeugte Vertreter des gesamten Interessensspektrums: die politischen Parteien, die Initianten und Initiantinnen der Initiative „Basel erneuerbar“, den Hauseigentümerverband Basel-Stadt, den Gewerbeverband Basel-Stadt und die Handelskammer beider Basel (Gewerbeverband Basel-Stadt, 2016; SDA, 2016).

Das Beispiel Basel ist spannend, weil dessen EnG trotz tiefgreifender Bestimmung zum Wärmeerzeugerersatz breite Unterstützung fand, während in anderen Kantonen die klar mildere Bestimmung in Teil F der MuKEn politisch umstritten ist (Energie 360°, 2019).

[8] Die Aussage muss relativiert werden, da Gebäude ab Klasse D der GEAK-Gesamtenergieeffizienz von der Anforderung befreit sind.

Daten aus dem Kanton Zürich zeigen, dass fossil befeuerte Heizungsanlagen ohne Vorschriften zum Wärmeerzeugerersatz in 94% der Fälle wieder durch fossil befeuerte Anlagen ersetzt werden (Gruenberg + Partner AG, 2018). Derweil beweist die Forschung, dass der Wärmeerzeugerersatz als Mittel zur Senkung der CO_2-Emissionen bei Altbauten essenziell ist (Mavromatidis, Orehounig, Richner, & Carmeliet, 2016, S. 350).

1.2 Problemstellung

Die Sanierungsrate von Wohnbauten liegt in der Schweiz je nach Bauperiode und Gebäudekategorie bei 0.8-1.2% (TEP Energy, 2014)[9]. Die Ersatzrate fossiler Heizkessel und Brenner ist wesentlich höher. Die Anlagen erreichen das Ende ihrer Lebensdauer bereits nach ca. 20 Jahren (Mieterinnen- und Mieterverband MV & HEV Schweiz, 2016)[10]. Es kann somit vermutet werden, dass Vorschriften zum Wärmeerzeugerersatz wesentlich schneller eine Klimawirkung entfalten als geeignete Rahmenbedingungen für Dämmmassnahmen.

Zur empirischen Prüfung der Effekte sind drei grundlegende Angaben zu Gebäuden erforderlich: Die CO2-Intensität der Wärmeerzeugers, den Energieverbrauch und die Energiebezugsfläche (EBF, Definition s. II Verzeichnis physikalischer Grössen). Für die letzten beiden Grössen ist die Datenlage bei der öffentlichen Hand i.d.R. unbefriedigend (econcept AG & Amstein+Walthert, 2007; Umwelt und Energie UWE Luzern, 2013).

In der Stadt-Basel liegen für den Energieverbrauch günstige Daten vor. Rund zwei Drittel des Gebäudeparks ist mit Fernwärme oder Gas versorgt. Der leitungsgebundene Verbrauch dieser Energieträger wird periodisch von den Industriellen Werken Basel (IWB) erhoben und dem Statistischen Amt des Kantons Basel-Stadt für deren Energiestatistik übermittelt.

Gute Daten vorausgesetzt, können die Effekte von *Effizienzmassnahmen* und *Wärmeerzeugerersatz* desaggregiert werden. Dazu dient eine Formel des Ökonomen Yoichi Kaya, die Kaya-Identität (Kaya, 1990). Diese zeigt, dass die CO_2-Emissionen einer Gesellschaft auf vier Faktoren beruhen[11]:

---

[9] Bemessungsgrundlage sind die aggregierten flächengewichteten Massnahmen.
[10] Der Richtwert wird in dieser Arbeit empirisch überprüft.
[11] In diesem Abschnitt werden in Abweichung zur restlichen Arbeit die Symbole von Kaya verwendet.

$$F = P \times \frac{G}{P} \times \frac{E}{G} \times \frac{F}{E}$$

$\frac{G}{P}$: GDP pro Kopf $\frac{E}{G}$: Energieintensität des GDP $\frac{F}{E}$: CO_2-Intensität der Energie

F: CO_2-Emissionen P: Bevölkerung G: GDP E: Energieverbrauch

Mavromatidis e al. (2016) passen die Formel für den Gebäudebereich an indem sie den Faktor GDP mit der beheizten Fläche austauschen. So wird der zweite Faktor zur Energiekennzahl (EKZ) des Gebäudes. Es resultieren die Formeln:

$$F = P \times \frac{A}{P} \times \frac{E}{A} \times \frac{F}{E}$$ vereinfacht ohne Faktor Bevölkerung: $F = A \times \frac{E}{A} \times \frac{F}{E}$

$\frac{A}{P}$: Fläche pro Person $\frac{E}{A}$: Energiekennzahl $\frac{F}{E}$: CO_2-Intensität der Energie

F: CO_2-Emissionen P: Bevölkerung A: beheizte Fläche E: Energieverbrauch

Der Flächenbedarf pro Person und das Bevölkerungswachstum wird bei Mavromatidis et al. entsprechend der Formel rechts nicht berücksichtigt. Es verbleiben so drei Faktoren. Weil der Faktor beheizte Fläche sich mit wachsendem Siedlungsgebiet ausweitet, müssen die Faktoren Energieverbrauch (technisch: EKZ, s. Verzeichnis II – Physikalische Grössen) und CO_2-Intensität um so stärker vermindert werden, um Klimaziele zu erreichen. Das kritische Zusammenspiel der Faktoren Energieverbrauch und CO_2-Intensität ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Hyperbeln setzen sich aus Punkten identischer flächenbezogener CO_2-Emissionen zusammen.

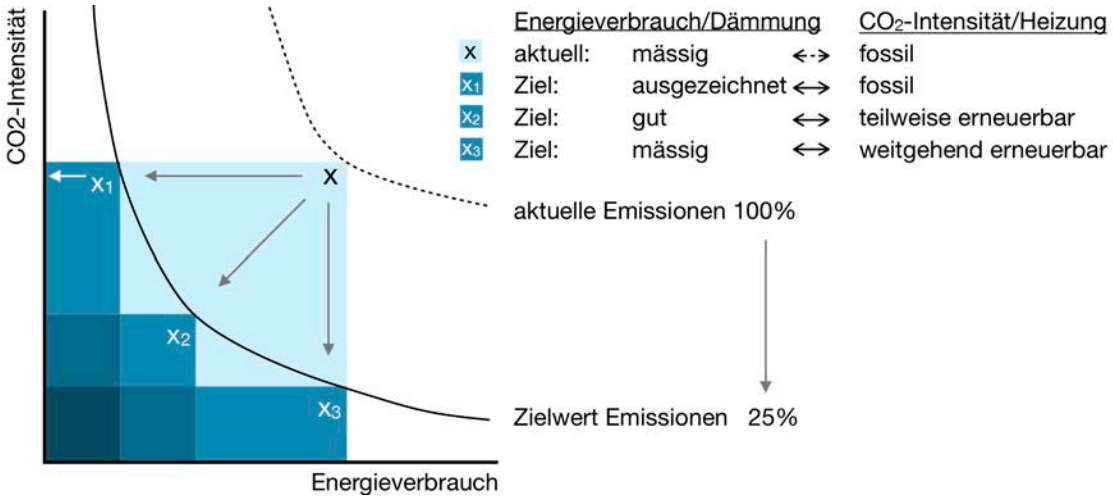


Abbildung 2: Energieverbrauch und CO_2-Intensität als kritische Grössen für die CO_2-Reduktion (in Anlehnung an Mavromatidis et al., S. 346, 2016)

Die Abbildung zeigt, dass beim Ersatz eines fossilen Wärmeerzeugers mit gänzlich erneuerbarer Energie (Verschiebung von „x“ über „x_1“ hinaus) die CO_2-Emissionen der Heizung auf Null sinken. Bei Effizienzmassnahmen an Altbauten (Verschiebung von „x“ nach „x_3“) ist diese Senkung nicht möglich, da immer ein Sockelverbrauch verbleibt.

Weiter von Bedeutung ist, dass beim Wärmeerzeugerersatz zusätzlich zu einer Minderung der CO_2-Intensität meistens eine technische Effizienzsteigerung erzielt wird. Dies ist namentlich beim Einsatz von Wärmepumpen der Fall[12].

Der jeweilige Beitrag der beiden Wirkungspfade Effizienzmassnahmen und Wärmeerzeugerersatz zur CO_2-Reduktion wurde von Mavromatidis et al. (2016) auf Basis von Erhebungen im Dorf Zernez modelliert. Indessen gibt es keine rein empirischen Untersuchungen der beiden Effekte anhand eines repräsentativen Portfolios.

In den kantonalen Wirkungsanalysen zu Händen des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) sind die Effekte aggregiert (ECOSPEED AG & TEP Energy, 2016; INFRAS, 2013). EBP Schweiz AG (2018) stützt ihre Analyse „Wirkung der Klima- und Energiepolitik in den Kantonen“ auf Netzmodelle, in welche Daten der Kantone eingespeist werden. Die Ergebnisse werden an aggregierten nationalen Verbrauchsdaten kalibriert.

Aus ökonomischer Sicht interessiert eine von Martin Jakob am Center for Energy Policy and Economics verfasste Studie (Jakob, 2006). Sie zeigt die Grenzkosten und Grenznutzen verschiedener Massnahmen wie Fensterersatz, Fassadendämmung und Wärmeerzeugerersatz.

Nufer & Baumgartner (2018) untersuchen an einem Fallbeispiel die Vermeidungskosten. Diese definieren die Autoren so: „Die CO_2-Vermeidungskosten werden nach der Methode der Grenzkostenbetrachtung als Differenzbetrachtung zwischen einem zu definierenden Massnahmenpaket als Referenzfall und einer Variante mit zusätzlichen Massnahmen, die für die Zielerreichung erforderlich sind, ermittelt. Die CO_2-Vermeidungskosten werden als Quotient der Mehrkosten der Massnahme und der durch die Massnahme zusätzlich erreichten Emissionseinsparung in CHF pro Tonne CO_2e angegeben“ (S. 217). Der Begriff wird von TEP Energy (2011) und Ecoplan (2012) weiter differenziert.

---

[12] Je nach Wärmequelle werden typische Wirkungsgrade von 2.8 bis 3.9 erzielt (KBOB 2009/1:2016, Empfehlung Ökobilanzdaten im Baubereich).

1.3 Forschungsfrage und Zielsetzung

Diese Arbeit untersucht die Wirkung des EnG Kanton Basel-Stadt auf die CO_2-Reduktionn der Wohnhäuser im Kantonsgebiet. Dabei werden die Beiträge von Bestimmungsfaktoren zur Effizienzsteigerung solchen zum Wärmeerzeugerersatz gegenübergestellt.

Indikatoren für die *ökologische Wirkung* des Gesetzes sind neben der CO_2-Reduktion auch der Energieverbrauch. Als *ökonomischer Aspekt* wird die Effektivität der Förderung von Sanierungsmassnahmen über CO_2-Vermeidungskosten quantifiziert.

Mit Blick auf kantonale Gesetzesrevisionen, auf das hängige CO_2-Gesetz und die Energiestrategie 2050 soll die vorliegende Arbeit folgende Fragen beantworten:

1) Welche Wirkung entfalten gesetzliche Bestimmungen zur *Effizienzsteigerung*?

2) Welche Wirkung entfalten gesetzliche Bestimmungen zum *Wärmeerzeugerersatz*?

3) Kann das oben erwähnte Klimaziel bis zum Jahr 2050 im Gebäudebereich anteilsmässig erreicht werden?

1.4 Abgrenzung

Die Untersuchung umfasst etwas knapp 25'000 Wohnbauten im Kanton Basel-Stadt, welche im Gebäude- und Wohnungsregister (GWR) als Einfamilienhaus (EFH), als Mehrfamilienhaus (MFH) oder als EFH/MFH mit Nebennutzung erfasst sind.

Für die Raumwärme und das Warmwasser fallen nur die primären Wärmeerzeuger gemäss GWR-Eintrag und die Solarthermie in Betracht. Der Fokus liegt auf dem Energieverbrauch und den CO_2-Emissionen im Betrieb der Liegenschaften. Die in Anlagen und Bauteilen enthaltene graue Energie ist nicht berücksichtigt.

Die *ökonomische Betrachtung* fokussiert auf die CO_2-Vermeidungskosten. Die Vermeidungskosten sind brutto als reine Kosten für die CO_2-Einsparung gerechnet.

Die Wirkung des EnG auf die Privatwirtschaft (z.B. Einfluss von Subventionen auf die Beschäftigung) wird in den Jahresberichten des Gebäudeprogramms untersucht und ist nicht Gegenstand dieser Arbeit. Ebenfalls ausser Betracht fallen finanzielle Auswirkungen des EnG für Eigentümerinnen und Eigentümer (Mitnahmeeffekte bei Subventionen, Verpflichtungen beim Wärmeerzeugerersatz, so weit diese nicht durch Subventionen

gedeckt sind). Schliesslich blendet die Arbeit qualitative *sozialen Aspekte*[13] und Kontextfaktoren aus.

1.5 Vorgehen

Die Wirkungsanalyse erstreckt sich über die *Wirkungsbereiche* Neubauten, Erweiterungsbauten und geförderte Sanierungen von Altbauten. Sie folgt den *Wirkungspfaden* CO_2-Intensität und Energieverbrauch.

Messgrösse für die CO_2-Intensität ist der Emissionsfaktor (EF) Energieträgers der Wärmeaufbereitung. Messgrösse für den Energieverbrauch ist die EKZ für Raumwärme und Warmwasser. Der CO_2-Ausstoss ist das Produkt von EF, EKZ und EBF.

Die beiden Wirkungspfade *Energieverbrauch* und *CO_2-Intensität* werden in Anlehnung an Mavromatidis et al. mittels Dekompositionsanalyse[14] desaggregiert. Die abhängigen Variablen (die *CO_2-Emission*) ist das Produkt der unabhängigen Variablen *Energieverbrauch* und *CO_2-Intensität*. Mögliche Kontrollvariablen sind Bauperiode, Sanierungsgrad, Lage (Stadt oder Landgemeinde).

Als Datengrundlage dienen gebäudescharfe Daten des GWR, Verbrauchserhebungen des Statistischen Amtes und weiter seitens Amt für Umwelt und Energie ein Auszug aller seit dem Jahre 2000 geförderten Sanierungsmassnahmen, ein Register der PV-Anlagen sowie das Register der Feuerungskontrolle (FEKO) vor. Aus dem FEKO kann die Wirkung des EnG auf den Wärmeerzeugerersatz im ersten vollen Jahr nach Inkraftsetzung des EnG abgelesen werden.

Der Energieverbrauch lässt sich aus Daten der Jahre 2012 bis 2016 ablesen. Diese fallen in die Zeit des alten EnG, wobei die Rahmenbedingungen (Fördersätze, Grenzwerte) mit geringen Abweichungen im neuen EnG übernommen wurden. Das neue EnG trat im November 2017 in Kraft. Im Jahr 2017 sind Verzerrungen zu erwarten.

---

[13] Der häufig beobachtete Mietzinsanstieg in Neubauten und sanierten Wohnungen wie auch der vergrösserte Flächenverbrauch pro Person dürfte weitgehend Marktmechanismen und mietrechtlichen Rahmenbedingungen geschuldet sein.

[14] Diese wird in der Literatur auch als Index Decomposition Analysis (IDA) bezeichnet.

Abbildung 3 zeigt das Forschungsdesign mit dem Paneldesign zur Ermittlung der energetischen Verbesserung (Differenz des Energieverbrauchs in den Jahren 2016 und 2012) und der Dekompositionsanalyse für die Faktoren Energieverbrauch und CO_2-Intensität.

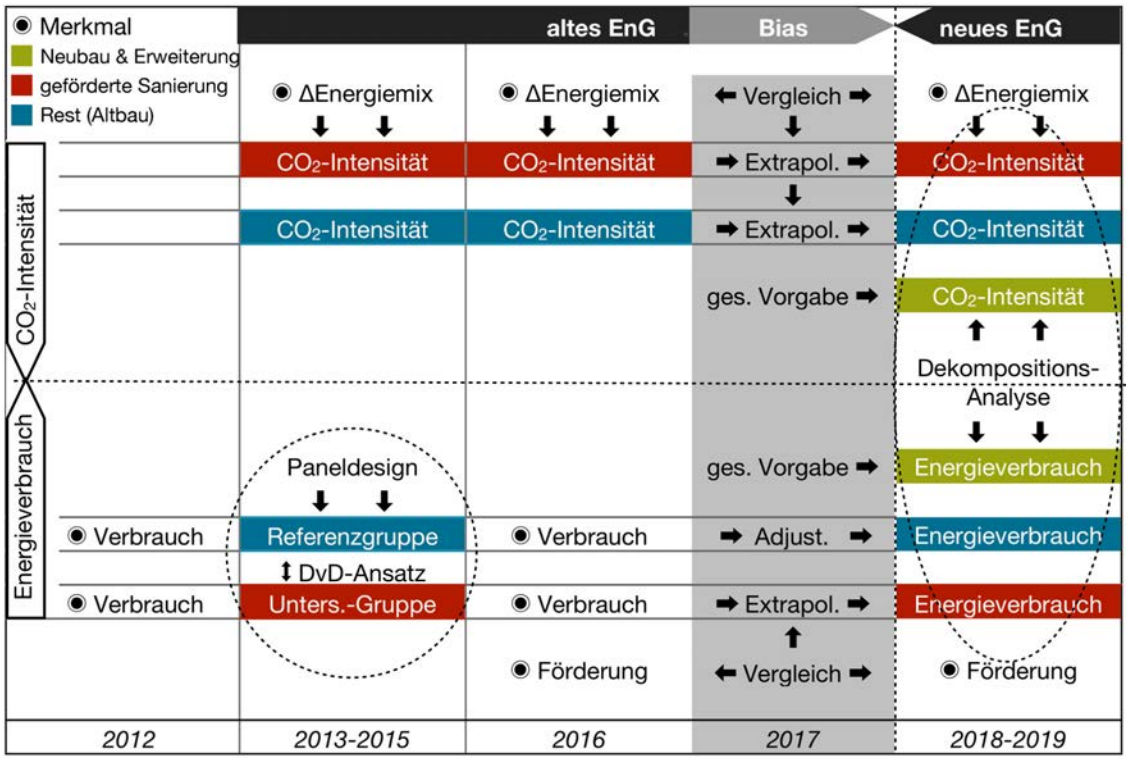


Abbildung 3. Forschungsdesign mit Kernelementen Paneldesign und Dekompositionsanalyse

Im Paneldesign wird die Verbrauchsreduktion der Untersuchungsgruppe (geförderte Sanierungen) mit dem Differenz-von-Differenz-Ansatz (DvD-Ansatz) im Umfang der Verbrauchsänderung der Referenzgruppe (übrige Altbauten) gekürzt. *Abbildung 4* illustriert die Anpassung grafisch.

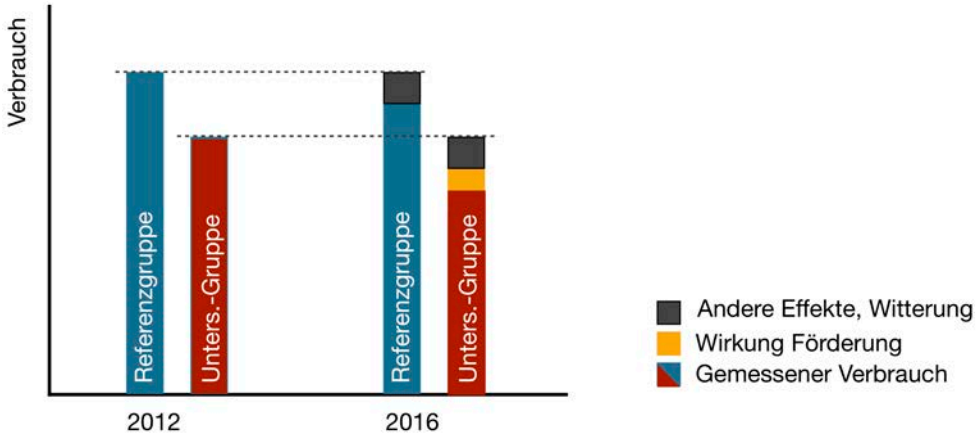


Abbildung 4: DvD-Ansatz zur Berichtigung der Wirkung von Fördergeldern auf Sanierungen

Der Abzug im DvD-Ansatz neutralisiert witterungsbedingte Effekte wie auch die Wirkung ohne Förderung getätigter Unterhalt- und Erneuerungsarbeiten. Kapitel 4 geht näher auf die Methodik ein.

2 Grundlagen

In diesem Kapitel wird zunächst der regulatorische Rahmen für die nachhaltige Entwicklung des Gebäudeparks umrissen. Darauf folgt ein Abschnitt zu den quantitativen Grundlagen und schliesslich ein Blick auf den Forschungsstand.

2.1 Massgebliche Normen und Regelwerke

Allgemeingültige Mess- und Berechnungsweisen sowie anerkannte Faktoren und Konstanten finden sich in den Empfehlungen der Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren (KBOB), den Normen des Schweizer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), den Europäischen Normen SN EN, in den MuKEn und im Harmonisierten Fördermodell (HFM) der EndK.

KBOB Empfehlungen

Die Kennwerte aus der KBOB 2009/1:2016 „Ökobilanzdaten im Baubereich“ sind die Basis für energiebezogene SIA-Normen. Sie bilden die Umweltbelastung von Baustoffen nach Stoff- und Energieflüssen ab und weisen die THGE von Brennstoffen aus.

SIA Normen

Die SIA Norm 380/1 „Grundlage für energetische Berechnungen von Gebäuden“ befasst sich systematisch mit dem Heizwärmebedarf. In den Anwendungsbereich fallen die zu erwartenden Wärme- und Energiebedarfe bei projektierten Neu- und Umbauten, der Nachweis zur Einhaltung von Grenzwerten und der Messwertvergleich von effektivem Energieverbrauch und errechnetem Energiebedarf. Demgegenüber ist die effiziente Wärmeerzeugung in der Norm SIA 384 „Heizungsanlagen in Gebäuden“ behandelt.

Die Norm SIA 2040 „Effizienzpfad Energie“ ist den Zielen der 2000-Watt-Gesellschaft[15] verpflichtet. Fokus ist die nicht erneuerbare Primärenergie bzw. die THGE von Gebäuden über deren Lebenszyklus inklusive der von den Gebäuden induzierten Mobilität. Eine Reihe weiterer Normen widmet sich der Gebäudehülle und den haustechnischen Anlagen.

[15] Die 2000-Watt-Gesellschaft strebt eine Primärenergiedauerleistung von 2000 Watt pro Person und Emissionen von maximal einer Tonne CO_2-Äquivalente pro Person und Jahr über alle Verbrauchssektoren an.

MuKEn – Mustervorschriften der Kantonalen Energiedirektoren

Die MuKEn ist ein Regelwerk, welches seit dem Jahr 2000 das Ziel verfolgt, die Energie wirkungsvoll zu nutzen und die Energievorschriften zu harmonisieren. Mit der neusten Fassung MuKEn 2014 beabsichtigt die EnDK als Herausgeberin die Neuausrichtung der kantonalen Energiepolitik auf der Basis ihrer Leitlinien. Sie streben vollzugstaugliche und messbare Vorschriften mit einer relevanten energetischen Wirkung an.

In den MuKEn wird den Kantonen ein Spielraum für massgeschneiderte Lösungen eingeräumt. Nur das Basismodul, welches den Anforderungen des Bundesgesetzes (Art. 9 Abs. 2 und 3 EnG) entspricht, muss zwingend implementiert werden. Das Basismodul regelt Anforderungen an die Gebäudehülle und die Gebäudetechnik beheizter oder gekühlter Bauten. Anwendungsbereich sind Neubauten, Umbauten und Umnutzungen von bestehenden Gebäuden sowie Neuinstallationen und Änderungen gebäudetechnischer Anlagen, auch baurechtlich nicht bewilligungspflichtige Vorgänge. Teil F des Basismoduls betreffend Wärmeerzeugerersatz wurde im Abschnitt 1.1 der Einleitung besprochen. Der Wärmeerzeugerersatz ist in zwei weiteren Modulen geregelt: Teil H verlangt den Ersatz elektrischer Widerstandsheizungen[16] innerhalb von 15 Jahren, Teil I die Sanierung ortsfester Elektroboiler.

Die Energiedirektoren geben auch Vollzugshilfen heraus. Besonders zu erwähnen ist die EN-101 (Ausgabe Dezember 2018), welche Anforderungen an die Deckung des Wärmebedarfs von Neubauten definiert. Sie schreibt vor, dass Neubauten und Erweiterungen von bestehenden Gebäuden „so gebaut und ausgerüstet werden, dass ihr Bedarf für Heizung, Warmwasser, Lüftung und Klimatisierung nahe bei Null liegt“. Diese Anforderung kann rechnerisch oder durch eine von sechs Standardlösungen erreicht werden, mitunter durch reine Effizienzmassnahmen.

HFM – Harmonisiertes Fördermodell

Das HFM 2015 ist zusammen mit den MuKEn ein Schlüsselelement der kantonalen Energiepolitik. Während die MuKEn Bauvorschriften mit energetischer Wirkung vereinheitlich, gilt das HFM der Harmonisierung der Förderung. Sie legt die Grundstruktur kantonaler Förderprogramme fest, definiert zu subventionierte Massnahmen und legt die

[16] Elektrische Widerstandsheizungen machen im Winter ca. 20% des schweizerischen Stromverbrauchs aus (MuKEn 2014).

Anforderungen für den Bezug von Fördergeldern fest. Ferner weist sie Richtwerte zur Wirkung von Förderungen auf den Energiebedarf und die CO_2-Emissionen aus. Mit einer Abschätzung der Mehrinvestitionen und der nichtamortisierbaren Kosten pro Einheit

einer Massnahme liefert sie eine quantitative Basis für die Förderbeiträge. Minimalfördersätze sind so ausgelegt, dass sie mindestens 20% der Mehrinvestitionen decken. Die Obergrenze liegt bei 50% der Gesamtinvestitionen.

Wichtiges Kriterium für eine geförderte Massnahme ist, dass sie „gegenüber einem angenommenen Referenzfall ohne Förderung eine zusätzliche Energieeinsparung, eine verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien resp. eine zusätzliche Reduktion der CO_2-Emissionen bewirkt“ (HFM 2015, S. 8). Das HFM fokussiert auf Technologien, die im Markt verfügbar sind, den breiten Marktdurchbruch aber noch nicht geschafft haben. Einzelförderungen an der Wärmeerzeugung werden nur beim Ersatz fossiler oder direkt-elektrischer Heizungen durch erneuerbare Heizungen entrichtet.

Die Fördermassnahmen sind in die Kapitel Gebäudesanierung mit Einzelmassnahmen, Gebäudesanierung mit bzw. ohne Etappierung, hocheffiziente Neubauten und Wärmenetzprojekte eingeteilt. Diesen sind insgesamt 18 Massnahmen zugewiesen, die sich über die Wärmedämmung, Wärmeerzeugerersatz, Installation erneuerbarer Wärmeerzeugungen, Solarthermie, Gesamtsanierungen, Neubauten und Wärmenetzprojekte erstrecken.

2.2 Gesetzliche Rahmenbedingungen

Einen sehr guten Gesamtüberblick über Energiepolitik, Energiesicherheit und Energiewende gibt der *Länderbericht der Internationalen Energieagentur für die Schweiz* (International Energy Agency IEA, 2018). Nachstehend wird auf die Gesetze des Bundes und des Kantons Basel-Stadt eingegangen.

Bundesgesetze

Wie in der Einleitung erwähnt, kommt dem Bund im Gebäudebereich gemäss Art. 89 Abs. 4 BV eine untergeordnete Rolle zu. Aufgaben werden mit dem CO_2-Gesetz und dem EnG an die Kantone übertragen.

Kernstück der Schweizer Klimapolitik ist das hängige CO_2-Gesetz. Im CO_2-Gesetz werden die im Rahmen des Übereinkommens von Paris national festgelegten Beiträge zur Reduktion von THGE politisch verbindlich verankert. Nach dem Willen des Bundesrates

sollen die Sektoren Gebäude, Industrie, Verkehr und Landwirtschaft entsprechend ihrer Verminderungspotenziale und Vermeidungskosten einen Beitrag zum Ziel leisten. In der Botschaft zur Totalrevision des CO_2-Gesetzes sieht der Bundesrat (2017) eine Reduktion der CO_2-Emissionen von Gebäuden um 55-60% bis 2030 vor (S. 347). „Wird dieser Zielwert nicht erreicht, sollen ab 2029 als subsidiäre Massnahme landesweit einheitliche CO_2-Grenzwerte für bestehende Bauten und für Neubauten gelten. Bei bestehenden Bauten kommen die subsidiären CO_2-Grenzwerte zum Zeitpunkt des Ersatzes von Wärmeerzeugungsanlagen für Raumwärme und Warmwasser [...] zum Tragen“ (S.322).

2013 hat der Bund mit der Botschaft Energiestrategie 2050 die Revision des Energierechts initiiert. Mit einem ersten Massnahmenpaket werden drei Ziele verfolgt: Die Steigerung der Energieeffizienz (in den Bereichen Gebäude, Mobilität, Industrie und Geräte), Massnahmen zum Ausbau der erneuerbaren Energie (durch Förderung und Verbesserung der rechtlichen Rahmenbedingungen) und schliesslich der Atomausstieg.

Gestützt auf die Energiestrategie hat das Parlament das nationale EnG einer Totalrevision unterzogen und es nach einem Referendum Anfang 2018 in Kraft gesetzt. Von direkter Bedeutung für Immobilien ist das erhöhte Budget des Gebäudeprogramms. Ausserdem sind die steuerlichen Rahmenbedingungen verbessert: Rückbaukosten für Ersatzneubauten sind unter bestimmten Voraussetzungen abzugsfähig und energetische Investitionen können auf zwei nachfolgende Steuerperioden übertragen werden.

Kantonale Gesetze

Der jährlich erscheinende Bericht „Stand der Energiepolitik und Klimapolitik in den Kantonen“ (Bundesamt für Energie BFE & Konferenz Kantonaler Energiedirektoren EnDK, 2019) vermittelt einen Überblick über Rechtsgrundlagen, Gesetzgebung, Vollzug, Strategien, Leitbilder, Planungsinstrumente und Vorbildfunktion in den einzelnen Kantonen.

Energiegesetz Basel-Stadt

Die Neuerungen des EnG vom 16.11.2016 sind, soweit sie den Gebäudebereich betreffen, in Anhang 1 zusammengefasst. Die MuKEn 14 wurde fast integral übernommen.

Die Pauschalbeitragssätze für Dämmmassnahmen sind in der neuen Verordnung geringfügig tiefer als bisher (EnV vom 29. August 2017, Anhang 11). In Abweichung zur

MuKEn 14 werden Förderungen auch für die Einzelmassnahmen Dämmung Estrichboden und Kellerdecke sowie für den Fensterersatz fortgeführt. Praktisch unverändert sind die bereits in der alten EnV hohen Anforderungen an den winterlichen Wärmeschutz. Die Feststellung ist für diese Arbeit von Bedeutung, da das Paneldesign auf Verbrauchsdaten aus der altgesetzlichen Zeit abstützt.

Eine grosse Neuerung des Gesetzes ist die Bestimmung zum Wärmeerzeugerersatz. Dieser verlangt, wie erwähnt, in Abweichung zur MuKEn 100% erneuerbare Energie statt 10%, wobei die Fernwärme als erneuerbare Energie angerechnet wird. Das Vorgehen beim Wärmeerzeugerersatz ist in *Abbildung 5* festgehalten. Um Mehrkosten vorzubeugen, wurden Förderbeiträge für Holzfeuerungen, Wärmepumpen, Solarkollektoranlagen und den Anschluss ans Wärmenetz erhöht[17].

Status fossile Heizung	Schritt 1	Schritt 2	Schritt 3
Alter < 15 Jahre			
Alter ≥ 15 Jahre	GEAK Plus als Vorbereitung für Heizungsersatz	Prüfung durch AUE	
defekt	Ersatz durdh erneuerbares Heizsystem		
Ersatz technisch nicht möglich	Meldung Heizungsfirma, Dokumentation der Hindernisse	Nachweis der Reduktion Heizenergiebedarf um 20%	Prüfung durch AUE, Genehmigung
Ersatz führt zu Mehrkosten	Meldung Heizungsfirma, Offertvergleich erneuerbar/fossil		

Abbildung 5: Vorgehen bei alten oder defekten fossilen Heizungen (in Anlehnung an das Ablaufdiagramm des Amtes für Umwelt und Energie AUE Basel-Stadt)

2.3 Datenlage

Die CO_2-Verordnung vom 30.11.2012 (Stand 19.2.19) verpflichtet die Kantone dem BAFU ab dem Jahr 2018 über die Entwicklung der CO_2-Emissionen in ihrem Gebäudepark zu berichten. Dazu benötigen die Kantone für alle Gebäude die besprochenen

[17] Die bereits im alten EnG enthaltene Pflicht, beim Ersatz von zentralen Wassererwärmern das Warmwasser neu mit mindestens 50% erneuerbarer Energie zu erzeugen, wird beibehalten. Neu ist eine Regelung, wonach für Bauten mit fossilen Heizungen, die älter als 15 Jahre sind, ein Gebäudeenergieausweis mit Massnahmenbericht (GEAK-Plus) zu erstellen ist.

Kennwerte. Ecospeed und TEP Energy (2016) haben die praktische Umsetzung der gesetzlichen Vorgabe geprüft und methodische Empfehlungen auf Basis des GWR gemacht.

Das vom Bundesamt für Statistik (BFS) geführte GWR enthält flächendeckende Daten zu Gebäuden mit Wohnnutzungen[18]. Die wichtigsten Merkmale sind Baujahr, Renovationsjahr (letzte Renovation), Gebäudefläche, Anzahl Geschosse, Anzahl Wohnungen, Heizungsart sowie Angaben zu Bauprojekten. Bei Neubauten wird auch die Energiebezugsfläche (EBF) erhoben. Bei Altbauten ist die EBF dagegen oft nicht angegeben oder ungenau.

Der Kanton Basel-Stadt setzt in seiner Energiestatistik als Bezugsfläche die Bruttogeschossfläche (BGF) ein und errechnet diese als Produkt von Grundfläche und Anzahl Geschosse. Die BGF ist eine gute obere Grenze für die EBF. *Abbildung 6* zeigt schematisch, dass je nach Gebäudeart und Lage grössere Abweichungen gegen unten zu erwarten sind.

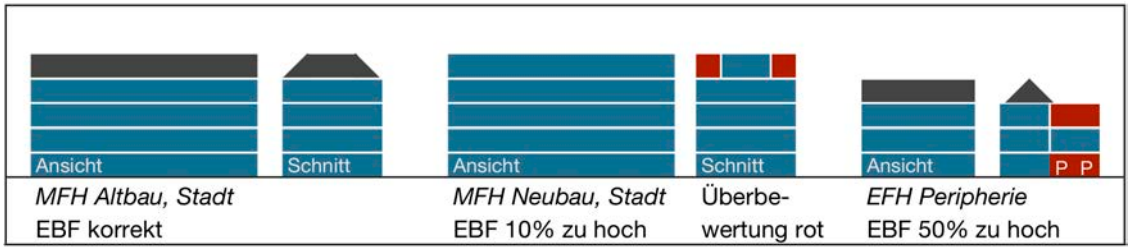


Abbildung 6: Schematische Darstellung der errechneten und effektiven Energiebezugsfläche

[18] Bis zum 31. Dezember 2020 sollen alle Gebäudearten im GWR erfasst werden.

3 Forschungsstand

Dieses Kapitel erwähnt einige neuere Forschungsarbeiten. Die Arbeit „Compare Renove“ ist näher beschrieben.

3.1 Effizienzanalysen

Compare Renove – du catalogue de solutions à la performance réelle des rénovations énergétiques

Die Studie Compare Renove (Khoury, Hollmuller, Lachal, Schneider, & Lehmann, 2018) nimmt sich als Beitrag zur Umsetzung der Energiestrategie 2050 ein Genfer Portfolio mit 26 grösseren Sanierungsobjekten aus der Nachkriegszeit (insgesamt ca. 3'000 Wohnungen), welche nach dem Jahre 2005 teilweise oder gesamthaft saniert wurden vor. Sie ermittelt den Performance Gap zwischen gemessenem und dem unter Standardbedingungen (nach Norm SIA 380/1) berechneten Heizbedarf. Mit numerischen Simulationen ermitteln die Autoren und Autorinnen anschliessend das Optimierungspotential und leiten Empfehlungen ab. Schliesslich berechnen sie die Vermeidungskosten pro eingesparte kWh Energie bzw. pro Tonne CO_2. Die Resultate aus dem ersten Teil der Studie zeigen, dass der Energieverbrauch mittels Sanierung im Schnitt um 29% gesenkt werden kann. Die CO_2-Intensität ist von 260 auf 200 gCO_2e/kWh gesunken, während die Emissionen von 46 auf 27 $kgCO_2/m^2$ vermindert werden konnten, was einer Verbesserung von 41% entspricht.

Die Klimaziele der Energiestrategie 2050 können, so das Fazit, nur mit einem hohen Sanierungsstandard (Minergie-P) erreicht werden. Die Energie-Vermeidungskosten liegen je nach Standard zwischen 0.9 und 0.26 CHF/kWh, wobei nach Abzug der CO_2-Abgabe (Stand 2016) und der Energiekosteneinsparung mit dem Minergie-Standard teilweise eine Nullsumme erreicht wird. Bei einer Erhöhung der CO_2-Abgabe auf CHF 300/TCO_2 werden die Sanierungen aller untersuchten Objekte unter dem Strich[19] wirtschaftlich.

Die Studie stellt einen Performance Gap fest und erklärt: „Il ressort de cette analyse que seules les rénovations à très haute performance énergétique (Minergie-P) se rapprochent aujourd’hui des objectifs fixés, nécessitant à la fois de moins et mieux consommer“ (Khoury et al., 2018, S. 85). Als wichtiger Faktor zur Verbrauchsabweichung erweist sich

[19] Die jährlichen Mieten stiegen zwischen CHF 95 und CHF 956 pro Wohnung. Die Kostentragung ist nicht abgegrenzt.

also das Nutzerverhalten. Während die SIA von 20°C Raumtemperatur und einem Luftwechsel von 0.7m^3/m^2h ausgeht, wurden im Schnitt 23°C und ein Luftwechsel von 1.3-1.5 m^3/m^2h gemessen. Pro Grad höhere Raumtemperatur steigt der Energiebedarf um 11%. (S. 86).

A strategy for reducing CO2-emissions from buildings with the Kaya identity

Die Studie von Mavromatidis et al. (2016) untersucht die potenziellen Haupttreiber für CO_2-Reduktionen auf drei Ebenen: Als erstes an der gesamten Energiewirtschaft der Schweiz, sodann am Gebäudepark der Schweiz und schliesslich an einem Fallbeispiel zu den Wohnungs- und Gewerbebauten von Zernez. Die drei nachstehenden Diagramme zeigen Energieverbrauch und CO_2-Intensität der Wärmeerzeugungen heute, nach Effizienzmassnahmen und einer Kombination von Effizienzmassnahmen und Wärmeerzeugerersatz.

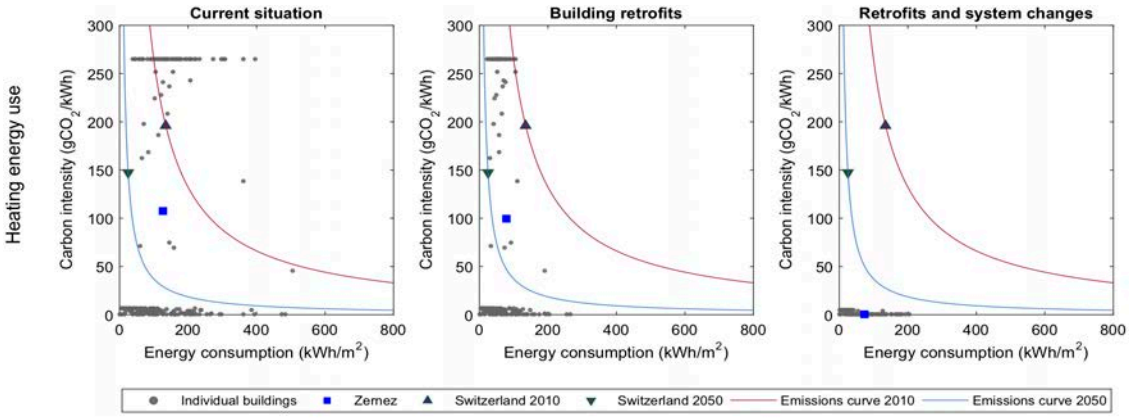


Abbildung 7: Energieverbrauch und CO_2-Intensität für Wärme im Gebäudepark in Zernez; a) Zustand heute, b) nach Effizienzmassnahmen, c) nach Effizienzmassnahmen und Wärmeerzeugerersatz (Mavromatidis et al., 2016, S. 349)

Potenzialabschätzung von Massnahmen im Bereich der Gebäudetechnik

TEP Energy hat im Auftrag des BFE die Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Reduktion der CO_2-Emissionen im Bereich der Gebäudetechnik untersucht. Die Studie dient als Grundlage für die Erarbeitung für Instrumente zur Umsetzung der Energiestrategie 2050.

Energetische Erneuerungsraten im Gebäudebereich – Synthesebericht zu Gebäudehülle und Heizanlagen

TEP Energy (2014) verfeinert den Begriff der „Erneuerungsrate“. Ziel ist eine kohärente Methode zur Quantifizierung von Erneuerungs-, Ersatz- und Substitutionsmassnahmen.

Die Erneuerungsanteile pro Bauteil werden dabei gewichtet und aggregiert. Diesen werden dann, in Kohorten nach Bauperiode gegliedert, spezifische Erneuerungserfolge (gemessen in $\Delta kWh/m^2a$) zugewiesen.

Für Bauten mit Baujahr vor 1990 wird im Zeitraum 2001-2000 eine Reduktion des Endenergieverbrauchs von 21% festgestellt. Diese ist je zu etwa einem Drittel der Gebäudehüllenverbesserung, der Wirkungsverbesserung an Heizanlagen und der Substitution von fossilen Heizträgern geschuldet (S. 24).

3.2 Wirkungsanalysen

HFM 2015

Als Bestandteil des HFM 2015 hat INFRAS eine Reihe von Formeln zur Ermittlung der „Richtwerte für die anrechenbare Wirkung über die Lebensdauer der geförderten Massnahmen“ aufgestellt (HFM 2015, S. 42-111). Mit diesen werden eingesparte Nutzenergie und CO_2-Emissionen sowie Mehrinvestitionen und nicht amortisierbare Kosten von Massnahmen berechnet.

Wirkung der Klima- und Energiepolitik in den Kantonen – Sektor Gebäude

EBP Schweiz (2018) berichtet über die getroffenen Massnahmen und die Wirkung der Energiepolitik der Kantone. Übergeordnetes Ziel ist die Darstellung der Reduktion des Energieverbrauchs für Raumwärme und Warmwasser sowie der CO_2-Emissionen im Gebäudebereich. Die von den Kantonen gelieferten Inputdaten werden in verschiedene Netzmodelle gespeist, der Output am nationalen Verbrauch kalibriert und witterungsbereinigt. Der Raumwärmebedarf wird anhand des Baujahres und anderer Faktoren modelliert. Frühere Wirkungsanalysen verfasste Infras (2013) im Auftrag des BFE. Wichtige Grundlagen hat Jakob (2008) am Center for Energy Policy and Economics (CEPE) erarbeitet.

4 Methode

Das Forschungsdesign sieht zwei Schritte mit unterschiedlichen Methoden vor. Der erste Schritt quantifiziert die Wirkung des EnG über einen kurzen Zeitraum mit einem Bottom-up-Ansatz mittels deskriptiver Statistik. Im zweiten Schritt wird die Wirkung des Gesetzes über einen längeren Zeitraum (bis 2050) anhand dreier Szenarien stochastisch modelliert. Das Startup-Unternehmens BS2 hat dazu eine Software entwickelt.

4.1 Datenaufbereitung

Als Datengrundlage dienen vier verschiedene Quellen gemäss nachstehender *Tabelle 2*. Diese werden im Folgenden näher beschrieben.

Dateiname	Inhalt	Zeitraum	N	Beziehung
BS_VERBRAEUCHE	Gebäudedaten, Energieverbräuche	2012, 2014, 2016	3 *~23'500	1:1 (1:n)
BS_SUBVENTIONEN	Förderung energ. Sanierungen[2]	2000...2019	31'708	n:n
BS_FEKO	Register der Heizungen	...2019	40'445	n:1
BS_PV	Register der PV-Anlagen	2000...2016	764	n:1
BS_KOMPLET	Konsolidierter Gebäudedatensatz	2016 (2000...2019)[3]	23'656	-

[1] Gebäude versorgen zum Teil auch andere Gebäude oder werden von anderen versorgt.
[2] Eine Förderung kann eine ganze Siedlung betreffen; Gebäude können mehrfach gefördert werden.
[3] Zeitreihen aus BS_VERBRAEUCHE sind als Felder erfasst.

Tabelle 2: Daten aus amtlichen Quellen und Beziehungen zum konsolidierten Datensatz

Daten zum Energieverbrauch vom Statistischen Amt

Die Datei BS_VERBRAUCHE.. enthält ca. 23'500 Datensätze zu einzelnen Gebäuden für die Erhebungsjahre 2012, 2014 und 2016 mit folgenden Merkmalen: Eidgenössische Gebäudeidentifikator (EGID), Adresse, Gebäudekategorie, Baujahr, Renovationsjahr, Unterschutzstellung, Grundfläche, Anzahl Geschosse, Energiebezugsfläche, Wohnfläche, Anzahl Wohnungen, Anzahl Bewohner, Heizungsart, Energieträger der Heizung, Energieträger Warmwasser, Sonnenkollektoren, erhobener Heizkoeffizient, geschätzter Heizkoeffizient, Energieverbrauch (nach Energieträger).

Daten zu den Subventionen vom Amt für Umwelt und Energie

Die Datei BS_SUBVENTIONEN.. enthält ca. 32'000 Datensätze mit vollständigen Angaben zu subventionierten Massnahmen im Zeitraum 2000-2019. Die Beziehung der Daten zu Gebäuden ist n:n: Einzelne Massnahmen können mehrere Gebäude betreffen und einzelne Gebäude können von mehreren Massnahmen betroffen sein. Mit Hilfe eines Scripts und manueller Korrekturen wurden die Datensätze mit Subventionen in

Datensätze mit Liegenschaften umgeformt. Der Inhalt des Massnahmenbeschriebs wurde auf neu geschaffene Spalten je Bauteil oder Anlage überschrieben (Effizienzmassnahmen wie Fenster, Dach, Wand gegen aussen, Boden gegen unbeheizt etc. sowie Anlagen wie Solarthermie, PV, Holzheizung, Wärmepumpe, WRG). Aus den Sanierungsmassnahmen wurde in Anlehnung an Jakob (2008) ein Sanierungsgrad von 0-100% errechnet[20].

Pro Liegenschaft wurden über den Erhebungszeitraum in der Regel mehrere Massnahmen gefördert. Die Daten sind je Liegenschaft in einem Datensatz kumuliert. Dieser ist, wo fehlend, anhand der Adresse mit einem EGID versehen. Für die spätere Auswertung sind die Datensätze nach Auszahlungsdatum der Subvention kategorisiert (Untersuchungsgruppe, Referenzgruppe, Ausschluss).

Die wichtigsten Merkmale der bereinigten Datei sind: EGID, Adresse, Massnahme (verschiedene Felder), Ausmass der Massnahme (m^2 oder kWh), Sanierungsgrad, Subventionen Kantone, Subventionen Bund, Antragsdatum und Auszahlungsdatum.

Register der Feuerungskontrolle vom Amt für Umwelt und Energie

Die Datei Datei BS_FEKO.. enthält ca. 40'000 Datensätze zu installierten, abgebrochenen oder stillgelegten *Heizungsanlagen*. Pro Liegenschaft sind teilweise mehrere Heizungen aufgeführt. Entsprechend dem GWR wurde nur die primäre Wärmequelle berücksichtigt. Ein Wärmeerzeugerersatz ist daran zu erkennen, dass für das gleiche Gebäude ein weiterer Datensatz mit dem Vermerk „stillgelegt" oder „abgebrochen" vorliegt. Die wichtigsten Merkmale sind: Adresse, EGID, Brennstoff, Leistung, Baujahr des Kessels, Baujahr des Brenners, Nutzung für Raumwärme und Nutzung für Warmwasser.

Register der PV-Anlagen vom Amt für Umwelt und Energie

Die Datei BS_PV.. enthält ca. 800 Datensätze zu PV-Anlagen, welche seit dem Jahr 2000 auf Dächern installiert wurden. Folgende Merkmale sind erfasst: EGID (teilweise), Adresse, Fläche, Stromproduktion (mit 120kWh/m^2a geschätzt), Jahr der Inbetriebsetzung.

[20] Massnahmen sind als flächenmässig vollständig angenommen, qualitativ hingegen entsprechend dem Stand der Technik gewichtet. Ein Fensterersatz mit U-Wert ≤ 1.5 ist beispielsweise mit 50% bewertet. Die relative Bewertung verschiedener Bauteile ist im *Tabelle 7* aufgeführt.

Konsolidierter Datensatz

Aus oben genannten Daten wurde die Datei BS_KOMPLETT.. zusammengesetzt, wobei EGID oder Adresse als Schlüssel dienten. Die Energieverbräuche aus dem Datensatz BS_VERBRAEUCHE sind nach Erhebungsjahr als zusätzliche Felder enthalten. Die Datensätze der Liegenschaften sind mit zahlreichen berechneten Feldern ergänzt. Beispielsweise wurde mangels Daten die Merkmale „Fernwärmenetz“ und „Gasnetz“ definiert. Diese sind mit einer Eins codiert, falls es längs der ganzen Strasse mindestens einen Fernwärmenetzanschluss gibt. Gibt es im unmittelbaren Strassenabschnitt (also links *und* rechts der Liegenschaft) Anschlüsse, ist das Merkmal mit einer Zwei codiert.

Die Angabe wird in der stochastischen Modellierung benötigt. Diese sieht beim Wärmeerzeugerersatz je nachdem ob eine Liegenschaft am Fernwärmenetz oder Gasnetz liegt, andere Verteilungen für die neue Wärmeerzeugung vor. Im Übrigen wurden mathematischen Formeln aus dem nächsten Abschnitt in die Datensätze übernommen. Im Anhang 3 ist ein Überblick der Daten mit deren Erhebungszeiträumen aufgeführt.

Je nach Datenquelle konnten 3-8% der Datensätze dem konsolidierten Datensatz nicht beigefügt werden. Dies kann daran liegen, dass die Daten nicht Wohnbauten betreffen oder die Schlüssel (EGID oder Adressen) nicht konsistent sind. Bei Neubauten wird für dieselbe Hausadresse eine neue EGID vergeben.

Als Herausforderung erwies sich die Umformung der Datei mit den Subventionen. Einzelne Datensätze mit Subventionen betreffen mehr als 30 Liegenschaften an mehreren Strassen, wobei Strassenabschnitte teilweise über die erste und letzte Hausnummer erfasst und Strassennamen nicht konsistent verwendet sind. Zudem fehlen Angaben zum EGID im Zeitraum 2000 bis 2010 fast gänzlich.

4.2 Mathematische Basis

Mit den nachfolgenden Formeln werden die Wirkungspfade des EnG für die Gebäudekategorien Ersatzneubauten, Erweiterungen, sanierte Bauten und übrige Altbauten desaggregiert. D.h. die CO_2-Reduktion als ökologische Wirkung des Gesetzes wird in die Faktoren *Energieverbrauch* und *CO_2-Intensität* zerlegt.

Als mathematische Basis dient eine adaptierte Kaya-Identität nach Mavromatidis et al. (2016) wie im Abschnitt 1.2 erklärt. Die CO_2-Reduktion errechnet sich über ein Jahr wie folgt:

CO_2-Ausstoss $Jahr_0$: $m_0 = k_0 \times E_0 \times A$

CO_2-Ausstoss $Jahr_1$: $m_1 = k_1 \times E_1 \times A$

CO_2-Absenkung $Jahr_{1,0}$ $\Delta m_{1,0} = k_1 \times E_1 \times A \; - \; k_0 \times E_0 \times A$

A: EBF [m^2] E: EKZ [kWh/m^2a] k: EF [tCO_2e/kWh] m: CO_2-Emissionen [tCO_2e]

Die Dekomposition der Faktoren *Energieverbrauch* und *CO_2-Intensität* wird für zwischenzeitlich sanierte Bauten so vorgenommen:

CO_2-Absenkung durch verminderten Energieverbrauch: $\Delta m_E = k_1 \times (E_1 - E_0) \times A$

CO_2-Absenkung durch verminderte CO_2-Intensität: $\Delta m_I = (k_1 - k_0) \times E_0 \times A$

Da das EnG den Wärmeerzeugerersatz vorschreibt, Gebäudesanierungen hingegen freiwillig vorgenommen werden, wird in der Attribution der Effizienz auf die *CO_2-Intensität am Endpunkt* abgestellt, während der Faktor CO_2-Intensität auf die *Energie-Intensität am Anfang* abstellt.

Die Methodik von Mavormatidis et al. wird in dieser Arbeit weiterentwickelt und auf die anders gelagerten Fälle *Erweiterung* und *Ersatzneubau* angewandt. Die Beiträge dieser Baukategorien zur CO_2-Reduktion werden wie folgt quantifiziert:

Die oben aufgeführten beiden Faktoren werden für jede Gebäudekategorie addiert und durch die EBF geteilt. Daraus ergibt sich die flächenbezogene CO_2-Absenkung als ökologische Indikator für die Wirkung des EnG:

Wirkung des verminderten Energieverbrauchs: $\varepsilon_{\mathrm{E}} = \frac{\Sigma \Delta m_E}{\Sigma A_1}$

Wirkung der verminderten CO_2-Intensität: $\varepsilon_{\mathrm{I}} = \frac{\Sigma \Delta m_I}{\Sigma A_1}$

ε: flächenbezogene CO_2-Absenkung [tCO_2e/m^2]

Die Formel gilt für alle Gebäude inklusive Ersatzneubauten. Sie gilt aber nicht für Neubauten, die auf bisher unbebauten Parzellen errichtet werden. In diesem Fall liegt eine Mengenausweitung des CO_2-Ausstosses und der Fläche vor. Der positive Effekt kann über die veränderte Gesamtbilanz des Portfolios errechnet werden[21]:

flächenbezogen Wirkung: $\Delta\varepsilon = \varepsilon_{Gebäudepark} - \varepsilon_{Gebäudepark\ ohne\ Neubauten}$

aggregierte Wirkung: $\Delta m = \frac{\Delta\varepsilon}{\Sigma A_{Neubauten}}$

Beim betrieblich bedingten Ersatz von Wärmeerzeugungsanlagen wird dank dem technischen Fortschritt i.d.R. ein Effizienzgewinn erzielt (Jakob, 2008). Dieser kann nicht einer gesetzlichen Wirkung zugeordnet werden. Im vorliegenden Forschungsdesign wird dem Umstand mit dem DvD-Ansatz Rechnung getragen. Alternativ könnte eine Anpassung wie folgt quantifiziert werden:

Anpassung$_{1,0}$: $E_1' = E_1 \times (\eta_0 / \eta_1)$

ΔEnergieverbrauch$_{1,0}$: $\Delta m_E = k_1 \times (E_1' - E_0) \times A_1$

η: Nutzungsgrad der Heizung, bzw. Jahresarbeitszahl (JAZ) der Wärmepumpe

[21] Die Neubaurate lag in Basel-Stadt gemäss Daten des Statistischen Amtes (2018b) über die Jahre 2012-2016 bei 0.2%. Der Beitrag von Neubauten zur Verbesserung der Treibhausgasbilanz entfaltet sich langsam.

4.3 Quantitative Annahmen

Emissionsfaktoren

Diese Arbeit setzt für die EF die Primärenergiefaktoren der KBOB 2009/1:2016 ein[22]. Diese tragen dem ökologischen Fussabdruck der Energieträger umfassend Rechnung. Aufgerechnet sind Leitungsverluste sowie Emissionen bei der Förderung, Aufbereitung und dem Transport von Energieträgern. Bezugsgrössen sind je nach Energieträger, in das Gebäude, bzw. in den Tank gelieferte Brenn- und Treibstoffe, vom Fernwärmenetz ans Verteilnetz des Hauses gelieferte Energie, vom Energiewandler ans Verteilnetz des Hauses gelieferte erneuerbare Energie oder ans Verteilnetz des Hauses gelieferte Elektrizität.

Strom und Fernwärme haben im Kanton Basel-Stadt einen hohen Anteil an erneuerbarer Energie. Abs. II § 2 Ziff. 3 EnG schreibt vor: „Beim Bezug von Strom im liberalisierten Markt sind im Kanton nur Produkte mit Herkunftsnachweis aus erneuerbaren Energien oder aus Wärme-Kraft-Kopplung zu erstehen. Der Anteil der fossilen Wärme-Kraft-Kopplung soll ab 2025 5% nicht übersteigen.“ Das Fernwärmenetz muss gemäss EnG ab 2020 zu 80% mit erneuerbaren Energiequellen betrieben werden (Abs. 2 § 2 Ziff. 4 EnG). Im Anhang 3 sind die auf dieser Grundlage verwendeten EF für Teil 1 (bis 2016) und Teil 2 (ab 2016) der Arbeit aufgeführt.

Nutzungsgrad

Die Verbesserung des Nutzungsgrades beim fossilen Wärmeerzeugerersatz ist in der stochastischen Modellierung einheitlich mit 10% eingesetzt.

Energiekennzahl von Neu- und Erweiterungsbauten

Beim rechnerischen Nachweis von Wohnbauten wird die EKZ mit einer spezifischen Gewichtung des Energieträgers und dem Leistungsgrad der Anlagen für Heizung, Warmwasser, Lüftung und Klimatisierung ermittelt. Die errechnete EKZ E_{hwlk} darf nicht höher liegen als der Grenzwert $E_{hwlk,li}$ 35 kWh/m^2 (Mittelland). Für die Heizung wird ein Wert von 15kWh/m^2 nach Abzug des Energiebedarfs für Warmwasser[23], Lüftung und Klimatisierung eingesetzt.

---

[22] Das nationalen Treibhausgasinventar, die CO_2-Statistik und im Reporting der Kantone verwenden die EF des BAFU. Diese zieht eine engere Bilanzgrenze.

[23] Standardnutzungswert für MFH ist 21 kWh/m^2, für EFH 14 kWh/m^2.

Warmwasser

Das Statistische Amt Basel-Stadt setzt für den Warmwasserverbrauch in der Energiestatistik (2018a) einen Wert von 850 kWh pro Person und Jahr ein. Dieser Richtwert wird übernommen.

Witterungseinfluss

Die beiden Jahre 2012 und 2016 waren gemessen an Heizgradtagen (HGT) ähnlich, in Bezug auf die Globalstrahlung aber unterschiedlich[24]. Dieser Effekt und weitere Effekte sind mit dem DvD-Ansatz neutralisiert (s. Absatz 1.5).

Leerstand

Gemäss Statistischem Amt Basel-Stadt (Statistisches Amt des Kantons Basel-Stadt, 2018b) liegt die Leerstandquote 2012 mit 0.5% nahe an jener von 2016 (0.4%). Auf Grund der geringen Differenz wird keine Anpassung für den Verbrauch in Altbauten vorgenommen. Der Leerstand von Neubauwohnungen liegt am 1. Juni 2016 bei 9.3%. Er erholt sich im Folgejahr (5.3%). Von einer Adjustierung wird auch hier abgesehen.

Weitere Annahmen

Weitere quantitative Annahmen und methodische Ansätze sind der Energiestatistik (Statistisches Amt des Kantons Basel-Stadt, 2018a) entnommen. Im Anhang 2 sind die wichtigsten Elemente der Methode des Amtes für Statistik zusammengefasst. Da die Bezugsflächen tendenziell zu hoch sind, müssen die Ergebnisse bei einem Vergleich mit anderen Studien angepasst werden. Innerhalb dieser Arbeit sind die Kennwerte Konsistent.

[24] Heizgradtage sind ein Mass für den Einfluss des Wetters auf den Heizenergieverbrauch eines Gebäudes. Sie werden als Differenz zwischen der Raumtemperatur und der mittleren Aussentemperatur eines Tages, soweit diese unter einer Heizgrenze von 12°C liegt, gerechnet. Die Globalstrahlung ist ein Mass für die Solarstrahlung. HGT 2012: 2927, 2016: 2989 HGT; Globalstrahlung 2012: 3954, 2016: 4782 [MJ/m^{2}a] (Quelle: Messstation Basel-Binnigen).

4.4 Methode der Empirischen Untersuchung

Abschnitt 1.5 illustriert das Forschungsdesign und bezeichnet die Indikatoren. Nachstehende *Tabelle 3* gibt Auskunft über die Messweise. Diese variiert in den verschiedenen Gebäudekategorien.

Indikatoren	Einheit[1]	Neubau		Erweiterung		gef. Sanierung		Rest (Altbau)	
		EnG_{alt}	EnG_{neu}	EnG_{alt}	EnG_{neu}	EnG_{alt}	EnG_{neu}	EnG_{alt}	EnG_{neu}
Energieverbrauch	ΔEKZ [kWh/m²a]	Verbrauch	Vorschrift	Verbrauch	Extrapol.	Verbrauch	Extrapol.	Lagemass	Extrapol.
CO_2-Intensität	ΔEF [gCO_2e/kWh]	Vorschrift	Vorschrift	Verteilung	Vorschrift	Verteilung	Verteilung	Verteilung	Verteilung
CO_2-Absenkung	Δ[gCO_2e/m²a]	Ber.	Ber.	Ber.	Ber.	Ber.	Ber.	Ber.	Ber.
Substitutionsrate[2]	m²/a	Fläche	Fläche	Fläche	Fläche	Fläche	Fläche	Fläche	Fläche
CO_2-Emissionen	m [tCO_2e/a]	Ber.	Ber.	Ber.	Ber.	Ber.	Ber.	Ber.	Ber.

[1] Bei Neubauten sind die Angaben unveränderlich.
[2] Aus dem Datenbestand 2012-2016 ermittelt.

Tabelle 3: Indikatoren und Messweise für die empirische Untersuchung nach Gebäudegruppe

Vorschriften zu energetischen Mindestanforderungen bestimmen den Wirkungspfad der *Energieeffizienz* bei Neu- und Erweiterungsbauten. Subventionen haben eine untergeordnete Rolle. Freiwillige Effizienzsteigerungen in Altbauten werden demgegenüber primär durch Anreize (Subventionen und Steuerabzug), bei bewilligungspflichtigen Vorhaben zusätzlich über Vorschriften erzielt. Auch geben Vorschriften den *Anteil erneuerbarer Energien* bei Neu- und Erweiterungsbauten vor. Im Falle von Altbauten besteht die eingeschränkte Pflicht, beim Wärmeerzeugerersatz auf erneuerbare Energien umzustellen.

Das Paneldesign enthält gemäss zeitliche Ein- und Ausschlusskriterien für die Untersuchungsgruppe der geförderten Sanierungen (s. Grafik im Anhang 3). Massgebend ist der Zeitpunkt der Subventionszahlung[25]. Nach Auskunft des Amtes für Umwelt und Energie, erfolgen Zahlungen meist ein bis drei Monate nach Fertigstellung des geförderten Gewerkes. Diese Zeitspanne ist um die Dauer üblicher Bauabläufe erweitert, um den Ausschluss und Daten der Untersuchungsgruppe zu kategorisieren. Mit dieser Massnahme sind Verzerrungen am Verbrauch auf Grund von Bauarbeiten nach Möglichkeit ausgeschlossen.

Die Zuordnung der Datensätze zu den verschiedenen Gebäudegruppen erfolgt sequentiell anhand bestimmender Merkmale (s. Tabelle im Anhang 3). Erweiterungen sind beispielsweise an einer Erhöhung der Geschosszahl oder der Grundfläche erkennbar.

[25] Im Register der Subventionen sind das Datum der Erfassung des Gesuches und das Datum der Subventionszahlung aufgeführt. Letzteres korreliert zeitlich stärker mit dem Bauablauf.

Innerhalb der Gebäudegruppen sind Stichproben definiert, welche einen messbaren Energieverbrauch ausweisen. Voraussetzung für klar zugeordnete Verbrauchsdaten ist ein Fernwärme- oder Gasanschluss und eine Heizzentrale, welche nur das betreffende Gebäude versorgt. Deutliche Veränderungen der Bewohnerzahl sind ein Indiz für Leerstände. Datensätze, in welchen die Bewohnerzahl in einem der Messjahre Null beträgt und solche, in welchen eine Veränderung von mehr als 50% verzeichnet wird, sind ausgeschlossen. zeigt die für die Selektion massgebenden Parameter.

Aus der Stichprobe wird in Anlehnung an die Methode, die der Energiestatistik des Statistischen Amtes (2018a) zugrunde liegt, auf die Gesamtheit der jeweiligen Gebäudegruppe geschlossen.

4.5 Stochastisches Modell

Während die empirische Untersuchung eine präzise Momentaufnahme des Portfolios wiedergibt, erlaubt das stochastische Modell einen Blick in die Zukunft. Mit dem stochastischen Modell kann geprüft werden, ob das Ziel des EnG, den CO2-Ausstoss bis 2050 um 80% zu senken, erreicht wird (vgl. § 1, Abs. 1 Ziff. 2 Lit. d EnV). Im Gegensatz zur statischen Betrachtung trägt die Modellierung dem schwindenden Effizienz- und Substitutionspotenzial Rechnung. Im Gegenzug sind Neu- und Erweiterungsbauten nicht abgebildet.

Die Modellierung erstreckt sich über den Zeitraum 2016 bis 2050. Für diese Dauer wird angenommen, dass Neubauten, die seit 2010 erstellt worden sind, keine Effizienzsteigerungen an der Gebäudehülle erfahren. Bei allen übrigen Bauten ist das Datum der letzten Sanierung nach Bauteilen hinterlegt.

Tabelle 4 zeigt die Modellannahmen. Drei Szenarien werden berechnet: Ein erstes Szenario, in welchem verstärkt Effizienzmassnahmen ergriffen werden, ein zweites Szenario, in welchem Effizienzmassnahmen und der Wärmeerzeugerersatz in gleichem Masse vorangetrieben werden und ein drittes Szenario, in welchem der Wärmeerzeugerersatz forciert wird.

	Szenario 1 *energieeffizient*		***Szenario 2*** *ausgewogen*		***Szenario 3*** *geringe CO_2-Int.*	
	FW geeig.[2] *Verteilung*	*ungeeignet Verteilung*	*FW geeignet Verteilung*	*ungeeignet Verteilung*	*FW geeignet Verteilung*	*ungeeignet Verteilung*
Ölheizungen	0%	5%	0%	5%	0%	5%
Gas	8%	45%	6%	35%	3%	25%
Fernwärme, Anteil fossil 20%	17%	1%	18%	2%	19%	3%
Fernwärme, Anteil ern. 80% [1]	68%	4%	72%	8%	76%	12%
Wärmepumpen / Umweltenergie	4%	35%	2%	40%	1%	50%
Holz	2%	5%	1%	5%	1%	3%
Solarthermie	1%	5%	1%	5%	0%	2%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%
davon nicht erneuerbar	25%	51%	24%	42%	22%	33%
davon erneuerbar	75%	49%	76%	58%	78%	67%
Anschlussrate Fernwärme	85%	5%	90%	10%	95%	15%
Lebensdauer Bauteile	*SD [a]*	*M[a]*	*SD [a]*	*M[a]*	*SD [a]*	*M[a]*
Lebensaduer Brenner/Kessel[3]	7.5	22	7.5	22	7.5	22
Lebensdauer Fenster[4]	5.0	25	5.0	25	5.0	25
Lebensdauer Aussendämmung[4]	7.5	30	8.0	35	10.0	40
Lebensdauer Dach[4]	10.0	25	12.0	30	14.0	35
Energiekennzahl Heizung		*[kWh/m2a]*		*[kWh/m2a]*		*[kWh/m2a]*
EKZ Endwert Bestand[5]		40		45		50

[1] nach EnG gelten neben Wärmepumpe, Holz und Solarthermie auch Fernwärme als 100% erneuerbar
[2] für Fwernwärme geeignete Liegenschaften, an Strassen, welche Fernwärme führen
[3] empirisch ermittleres Alter von Brenner und Kessel
[4] Richtwerte in Anlehnung an Paritätischen Lebensdauertabelle (HEV) Schweiz / Mieterverband (MV)
[5] Anhaltspunkt aus 10. Perzentil der sanierten Bauten, ohne Warmwasser

Tabelle 4: Szenarien für die stochastische Modellierung

Die Software von BS2 modelliert Dämmmassnahmen und Wärmeerzeugerersatz stochastisch für jedes Gebäude, bis ein Endwert der EKZ erreicht ist. Für die Standardabweichungen und Mittelwerte sind Erfahrungswerte, bzw. empirische Werte aus Schritt eins der Untersuchung eingesetzt. Namentlich ist die Lebensdauer fossiler Heizungsanlagen den Daten des baselstädtischen Gebäudeparks entnommen (s. nächstes Kapitel).

5 Ergebnisse

Dieses Kapitel stellt die Ergebnisse der empirischen Untersuchung für den Zeitraum 2012-2018 und der stochastischen Modellierung für den Zeitraum 2016-2060 vor. Die Zeitspanne ist über das Jahr 2050 ausgedehnt, weil der Absenkpfad erst danach abflacht.

Vorausgehende Feststellungen

Daten zur Ersatzrate von Heizungen liegen für die Jahre 2015-2018 vor. Im Jahr 2017, kurz vor Inkraftsetzung des neuen EnG, ist ein gegenüber dem Vorjahr deutlich höherer Ersatz von Ölheizungen feststellbar. *Tabelle 5* zeigt die Auswertung.

	erneuerbar[1]	2016			2017			2018		
		Anzahl	[kW]	Anteil	Anzahl	[kW]	Anteil	Anzahl	[kW]	Anteil
Ölheizungen	0%	35	1'340	4%	48	3'761	11%	1	25	0%
Gas	0%	426	14'738	39%	457	13'860	41%	79	3'216	11%
Fernwärme, Anteil fossil 20%	20%	43	3'921	10%	37	3'008	9%	42	4'967	17%
Fernwärme, Anteil ern. 80% [1]	80%	172	15'685	41%	149	12'030	36%	167	19'868	66%
Wärmepumpen / Umweltenergie	95%	23	705	1.9%	34	635	1.9%	35	1'134	3.8%
Holz	100%	57	1'603	4.2%	55	477	1.4%	32	707	2.4%
Solarthermie	100%									
Total		756	37'992	100%	780	33'771	100%	356	29'917	100%
davon nicht erneuerbar				53%			61%			27%
davon erneuerbar				47%			39%			73%
Anschlussquote Fernwärme				52%			45%			83%

[1] nach EnG gelten neben Wärmepumpe, Holz und Solarthermie auch Fernwärme als 100% erneuerbar

Tabelle 5: Auswertung Wärmeerzeugerersatz 2016-18 (Quelle: Datei BS_ERSATZ_2016_2018)

Die ermittelte Lebensdauer von gasbefeuerten Heizungsanlagen liegt gemäss *Tabelle 6* bei 22 Jahren, bei ölbefeuerten Anlagen bei 24 Jahren (Ersatzrate ca. 4.5%)[26].

	N	Min	Max	M	SD	Lebens–dauer	Korr.	Lebens–dauer adj.	ø Fort–bestand
Gasheizung						M * 2		22	11
Breknneralter	396	0	28	14.1	7.6	28.1	90%	25.3	
Kesselalter	9'186	0	48	12.1	6.8	24.2	90%	21.8	
Ölheizung						M * 2		24	12
Breknneralter	757	0	31	13.6	7.7	27.2	90%	24.5	
Kesselalter	755	2	53	20.4	8.7	40.8	90%	36.7	

Tabelle 6: Lebensdauer von Gas- und Ölheizungen (Quelle: Datei BS_FEKO_2019)

[26] Da es sich um eine etablierte Technologie handelt, kann unterstellt werden, dass das Alter der Anlagen normal verteilt ist und diese im Durchschnitt die Hälfte der Lebensdauer erreicht haben. Die Erfahrung zeigt jedoch, dass die Lebensdauer von neueren haustechnischen Anlagen kürzer ist als jene von älteren. Des Weiteren werden die Anlagen nicht zu 100% ersetzt (Vormarsch Wärmepumpe). Das mittlere Alter wird aus diesen Gründen um 10% nach unten korrigiert.

Der Heizungsersatz wurde 2018 mit durchschnittlich CHF 8'200 pro Anlage gefördert. Aufgrund des hohen Anteils der Fernwärme bei der Substitution der Wärmeerzeuger, werden die Kosten der Subvention in der Berechnung nur zur Hälfte eingesetzt. Diese Kosten und die Verbesserung des EF (gemäss Auswertung Tabelle 5 im Jahr 2018) werden für alle Liegenschaften mit fossil befeuerter Wärmeerzeugung mit 4.5% angerechnet.

Seit dem Jahr 2000 sind knapp ein Drittel der Wohnbauten im Kantonsgebiet mit Fördergeldern saniert worden. *Tabelle 7* zeigt die Sanierungsrate nach Bauteil.

Im Städtischen Gebiet sind bei der Aussendämmung Grenzen gesetzt. Dies zeigt sich in den Daten zu Subventionen z.B. daran, dass hier pro Quadratmeter Fensterersatz nur 15 Quadratmeter Aussendämmung gefördert wurden. In Riehen und Bettingen lag der relative Anteil an Fassadendämmungen knapp dreimal höher. Mehr als 10% der Wohnbauten auf dem Stadtgebiet sind denkmalgeschützt oder inventarisiert[27].

	n	*Jahr*[1]	*n p.a.*	*Ersatz-rate*	*Ausmass [m²]*	*Ant.*	*Förderung [kCHF]*	*Ant.*	*Gewicht*[2]
Gebäudehülle	23'800				2'059'115	100%	77'555	100%	100%
Fensterersatz	18'628	2000	955	4.0%	502'214	24%	27'185	35%	40%
Dach/Estrichboden	10'333	2000	530	2.2%	849'995	41%	27'892	36%	20%
Wand gegen aussen	2'761	2000	142	0.6%	300'394	15%	11'315	15%	30%
Boden gegen aussen	5'788	2010	609	2.6%	188'800	9%	7'563	10%	2%
Wand gegen unbeh.	680	2010	72	0.3%	34'203	2%	514	1%	2%
Decke gegen unbeh.	1'459	2000	75	0.3%	95'790	5%	1'578	2%	2%
Kellerdecke / Boden	1'358	2003	82	0.3%	87'719	4%	1'508	2%	4%
WRG	1'746	2008	152	0.6%			4'037		(15%)

[1] Beginn Förderprogramm
[2] Gewichtung des Bauteils bei der Ermittlung des Sanierungsgrades

Tabelle 7: Sanierungsrate nach Bauteil

Die Vermeidungskosten konnten auf Grund von Problemen der Abgrenzung nicht konsistent ermittelt werden. Es werden keine Resultate präsentiert.

[27] Quelle: Datei BS_KOMPLETT_2012_16

5.1 Ergebnisse der empirischen Untersuchung

Die ökologische Wirkung des EnG ist in Tabelle *Tabelle 8* wiedergegeben. Der gesamte CO_2-Ausstoss des Portfolios beträgt ca. 61'000'000 Tonnen. Die CO_2-Emissionen können auf Grund von gesetzlich vorgeschriebenen energetischen Verbesserungen bei Erweiterungsbauten, verteilt über eine EBZ von 26'3800 m^2, um jährlich 93'350 Tonnen im Jahr reduziert werden. Bei geförderten Sanierungen beträgt die Einsparung 130'549 Tonnen, verteilt auf eine Fläche von 133'130 m^2 (bei Subventionskosten von CHF 24/m^2).

Dem gegenüber stehen CO_2-Reduktionen durch den Wärmeerzeugerersatz von jährlich 15'334 Tonnen für Erweiterungsbauten und 55'278 Tonnen für Sanierungen. Hinzu kommen die Einsparungen des Heizungsersatzes für das übrige Portfolio (3'205'054 m^2 EBF). Diese betragen, ausgehend von den Daten des ersten vollen Erhebungsjahres 2019 und der Lebensdauer fossiler Wärmeerzeugungsanlagen, 1'312'496 Tonnen.

Bei Ersatzneubauten kann mit den gesetzlichen vorgeschriebenen Grenzwerten gegenüber dem abgebrochenen Bestandsbauten eine Minderung des Energieverbrauchs von 62% erzielt werden. Bei Erweiterungsbauten senkt sich der Energieverbrauch um 23% und bei geförderten Sanierungen im Schnitt um 6%. Enthalten sind in der Betrachtung der Sanierungen auch Einzelförderungen, was das Mengengerüst der Flächen erhöht aber die durchschnittliche Einsparung senkt.

Bei den Emissionsfaktoren erreicht das neue Gesetz jährliche Reduktionen von 7-8%. Dies ist eine deutliche Verbesserung gegenüber den Rahmenbedingungen (nur Förderung) im alten Gesetz, unter welchen die Reduktion etwas über 1% betrug.

	Obj.	Energiebezugsfläche			Energiekennzahl			Emissionsfaktor				Emissionen	
		EBF		ΔEBF	EKZ_{12}	EKZ_{16}[2]	ΔEKZ	EF_{12}	EF_{16}	ΔEF_{16}	ΔEF_{19}	$\Delta CO2_I$	$\Delta CO2_E$
Einheit		*[m2/a]*			*[kWh/m²a]*			*[gCO_2/kWh]*				*[tCO_2e]*	
Statistik	*n*	Σ			*M*	*M*		*M*	*M*			Σ	Σ
Neubau	18	5'962	0.2%	5'962	93	35	-62%		133				
Erweiterung	124	26'380	0.8%	5'350	99	77	-23%	215	204	-1.3%	-8.0%	-94'350	-15'334
Sanierung	409	133'130	4.2%	0	92	86	-6%	215	204	-1.3%	-8.1%	-130'549	-55'278
Referenz (Altbau)	7'883	3'205'054		0	93	93		215	206	-1.0%	-6.9%		-1'312'496

Index E steht für den Wirkungspfad Energieeffizienz, Index I für die CO_2-Intensität.
Index 12, 16 und 19 stehen für die Messjahre 2012, 2016 und 2019.

[1] Stichproben Neubau über 3 Jahre, Erweiterung über 2 Jahre, Sanierungen über 17 Monate.
[2] EKZ_{16} mit DvD-Ansatz Dajustiert

Tabelle 8: Auswertung Empirische Untersuchung

5.2 Ergebnisse der stochastischen Modellierung

Im Gegensatz zur statischen Betrachtung trägt die stochastische Modellierung dem Umstand Rechnung, dass die Energiespar- und erneuerbare Substitutionspotenziale mit der Zeit sinken und schliesslich erschöpft sind.

Eine Sensitivitätsanalyse mit unterschiedlichen Zufallsfolgen zeigt eine Variabilität des Endergebnisses von +/- 2%.

Die kritische Grösse des Endwertes der EKZ für Altbauten wurde aus den Ergebnissen in Schritt 1 bestimmt. Für Szenario 1 ist das 1. Quartil die EKZ gemessen an der Sanierungsrate (75%-100%, Untersuchungsgruppe der sanierten Gebäude) eingesetzt. Diese beträgt 40 kWh/m^{2}a. In Szenario 2 und 3 sind 45 bzw. 50 kWh/m^{2}a eingesetzt.

Die nachfolgenden Tabellen (*Abbildung 8* - *Abbildung 10*) zeigen die aggregierten Ergebnisse. Auffallend ist der scheinbar grosse Einfluss des Wärmeerzeugerersatzes, bzw. der Warmwasseraufbereitung. Ursache dafür ist ein methodisches Problem (s. Abschnitt 6.2 Fazit).

Die 3 Szenarien sind auf den Folgeseiten für den Wirkungspfad Effizienzmassnahmen (*Abbildung 11* - *Abbildung 13*) und Wärmeerzeugerersatz (Abbildung 14 - *Abbildung 16*) gezeigt. So sind die Effekte isoliert erkennbar. In beiden Fällen ist eine Effizienzsteigerung von 10% beim Wärmeerzeugerersatz eingerechnet. Ein Ersatz führt nach erreichen der Lebensdauer unabhängig von gesetzlichen Bestimmungen im Rahmen des technischen Fortschritts zu einer Effizienzsteigerung.

Die Ergebnisse können über das Tool von BS2 interaktiv betrachtet werden:

1) Dämmmassnahmen und Wärmeerzeugerersatz:
   https://mas-michael-mettler-eng-bs-6a0mytwge.now.sh/

2) Nur Wärmeerzeugerersatz:
   https://mas-michael-mettler-eng-bs-nur-heizung-r75uezvpv.now.sh/

3) Nur Dämmmassnahmen:
   https://mas-michael-mettler-eng-bs-nur-heizung-r75uezvpv.now.sh/

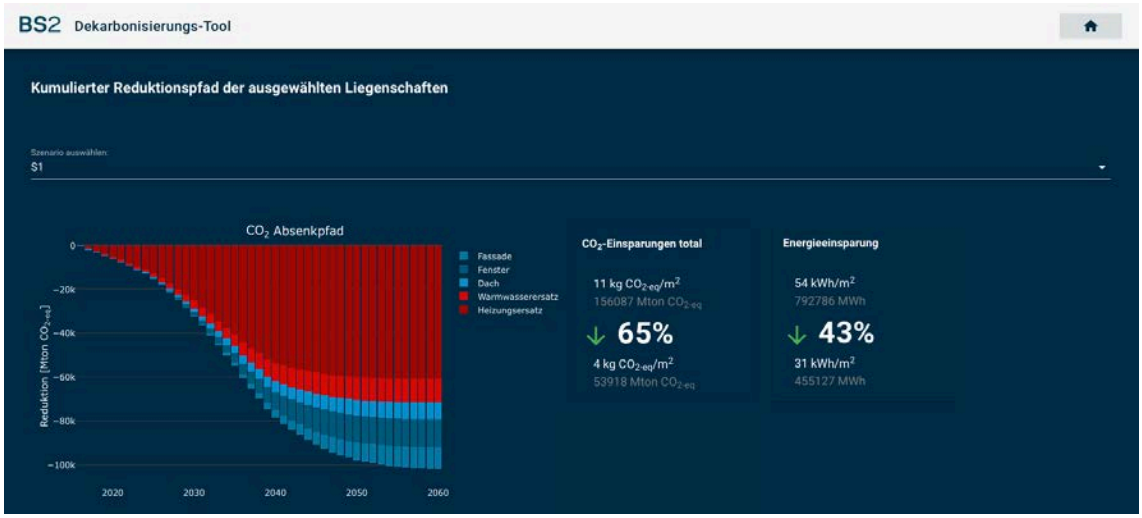


Abbildung 8: Aggregierter Absenkpfad, Szenario 1 – energieeffizient

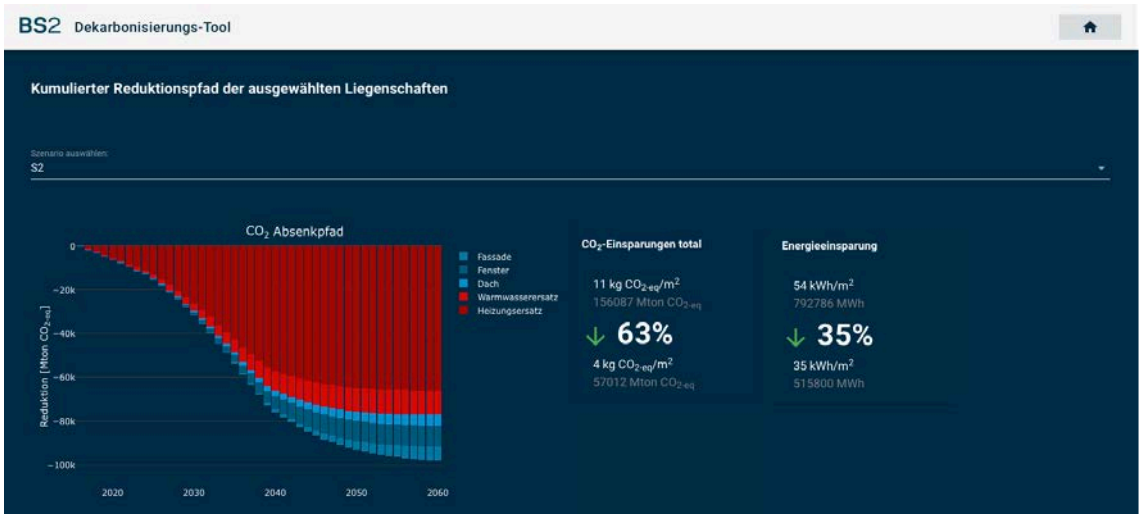


Abbildung 9: Aggregierter Absenkpfad, Szenario 2 – ausgewogen

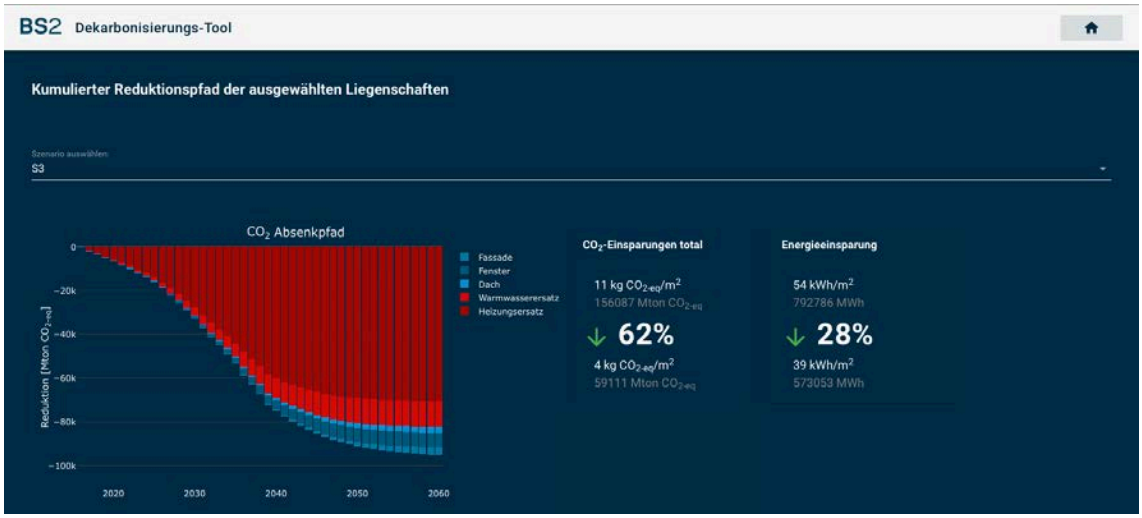


Abbildung 10: Aggregierter Absenkpfad, Szenario 3 – geringe CO_2-Intensität

Abbildung 11: Absenkpfad nur Effizienzmassnahmen, Szenario 1 – energieeffizient

Abbildung 12: Absenkpfad nur Effizienzmassnahmen, Szenario 2 – ausgewogen

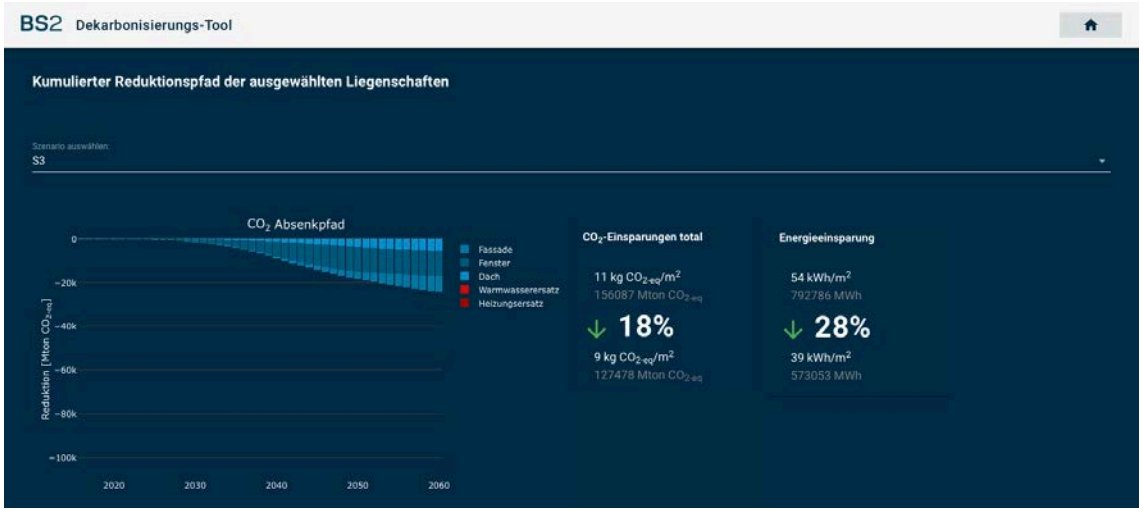


Abbildung 13: Absenkpfad nur Effizienzmassnahmen, Szenario 3 – geringe CO_2-Intensität

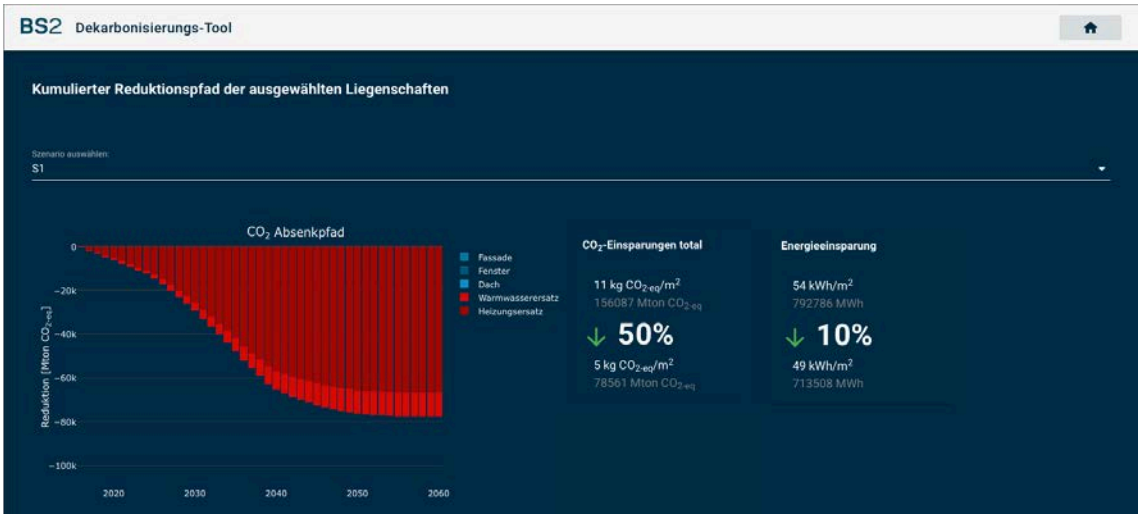


Abbildung 14: Absenkpfad nur Wärmeerzeugerersatz, Szenario 3 – energieeffizient

Abbildung 15: Absenkpfad nur Wärmeerzeugerersatz, Szenario 3 – ausgewogen

Abbildung 16: Absenkpfad nur Wärmeerzeugerersatz, Szenario 3 – geringe CO_2-Intensität

Nachstehende *Tabelle 9* fasst die Ergebnisse der stochastischen Modellierung zusammen. Es zeigt sich, dass die CO_2-Emissionen in allen drei Szenarien bis 2060 um fast zwei Drittel reduziert werden. Diese Reduktion wird 2050 schon fast erreicht. Nach 2050 tragen nur noch Dämmmassnahmen zu einer geringfügigen weiteren Reduktion bei. Das Szenario 1 schneidet bezüglich CO2-Ausstosses etwas besser ab als die beiden anderen Szenarien. Szenario 1 hat den Vorteil, dass der Energieverbrauch mit -43% deutlich tiefer liegt als in Szenario zwei (-35%) und drei (-28%).

	Szenario 1 *energieeffizient*		**Szenario 2** *ausgewogen*		**Szenario 3** *geringe CO_2-In*	
	CO_2-Intens.	*Energieverbr.*	*CO_2-Intens.*	*Energieverbr.*	*CO_2-Intens.*	*Energieverbr.*
Aggregiert	-65%	-43%	-63%	-35%	-62%	-28%
Effizienzmassnahmen	-32%	-33%	-25%	-25%	-18%	-18%
Heizungsersatz	-50%		-52%		-54%	
Effizienzsteigerung Heizung[1]		-10%		-10%		-10%

[1] bei Effizienzmassnahmen und Heizungsersatz in Abzug gebracht

Tabelle 9: Zusammenfassung Ergebnisse stochastische Modellierung

Mit Effizienzmassnahmen alleine wäre der CO2-Ausstoss in Szenario 1 rund doppelt so hoch wie in Kombination mit dem Wärmeerzeugerersatz (Reduktion nur 32% statt 65%). In den Szenarien 2 und 3 weit mehr als das Doppelte. Nicht berücksichtigt ist im Endergebnis der Effekt von Ersatzneubauten (nach neuem EnG mit „nahezu Null Emissionen“) und Erweiterungen, welche ebenfalls strenge Anforderungen erfüllen müssen. Über den Zeitraum von 30 Jahren tragen diese Faktoren zu einer weiteren CO_2-Reduktion bei.

Das Ziel, bis 2050 den CO_2-Ausstoss auf Netto eine Tonne pro Person, bzw. den Ausstoss gegenüber dem Jahr 2010 um 85% zu senken, (§ 1, Abs. 1 Ziff. 2 Lit. d EnV) erscheint unter Berücksichtigung des Beitrages von Neu- und Erweiterungsbauten realistisch. Die Benchmark von 2010 liegt beim Beginn der Modellierung bereits 6 Jahre zurück. Die Einsparungen der Jahre 2010 bis 2016 sind zusätzlich anzurechnen[28].

Von handels- und sicherheitspolitischem Interesse ist die mittelfristige Veränderung der Gas- und Erdölimporte. Die Auslandabhängigkeit bzw. das Handelsdefizit für fossile Brennstoffe wird innerhalb der nächsten 30 Jahren um gut 70% abnehmen[29].

[28] Im Zeitraum zwischen der Benchmark 2010 und dem Beginn er Zeitreihe 2016 ist gemäss Energiestatistik des Statistischen Amtes (2018) der Ölverbrauch jährlich um 10-12% gesunken.
[29] Vgl. letzte Spalte in *Tabelle 5*: Der Energiemix nach dem Wärmeerzeugerersatz enthält gemessen am ersten Jahr 11% Gas in Heizzentralen und maximal 17% Gasanteil indirekt über das Fernwärmenetz.

6 Schlussbetrachtung

6.1 Fazit

Der geförderte hundertprozentige Wärmeerzeugerersatz, so wie in Basel-Stadt gesetzlich verankert, ist ein wirkungsvolles Instrument, die CO_2-Emissionen von Altbauten innerhalb nützlicher Frist zu senken.

Ohne diese Massnahme können die Klimaziele des Kantons Basel-Stadt und übergeordnet die Klimaziele des Bundes nicht erreicht werden.

Effizienzmassnahmen spielen weiterhin eine wichtige Rolle. Im städtischen Kontext sind energetischen Sanierungen allerdings Grenzen gesetzt.

6.2 Vorgehensweise

Die angestrebte Dekomposition der Faktoren CO_2-Intensität und Energieverbrauch gelingt in der Modellierung auf Grund eines Henne-Ei-Problems nicht: Erfolgt eine Sanierungsmassnahme vor dem Wärmeerzeugerersatz, so bemisst sich die Wirkung des Wärmeerzeugerersatzes auf tieferem Effizienzniveau, jene der Sanierung auf höherem CO_2-Intensitätsniveau. Eine umgekehrte Reihenfolge verzerrt die Wirkung gegenläufig. Diese methodische Schwierigkeit könnte mit dem Log Mean Divisa Index (LMDI Approach) gelöst werden (Ang, 2005).

Die beiden Treiber CO_2-Intensität und Energieverbrauch können auch technisch nicht immer sauber getrennt werden. So führt der Wärmeerzeugerersatz durch eine Wärmepumpe gleichzeitig zu einer Effizienzsteigerung um den Faktor der JAZ[30] und zu einer Senkung der CO_2-Intensiät auf nahezu Null (je nach Stromprodukt). Hinzu kommt, dass Wärmepumpen eine tiefe Vorlauftemperatur verlangen und somit in der Praxis bei schlecht gedämmten Bauten Effizienzmassnahmen bedingen.

Bei den Vermeidungskosten wäre dem Brutto-Ansatz eine Nettoberechnung (s. Jakob, 2010) vorzuziehen, da so den eingesparten Energiekosten und dem erhöhten Komfort, bzw. erhöhten Mieteinnahmen oder Liegenschaftsbewertungen Rechnung getragen wird. Diese Betrachtung hätte allerdings den Rahmen dieser Masterarbeit gesprengt.

---

[30] Je nach Art der Anlage zwischen 2.8 und 3.4 (Gemäss Ökobilanzdaten KBOB 2009/1:2016)

6.3 Ausblick

Als Ausblick steht der Wert von Wirkungsanalysen gestützt auf grosse Datenbestände im Raum. Mit ökonometrischen Methoden können gesetzliche Instrumente in Bezug auf ökologische, ökonomische und soziale Ziele überprüft werden. Der in dieser Arbeit zusammengestellte konsolidierte Datensatz des baselstädtischen Gebäudeparks stellt in Bezug auf Portfoliogrösse und Umfang der Merkmale eine reichhaltige Quelle für weitere Untersuchungen dar.

Mit dem Tool von BS2 liessen sich über die Absenkpfade hinaus mit speziellen Szenarien Stossrichtungen im Energierichtplan oder in der Energieverordnung prüfen. So könnte beispielsweise der zusätzliche Kapazitätsbedarf des Fernwärmenetzes bei einem Ausbau entlang bestimmter Strassen Anhand parzellenscharfer Daten (gemessene Verbräuche, verbleibendes Sanierungspotenzial) prognostizieren.

Auf nationaler Ebene dürfte sich für einen ökonomisch und ökologisch effizienten Vollzug der Energiestrategie 2050 der Aufwand lohnen, Daten zusammenzuführen (Zonenpläne, GWR, Gebäudedaten des Gebäudeprogramms und lokaler Bauämter, Fern- und Nahwärmenetze, Gasnetz, Solarkataster und Geothermiekataster).

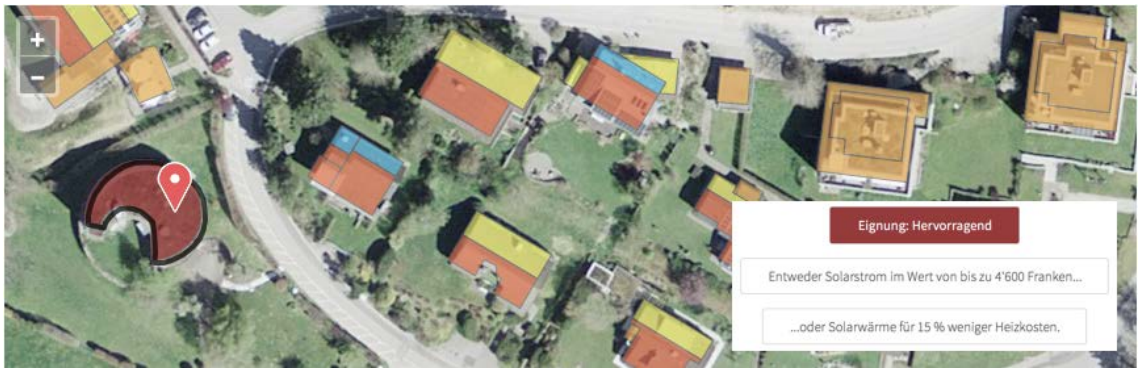


Abbildung 17: Auszug nationaler Solarkataster (www.uvek-gis.admin.ch/BFE/sonnendach)

Ein grosses Potenzial dürfte auch in der Einbindung des flächendeckenden dreidimensionalen Gebäudemodells der Schweiz liegen. Dessen Vektordatensatz (swissBuildings3D) leistet heute schon als Basis für den Solarkataster (s. *Abbildung 17*) einen Beitrag zur Energiewende. Die nachfolgende *Abbildung 18* zeigt einen Ausschnitt der Hauptstadt.

Abbildung 18: Dreidimensionales Gebäudemodell (www.map.geo.admin.ch)

Es ist nicht abwegig, unter Berücksichtigung solarer Einträge aus der Exposition, Klima-Normwerten, äussere Gebäudeabwicklung, letztem Renovationsjahr, Belegung, primäre Wärmeerzeugung, EBF – allesamt flächendeckend verfügbare Daten – ein gebäudescharfes Bild von Potenzialen zur Effizienzsteigerung und zur Substitution fossiler Wärmeträger zu erstellen[31]. Aus der Aggregation von Gebäuden zu Nachbarschaften könnten weiter mitunter privatwirtschaftlich interessante Potenziale für fossilfreie Anergie- bzw. Nahwärmenetze identifiziert oder Erkenntnisse für eine nachhaltige Richtplanung gewonnen werden.

Die Forschung von Orehounig, Mavromatidis, Evins, Dorer, & Carmeliet (2014) zeigt, dass das Potenzial bei der Wärmeerzeugung weiter reicht, als gemeinhin angenommen. Wenn man die Systemgrenze über einzelne Liegenschaften ausweitet, ergeben sich in Wärmeverbünden Möglichkeiten, tägliche und saisonale Lasten und örtlich produzierte Energie mit geeigneten kurz- und langfristigen Speichern auszugleichen.

Verbinden verschiedener Ziele

Der eingangs zitierte Aufruf des IPPC zu raschen und beispiellose Änderungen in allen Aspekten der Gesellschaft bedarf über der Summe einzelner Entscheidungen hinaus einer kohärenten Strategie.

[31] econcept GmbH und TEP Energy AG haben im Auftrag von EnergieSchweiz ein Excel-basiertes Tool für die Evaluation von Massnahmen entwickelt.

Dem klimapolitischen Imperativ kann nur mit realpolitischen Lösungen begegnet werden. Gefragt sind Strategien, welche auf Synergien zwischen wirtschaftlichen, ökologischen und sozialen Zielsetzungen bauen.

Ein Beispiel, wie raumplanerische Ziele der Innenverdichtung, wirtschaftliche Ziele der Beschäftigung (bezogen auf den wichtigen Sektor Baugewerbe), das soziale Ziel der Behebung von Wohnungsnot und klimapolitische Ziele verbunden werden können sind baugesetzliche Bestimmungen, welche energetisch mustergültig Sanierungsvorhaben in Erweiterungsbauten mit einer erhöhten Ausnützungsziffern belohnen[32].

[32] Dies ist beispielsweise im kantonalen Planungs- und Baugesetz im Kanton Solothurn der Fall (Planungs- und Baugesetz vom 3.1.1978, Stand 1.1.2010, SN SO 711.1)

7 Literaturverzeichnis

AEE SUISSE. (2019). Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich. Aktuelle Übersicht der kantonalen Umsetzung. Abgerufen von https://www.aeesuisse.ch/de/politik/mustervorschriften-der-kantone-im-energiebereich

Ang, B. W. (2005). The LMDI approach to decomposition analysis. A practical guide. *Energy Policy*, *33*(7), 867–871.

Bundesamt für Energie BFE. (2018). *Gebäudepark 2050. Vision des BFE*. Bern.

Bundesamt für Energie BFE. (2019). Energie in Gebäuden. Abgerufen von www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/energieeffizienz/energie-in-gebaeuden.html

Bundesamt für Energie BFE, & Konferenz Kantonaler Energiedirektoren EnDK. (2019). *Stand der Energie- und Klimapolitik in den Kantonen 2019*. Bern.

Bundesamt für Umwelt BAFU. (2019). CO2-Statistik: Emissionen aus Brenn- und Treibstoffen. Abgerufen von www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/daten-indikatoren-karten/daten/co2-statistik.html

Bundesrat. Botschaft zur Totalrevision des CO2-Gesetzes nach 2020. SR 17.071, 1.1.2017, S. 247-384 (2017).

EBP Schweiz AG. (2018). *Wirkung der Klima- und Energiepolitik in den Kantonen – Sektor Gebäude*. Zürich.

EBP Schweiz AG. (2019). *Rating der kantonalen Gebäude-Klimapolitik*. Zürich.

econcept AG, & Amstein+Walthert. (2007). *Vorstudie zur Erhebung von Energiekennzahlen von Wohnbauten*. Abgerufen von http://www.econcept.ch/uploads/media/770_sb.pdf

Ecoplan. (2012). *THG-Vermeidungskosten und -potenziale in der Schweiz*. Bern.

ECOSPEED AG, & TEP Energy. (2016). *Methodik zur Berechnung der kantonalen CO2-Emissionen im Gebäudebereich auf Basis des Gebäude- und Wohnungsregisters (GWR)*. Bern.

Energie 360°. (2019). MuKEn 2014: So setzen die Kantone sie um. Abgerufen von www.energie360.ch/magazin/de/erneuerbare-energien-nutzen/muken-2014-so-setzen-die-kantone-sie-um/

Gebäudeprogramm. (2017). *Das Gebäudeprogramm. Jahresbericht 2017*. Abgerufen von www.dasgebaeudeprogramm.ch

Gewerbeverband Basel-Stadt. (2016). Basel erneuerbar und Revision Energiegesetz. Abgerufen von https://gewerbe-basel.ch/themen/umwelt-energie/basel-erneuerbar-und-revision-energiegesetz/

Gruenberg + Partner AG. (2018). *Vollzugsuntersuchung Heizkessel 2017*. Zürich.

Grüne Kanton Bern. (2016). Energiegesetz: Weitere Verschärfung notwendig. Abgerufen von https://www.gruenebern.ch/blog/weitere-verschaerfung-notwendig/

Hauseigentümerverband HEV. (ohne Datum). MuKEn. Abgerufen von https://www.hev-schweiz.ch/politik/energie-umwelt/muken/

INFRAS. (2013). *Wirkung kantonaler Energiegesetze. Analyse der Auswirkungen gemäss Art. 30 EnG, Aktualisierung für das Jahr 2012*. Bern.

Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC. (2018). IPCC Special Report on Global Warming of 1.5°C approved by governments. Summary for Policymakers. Abgerufen von http://www.ipcc.ch/2018/10/08/summary-for-policymakers-of-ipcc-special-report-on-global-warming-of-1-5c-approved-by-governments/

International Energy Agency IEA. (2018). *Energy Policies of IEA Countries. Switszrland. 2018 Review*. Paris.

Jakob, M. (2006). Marginal costs and co-benefits of energy efficiency investments. The case of the Swiss residential sector. *Energy Policy*, *34*, 172–187.

Jakob, M. (2008). *Grundlagen zur Wirkungsabschätzung der Energiepolitik der Kantone im Gebäudebereich*. Zürich.

Jakob, M. (2010). *Energetische Gebäudeerneuerungen Wirtschaftlichkeit und CO2Vermeidungskosten*. 1–215. Abgerufen von http://klimarappen.ch/fileadmin/Downloads/Medienmitteilungen/klimarappen-tep-studie.pdf

Kaya, Y. (1990). *Impact of Carbon Dioxide Emission Control on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios, Paper presented to the IPCC Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group*. Paris.

Khoury, J., Hollmuller, P., Lachal, B., Schneider, S., & Lehmann, U. (2018). *Compare Renove: du catalogue de solutions à la performance réelle des rénovations énergétiques. Ecarts de performance, bonnes pratiques et enseignements tirés*. Bern.

Mavromatidis, G., Orehounig, K., Richner, P., & Carmeliet, J. (2016). A strategy for reducing CO2 emissions from buildings with the Kaya identity - A Swiss energy system analysis and a case study. *Energy Policy*, *88*, 343–354.

Mieterinnen- und Mieterverband MV, & HEV Schweiz. *Paritätische Lebensdauertabelle*. (2016).

Orehounig, K., Mavromatidis, G., Evins, R., Dorer, V., & Carmeliet, J. (2014). Towards an energy sustainable community: An energy system analysis for a village in Switzerland. *Energy and Buildings*, *84*, 277–286.

SDA. (2016, December 2). Alle stehen hinter dem Basler Energiegesetz – Initiative «Basel erneuerbar» wird zurückgezoge. *TagesWoche*. Abgerufen von https://tageswoche.ch/allgemein/alle-stehen-hinter-dem-basler-energiegesetz-initiative-basel-erneuerbar-wird-zurueckgezogen/

Statistisches Amt des Kantons Basel-Stadt. (2018a). *Energiestatistik Basel-Stadt. Ausgabe 2018*. Basel.

Statistisches Amt des Kantons Basel-Stadt. (2018b). Statistisches Jahrbuch des Kantons Basel Stadt 2018. In *Statistik Basel*. Basel: Statistisches Amt des Kantons Basel-Stadt.

swisstopo. (2018). Alle Gebäude der Schweiz gibt es nun digital und in 3D. Abgerufen von www.admin.ch/content/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-72321.html

TEP Energy. (2011). *Energetische Gebäudeerneuerungen. Wirtschaftlichkeit und CO2-Vermeidungskosten* (M. Jakob, Ed.). Zürich.

TEP Energy. (2014). *Energetische Erneuerungsraten im Gebäudebereich. Synthesebericht zu Gebäudehülle und Heizanlagen*. Bern.

Umwelt und Energie UWE Luzern. (2013). *Gebaeude-Heizenegiebedarf. Methodik zur Schätzung des Heizenergiebedars der Wohngebäude mittels kantonalem Gebäude und Wohnungsregister*. Luzern.

Anhang 1 – Wichtigste Neuerungen im Energiegesetz Kanton Basel-Stadt

Energiegesetz (EnG vom 16.11.2016, SR-BS 772.100)

II. Zielsetzung

§ 2

1 Der Kanton Basel-Stadt setzt sich im Rahmen seiner Zuständigkeit für eine nachhaltige Energieversorgung ein, insbesondere für

a) eine effiziente Energienutzung, welche langfristig zu mindestens 90% auf erneuerbaren Energien und nicht anders nutzbarer Abwärme beruht;

b) eine Reduktion des CO_2-Ausstosses auf höchstens eine Tonne pro Einwohnerin oder Einwohner und Jahr bis 2050.

2 Der Regierungsrat setzt periodisch Zwischenziele und überwacht die Zielerreichung. Er berichtet dem Grossen Rat alle vier Jahre und macht Vorschläge zur Weiterentwicklung der Massnahmen.

3 Beim Bezug von Strom im liberalisierten Markt sind im Kanton nur Produkte mit Herkunftsnachweis aus erneuerbaren Energien oder aus Wärme-Kraft-Kopplung zu erstehen. Der Anteil der fossilen Wärme-Kraft-Kopplung soll ab 2025 5% nicht übersteigen. Der Regierungsrat kann auf Antrag Ausnahmen erlauben, wenn die Mehrkosten für Strom aus erneuerbaren Quellen 5% der Energiekosten inklusive Netz und Abgaben überschreiten.

4 Der Regierungsrat sorgt im Rahmen der Konzession oder dem Leistungsauftrag an die Fernwärmenetzbetreiberin dafür, dass ab dem Jahr 2020 eine Fernwärmeproduktion aus mindestens 80% CO_2-freien Energiequellen realisiert wird.

IV. Massnahmen

§ 4

1 Der Regierungsrat kann in einer Verordnung Zielwerte für den Energieverbrauch vorschreiben und erlässt dem Stand der Technik entsprechende Vorschriften über folgende Massnahmen:

a) Für die Energieeinsparung an Gebäuden, wie insbesondere für den Wärme- und Kälteschutz, den Anteil erneuerbarer Energien, die verbrauchsabhängige Wärmekostenverteilung sowie für Energieanalysen.

b) Für die Energieeinsparung und den Umweltschutz an technischen Anlagen, wie insbesondere Wirkungsgrade, Leistungsziffern, die rationelle Wärme- und Kälteerzeugung und -nutzung in der Haustechnik sowie für Wärmerückgewinnung.

2 Der Regierungsrat überprüft die Grenzwerte mindestens alle drei Jahre und passt sie gegebenenfalls dem neuesten Stand der Technik an, um den Energieverbrauch und die Auswirkungen auf die CO_2-Emissionen möglichst gering zu halten.

§ 5 *Anforderungen an Neubauten*

1 Neubauten und Erweiterungen von bestehenden Gebäuden (Aufstockungen, Anbauten etc.) müssen so gebaut und ausgerüstet werden, dass ihr Verbrauch für Heizung, Warmwasser, Lüftung und Klimatisierung nahe bei Null liegt.

2 Die Verordnung regelt die Art und den Umfang der Anforderungen an den Energieeinsatz. Sie berücksichtigt dabei insbesondere die Wirtschaftlichkeit sowie besondere Verhältnisse wie Klima, Verschattung oder Quartiersituationen.

3 Im Hinblick auf einen möglichst tiefen Energieverbrauch sind Neubauten der Kategorien III bis XII (SIA 380/1) mit Einrichtungen zur Gebäudeautomation auszurüsten, soweit es technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar ist.

4 Die Verordnung regelt Verfahren und weitere Einzelheiten.

§ 7 *Erneuerbare Wärme beim Ersatz des Wärmeerzeugers*

1 Beim Ersatz des Wärmeerzeugers in bestehenden Bauten ist dieser auf erneuerbare Energien umzustellen, soweit es technisch möglich ist und zu keinen Mehrkosten führt.

2 Beim Ersatz resp. Wiedereinbau eines fossilen Heizsystems sind geeignete Effizienzmassnahmen der Gebäudehülle oder der Haustechnik vorzunehmen mit dem Ziel, den fossilen Verbrauch massgeblich zu reduzieren. Dabei werden die bereits getätigten Massnahmen berücksichtigt.

3 Die Installation (Ersatz oder Neuinstallation) fossil befeuerter Heizungen ist meldepflichtig.

4 Die Verordnung regelt die Berechnungsweise, die zulässigen Standardlösungen, die Sanierungsfristen sowie die Befreiungen.

5 Gebäude mit Anschluss an ein bestehendes Fernwärmenetz sind von den Effizienz-Vorschriften gemäss Absatz 2 befreit, wenn der erneuerbare Anteil der Wärmeproduktion mindestens 20% beträgt.

§ 8 *Gebäudeenergieausweis*

1 Der Kanton führt den Gebäudeenergieausweis der Kantone GEAK ein.

2 Der Regierungsrat kann für Bauten mit einer fossilen Heizung, die älter als 15 Jahre ist, die Erstellung eines Gebäudeenergieausweises der Kantone GEAK verlangen.

§ 9 *Elektroheizungen, Heizungen im Freien*

3 Bestehende ortsfeste elektrische Widerstandsheizungen, bei denen die Erstinstallation älter als 25 Jahre ist, sind innerhalb von 15 Jahren nach Wirksamwerden dieses Gesetzes durch Heizungen zu ersetzen, die den Anforderungen dieses Gesetzes entsprechen.

§ 11 *Direkt elektrisch beheizte Brauchwarmwassererwärmer*

3 Bestehende zentrale Brauchwarmwassererwärmer, die ausschliesslich direkt elektrisch beheizt werden, sind bei Wohnnutzungen innerhalb von 15 Jahren nach Wirksamwerden dieses Gesetzes durch Anlagen so zu ersetzen oder durch andere Einrichtungen zu ergänzen, dass sie den Anforderungen dieses Gesetzes entsprechen.

§ 19 *Kantonale Energieplanung*

1 Der Kanton führt eine kantonale Energieplanung durch. Sie wird in Form eines kantonalen Energierichtplans publiziert. Dieser wird periodisch überprüft und nötigenfalls den veränderten Verhältnissen angepasst.

2 Die kantonale Energieplanung ist im Bereich der Energieversorgung und -nutzung Entscheidungsgrundlage für Raumplanung, Projektierung von Anlagen und Förderungsmassnahmen.

3 Die Gemeinden und die in der Energieversorgung tätigen Unternehmen wirken an der Energieplanung mit. Sie sind rechtzeitig mit einzubeziehen und sind wie die Energieproduzenten, -verteiler und Grossverbraucher verpflichtet, dem Kanton die für die

Energieplanung nötigen Auskünfte und Informationen zu erteilen. Dies betrifft insbesondere detaillierte Angaben zu Energieproduktion und -verbrauch.

4 Die kantonale Energieplanung enthält eine Beurteilung des künftigen Bedarfs und Angebots an Energie im Kanton. Sie legt die anzustrebende Entwicklung der Energieversorgung und -nutzung fest und bezeichnet die dazu notwendigen staatlichen Mittel und Massnahmen. Sie bestimmt, welcher Anteil der Abwärme insbesondere aus Kehrichtverwertungs- und Abwasserreinigungsanlagen zu nutzen ist.

5 Der Kanton ist berechtigt, im Rahmen seiner Energieplanung für Baugebiete oder Teile von solchen, für Quartiere oder Strassenzüge eine Pflicht zur Nutzung bestimmter leitungsgebundener Energien festzulegen, wenn die Energieträger zu mindestens 80 Prozent aus erneuerbaren Energien oder aus nicht anderweitig nutzbarer Abwärme stammen.

6 Die Nutzungspflicht gemäss Absatz 5 entfällt für Gebäude, die ihre Energienutzung aus erneuerbaren Energien oder aus Abwärme bestreiten.

7 Die Verordnung regelt Ausnahmen

VI. Förderungsmassnahmen

3. Beiträge

§ 23 *Normale Beitragssätze*

1 Der Beitrag an die Kosten von Effizienzverbesserungen, insbesondere von Gebäudeisolationen oder Energieanlagen, sowie an Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien beträgt 10% bis 40% der Investitionskosten. Vorbehalten bleibt § 25 Abs. 2 und 3.

2 Andere Beiträge des Bundes und des Kantons werden bei der Festlegung des Förderungsbeitrages angemessen berücksichtigt.

3 Der Regierungsrat legt die Beitragssätze für kleine und mittlere Anlagen und einzelne Massnahmenkategorien nach Erfahrungswerten pauschal fest. Bei Anlagen mit besonders langer Lebensdauer können höhere Beitragssätze zur Anwendung gelangen.

§ 24 *Besondere Beitragssätze*

1 Für grössere Anlagen zur Nutzung von Abwärme und erneuerbarer Energien werden die Beiträge individuell festgesetzt. Sie dürfen die nicht amortisierbaren Kosten der Anlage nicht übersteigen.

2 Der Regierungsrat oder die von ihm bezeichnete Verwaltungseinheit

§ 25 *Einschränkungen*

10 80% des Beitrages an Anlagen und Energiesparprogramme werden jeweils im Rahmen des verfügbaren Jahreskredits nach Erlass der Auszahlungsverfügung ausbezahlt. Der Rest wird nach einem vollen Betriebsjahr und nach Erstellung einer Wirkungskontrolle ausbezahlt. Die Verordnung regelt die Ausnahmen.

Energieverordnung (EnV vom 28.8.2017, SR-SN 772.110)

A. Zwischenziele

§ 1 Zwischenziele auf dem Weg zu 1 Tonne CO_2

1 Zwischenziele für die Zunahme der erneuerbaren Energien und die Abnahme der CO_2-Belastung:

1. Nicht erneuerbare Energieträger
   a) 2010: absolut 65%
   b) 2020: absolut 50% Abnahme -23%
   c) 2035: absolut 30% Abnahme -54%
   d) 2050: absolut 10% Abnahme -85%
2. Treibhausgasemissionen Tonnen CO_2 / Einwohner
   a) 2010: absolut 4,7
   b) 2020: absolut 3,8 Abnahme -20%
   c) 2035: absolut 2,3 Abnahme -50%
   d) 2050: absolut 1,0 Abnahme -80%

2 Grundlage für die Berechnung dieser Werte ist die Energiestatistik des Kantons Basel-Stadt.

[Grenzwerte und Fördersätze sind im Anhang 1-12 aufgeführt]

Anhang 2 – Methodik Energiestatistik Basel-Stadt

Nachstehende Zusammenstellung ist einem Bericht von ECOSPEED & TEP Energy (2016, S. 26) entnommen. Der Minergie®-Standard ist massgebend für die eingesetzten Wirkungsgrade.

Thema	Methodik
Hauptformeln	
EV Gebäude	▪ EV_{H+WW} = EBF x EKZ_H / Wirkungsgrad Feuerung + EV_{WW} → jeweils pro ET und Bauperiode (GBAUP) ▪ EV_{WW} = Anzahl Personen x 850 kWh/Person (ET analog EV_{H+WW})
CO_2-Emissionen Wärme	▪ $CO_{2\text{-}Wärme}$ = EV_{H+WW} x CO_2-Faktor pro Energieträger
Energiebezugsfläche (EBF)	
Ansatz «Gebäudefläche»	▪ EBF = Gebäudefläche (GAREA) x Anzahl Geschosse (GASTW) (1)
Energiekennzahl (EKZ)	
Ansatz «realer Absatz»	▪ Basis = effektive Fernwärme-, Gas- und Stromverbräuche pro Gebäude (EGID) und Gebäudekategorie (GKAT) für Basel-Stadt ▪ EKZ_H = ((Fernwärme-/Gasverbrauch pro Gebäude (EGID) x Wirkungsgrad + Solarthermie (falls vorhanden) - EV_{WW}) / EBF → jeweils pro Bauperiode (GBAUP) ▪ Die EKZ_H wird für alle Gebäude derselben Gebäudekategorie (GKAT) und Bauperiode (GBAUP) verwendet.
Energieträgermix (ET-Mix)	
Ansatz «Feko»	▪ $ET\text{-}Mix_{H+WW}$ = Daten Feuerungskontrolle (Feko) sowie spezifische Datenbanken zu Wärmepumpen und Solarthermie
Fehlende Angaben	▪ Zuordnung ET der umliegenden Liegenschaften (manuell)

H = Heizen, WW = Warmwasser, EV = Energieverbrauch (MJ/a) / EBF = Energiebezugsfläche (m^2) / EKZ = Energiekennzahl (MJ/(m^2a)) / ET = Energieträger

(1) Ausnahme bilden Landwirtschaftsgebäude: EBF = Wohnfläche (WAREA)

Anhang 3 – Tabellen

Datenquellen, Merkmale und Erhebungszeiträume (wichtigste eigene Ergänzungen rot)

Statistisches Amt	*N = 23'656*	*2000...*	*2012*	*2014*	*2016*	*2017*	*2018...*
Gebäudedaten & Verbräuche	gebäudescharf, zum Jahresende erhoben, mit EGID referenziert			EnG_{alt}		Bias	EnG_{neu}
Anzahl Wohnungen; Anzahl Bewohner			√	(√)	√		√
Gebäudekategorie	EFH, MFH, EFH/MFH mit Nebennutzung		√	(√)	√		√
Baujahr			√	(√)	√		√
Denkmalschutz	Denkmalschutz, Denkmalinventar		√	(√)	√		√
Grundfläche	gemäss Kataster		√	√	√		√
Geschosse	ab Erdgeschoss		√	√	√		√
EBF	Grundfläche x Geschosse		√	(√)	√		√
EBF der Heizung	von der Heizung versorgte gebäudeinterne & externe Flächen		√	(√)	√		
Energieträger Heizung / Warmwasser			√	(√)	√		
Verbrauch Warmwasser	850 kWh/a pro Bewohner		√	(√)	√		
Verbräche nach Energieträger	Gas, Fernwärme und Strom erhoben; Rest extrapoliert		√	(√)	√		
Δ12/16 EKZ	nur bei leitungsgebundenen Energieträgern; Abzug Warmwasser		√		√		
Fernwärmenetz	"1" verfügbar in Strasse, "2" verfügbar in Strassenabschnitt				√		
Amt für Umwelt und Energie AUE	*N = 30'551 + 1'157 (Wechsel in Erfassungssystem 16.6.09 und 1.7.2018)*	*2000...*	*2012...*		*...2016*	*2017*	*2018...*
Register der Subventionen	massnahmenscharf, laufend registriert			EnG_{alt}		Bias	EnG_{neu}
Förderung Isolation	Fenster, Dach, Aussenwand, Kellerdecke, etc	√	√	√	√	√	√
Förderung Neubau	Hocheffiziente Neubauten	√	√	√	√	√	√
Förderung Wärme / Kraft	Heizungsersatz, Wärmerückgewinnung	√	√	√	√	√	√
Förderung Solaranlagen	Solarthermie, PV	√	√	√	√	√	√
Subventionsbeitrag und Ausmass		√	√	√	√	√	√
Datum Auszahlung		√	√	√	√	√	√
EGID	Zuordnung	√	√	√	√	√	√
Amt für Umwelt und Energie AUE	*N = 40'445*						*2019*
Feuerungskontrolle FEKO	anlagescharf, laufend überschrieben, mit EGID referenziert			EnG_{alt}		Bias	EnG_{neu}
Brennstoff		(√)	(√)	(√)	(√)	(√)	√
Leistung		(√)	(√)	(√)	(√)	(√)	√
Baujahr Kessel		(√)	(√)	(√)	(√)	(√)	√
Baujahr Feuerung		(√)	(√)	(√)	(√)	(√)	√
Lebenserwartung Kessel & Feuerung	Lebensdauer Öl- und Gasfeuerung						√
Heizungsersatz	Rekonstruktion		√	√	√		√
Amt für Umwelt und Energie AUE	*N = 815*				*2016*	*2017*	*2018...*
Register der Photovoltaikanlagen	anlagescharf, mit Adressen referenziert			EnG_{alt}		Bias	EnG_{neu}
Fläche							
Leistung	ermittelt aus Fläche *120 kWh/m²a						√
Jahr der Inbetriebsetzung							√

Grenzwerte für Neu- und Erweiterungsbauten nach altem und neuem Energiegesetz

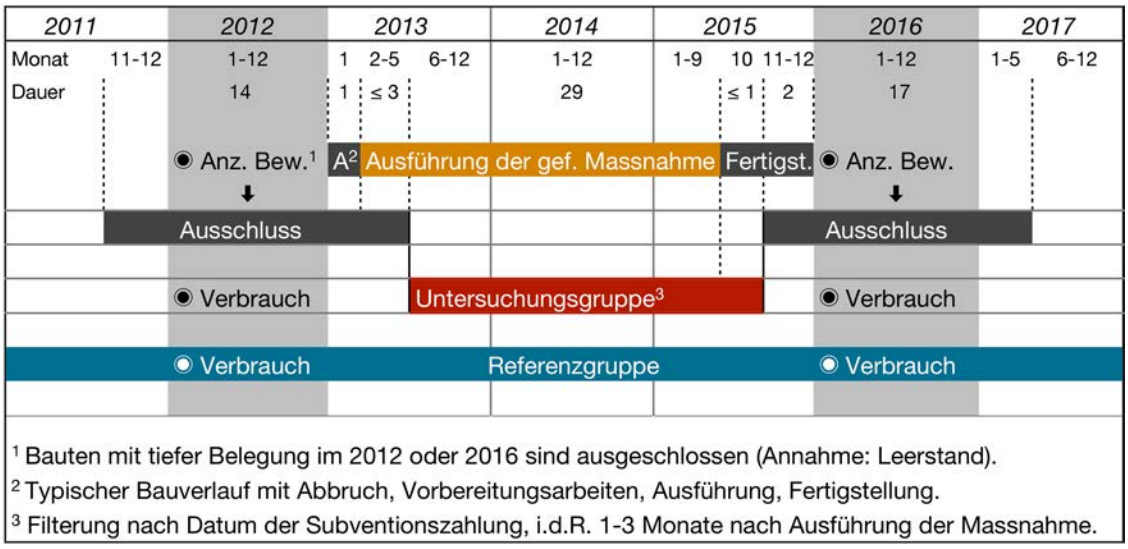
Grenzwerte	gegen Ausstnklima oder ≤ 2 m im Erdreich		gegen unbeheizte Räume oder > 2 m im Erdreich	
	U_{li} [W/m²K]	U_{li} [W/m²K]	U_{li} [W/m²K]	U_{li} [W/m²K]
Neubauten	altes EnG	neues EnG	altes EnG	neues EnG
Dach, Wand Boden	0.18	0.17	0.23	0.25
Fenster	1.00	1.00	1.30	1.30
Umbauten/Umnutzungen				
Dach, Wand Boden	0.23	0.25	0.25	0.28
Fenster	1.00	1.00	1.30	1.30

Emissionsfaktoren nach Energieträger

Energieträger	Anteil 2016	Anteil 2020...	EF nach KBOB [gCO_2e/kWh]	EF BS 2016 [gCO_2e/kWh]	EF BS 2020... [gCO_2e/kWh]	2020.0 %
Heizöl extraleicht			301	301	301	100%
Erdgas			228	228	228	76%
Kohle Koks			439	439	439	146%
Kohle Brikett			399	399	399	133%
BHKW Erdgas	39%	17%	127			
Fern- und Nahwärme[1]	100%	100%		94	76	25%
Fernwärme KVA-Netz	43%	48%	89			
Heizkraftwerk Holz	13%	27%	42			
Klärschlamm	3%	4%	6			
Heizkraftwerk Geothermie[2]	2%	4%	15			
Strom Basel[1]	100%	100%		15	15	5%
Strom Wasserkraft	95%	95%	12			
Sonnnenenergie	0%	2%	91			
Strom BHKW	5%	3%	64			
Wärmepumpe Basel[3]				5	5	2%
Stückholz			28	27	27	9%
Holzschnitzel			11			0%
Pellets			27			0%
Solarthermie[4]			8	0	0	0%
Photovoltaik[4]			21	0	0	0%

[1] Quelle Nachhaltigkeitskennzahlen IWB; Annahmen 2020 für Erdgasanteil von 20% gemäss EnG
[2] Höchstwert Leistung Geothermie Erdwärme Riehen: 23.3 GWh; Ausbau in Planung
[3] Annahme mittlere JAZ 3.0
[4] Graue Energie von Gebäude und Anlagen nicht berücksichtigt

Zeitliche Abgrenzung der Untersuchungsgruppe



[1] Bauten mit tiefer Belegung im 2012 oder 2016 sind ausgeschlossen (Annahme: Leerstand).
[2] Typischer Bauverlauf mit Abbruch, Vorbereitungsarbeiten, Ausführung, Fertigstellung.
[3] Filterung nach Datum der Subventionszahlung, i.d.R. 1-3 Monate nach Ausführung der Massnahme.

Sequentielle Zuordnung der Gebäudegruppen und Stichproben nach Merkmalen

Gesamtheit der Gruppen	Ausschluss	Neubau	Erweiterung	Sanierung	Referenzgruppe
Gebäudetyp	tlw. Wohnen				
EGID[1]	n.a. 2016				
Baujahr		2012...2016			
Anzahl Geschosse			$\Delta_{16\|12} > 0$		
Grundfläche			$\Delta_{16\|12} > 5\%$		
Subventionen[2]				2013...2016	
Stichproben	**Ausschluss**	**Neubau**	**Erweiterung**	**Sanierung**	**Referenzgruppe**
Heizungsart	ZH für m.G.[3]				
Energieträger Wärme	¬FW ∩ ¬Gas				
Belegung	< 1			$\Delta_{16\|12} > 50\%$	
HK ohne Warmwasser[4]	= 0 ∪ > 200				
Baujahr		2013...2015			
Verbrauch				$\Delta_{16\|12} < 0$	
Anazhl Geschosse			$\Delta_{14\|12} > 0$		
Grundfläche			$\Delta_{14\|12} > 5\%$		
Subventionen				1.6.13...31.10.15	
Subventionen				¬ 1.10.11...31.5.13 ∩ ¬1.11.15...31.5.17	

[1] Das Fehlen einer EGID wird als Abbruch interpretiert.
[2] Gemessen am Datum der Suvbentionszahlung.
[3] Zentralheizung für mehrere Gebäude können nicht abgegrenzt werden.
[4] Heizkoeffizient der Energiestatistik Basel-Stadt. Der Verbrauch kann negativ sein (PV-Analgen).

Genutztes und verbleibendes Potenzial für Solarthermie und PV-Anlagen (Daten Energiestatistik Basel-Stadt 2018, Amt für Umwelt und Energie AUE; BFE Sonnendach)

	Solarkataster adjustiert[1]		Sonnendach adjustiert[1]	
	[GWh/a]	*Anteil*	*[GWh/a]*	*Anteil*
PV-Potenzial	367	100.0%	293	100.0%
PV bis 2016 realisiert	23	6.2%	23	7.8%
PV-Potenzial verbleibend	345	93.8%	271	92.2%
ST-Potenzial	1'600	100.0%	123	100.0%
ST bis 2016 realisiert	15	0.9%	15	11.9%
ST-Potenzial verbleibend	1'585	99.1%	108	88.1%

Anrechnung Solarkataster Basel-Stadt: nur Dächer
PV-Potenzial (ganzjährig) > 900 kWh; zusammenhängend > 10 m^2
ST-Potenzial (ganzjährig) > 800 kWh; zusammenhängend > 5 m^2

Anrechnung Sonnendach, Bundesamt für Energie: Dächer und Fassaden
geeignete Dächer im Verhältnis zum Wärmebedarf mit ST bestückt; Restfläche mit PV bestückt

[1] Annahme: nur 80% der Potenzials realisierbar (Denkmalschutz, technische Gegebenheiten)

Anhang 4 – Verzeichnis mitgelieferter Daten

Die mitgelieferten anonymisierten Daten sind gemäss Datenschutzvereinbarungen vertraulich zu behandeln und spätestens am 31.12.2019 zu löschen. Die Löschung ist dem Statistischen Amt schriftlich zu bestätigen.

Inhalt	Dateiname	Typ
Datenschutzvereinbarung	BS_DATENSCHUTZVEREINBARUNG	pdf
Feuerungskataster	BS_FEKO_2019	xlsx
Wärmeerzeugerersatz	BS_ERSATZ_2016_2018	xlsx
Konsolidierung	BS_KOMPLETT_2012_2016	xlsx
PV-Anlagen	BS_PV_2000_2016	xlsx
Solar-Potenzial	BS_PV_ST_POTENZIAL_2019	xlsx
Subventionen	BS_SUBVENTIONEN_2000_2019	xlsx
Subventionen	BS_SUBVENTIONEN_2018_2019	xlsx
Energieverbrauch	BS_VERBRAUECHE_2012_2016	xlsx